



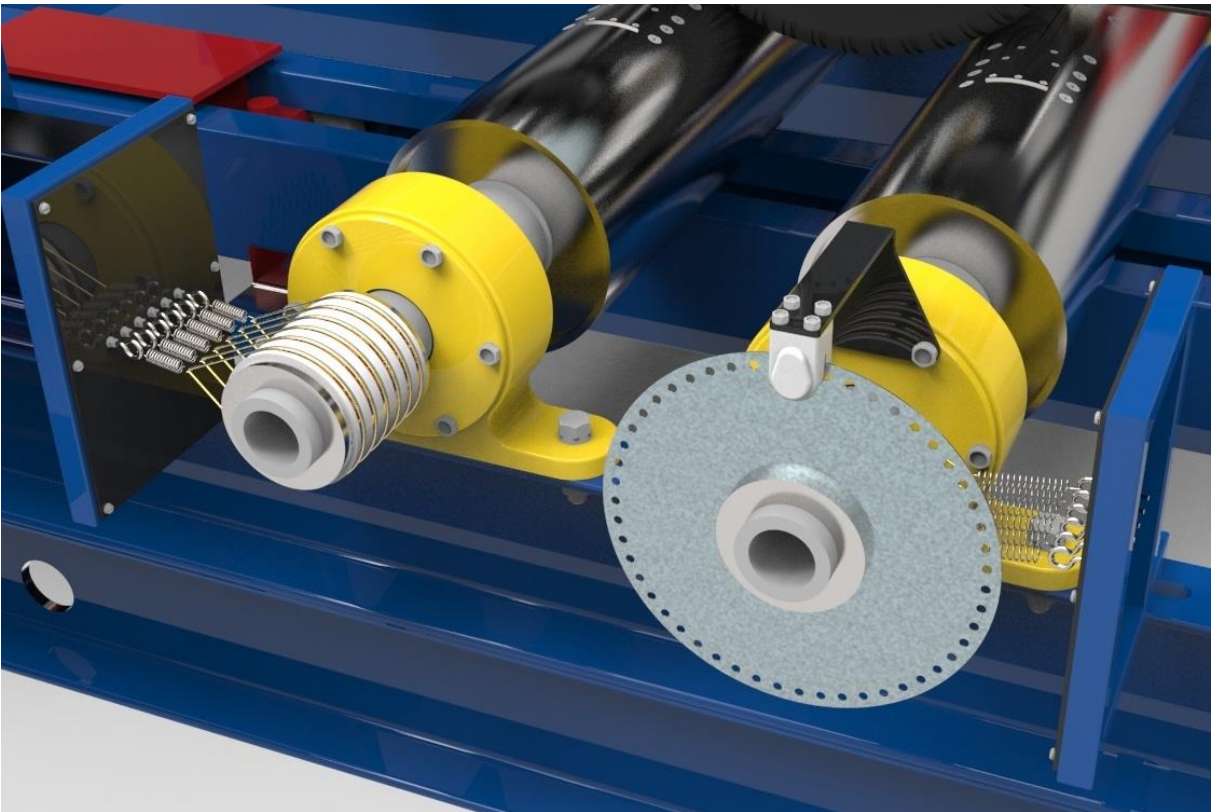
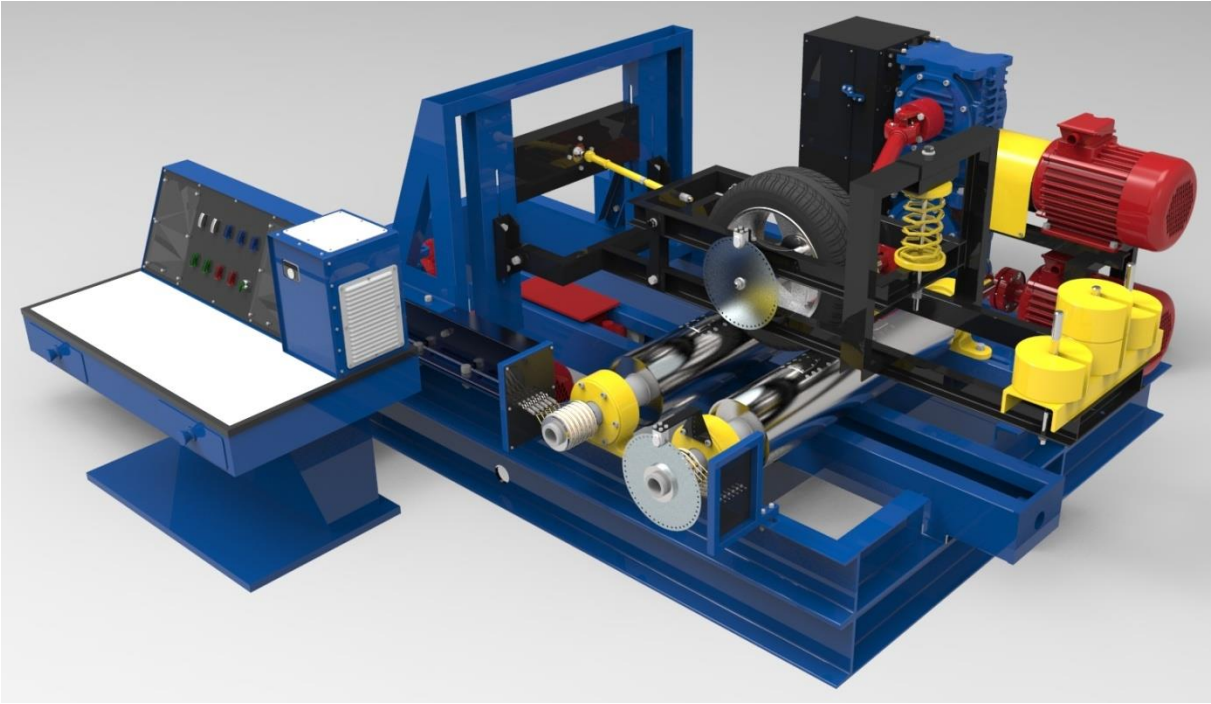
**АССОЦИАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРОВ
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

*Материалы 106-й международной
научно-технической конференции*

**«БЕЗОПАСНОСТЬ КОЛЁСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

23-26 апреля 2019 года







**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Безопасность колёсных транспортных средств
в условиях эксплуатации**

Материалы 106-й Международной
научно-технической конференции

(Иркутск, 23–26 апреля 2019 г.)



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета
2019



УДК 629.067(075.8)

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : материалы 106-й Междунар. науч.-техн. конф. (Иркутск, 23–26 апреля 2019 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – 704 с.

Рассмотрены проблемы безопасности колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации.

Предназначены для научных работников, инженеров и аспирантов, занимающихся исследованиями в области технической диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта, а также студентов транспортных специальностей.

Редакционная коллегия:

А.И. Федотов (общ. ред.) – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автомобильного транспорта;

А.С. Потапов (техн. ред.) – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта

Печатается с оригиналов, подготовленных авторами
Предпечатная подготовка А.А. Ильюшенко

Подписано в печать 16.05.2019. Формат 60 x 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 44,5.
Тираж 300 экз. Зак. 132 д/п.

Отпечатано типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

ISBN 978-5-8038-1390-3

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КОЛЁСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.К. Багров ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЙ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ САЭТ В СООТВЕТСТВИИ С RUNCAP.....	12
С.А. Балдин, Д.А. Королёв, Л.А. Бердников ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫШЕК АВТОМОБИЛЕЙ.....	19
П.В. Пинаев, Л.А. Бердников ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВКИ КОЛЕС МЕНЬШЕГО ДИАМЕТРА НА АВТОМОБИЛЬ ГАЗ-С41R13.....	25
А.В. Давыдов, В.С. Калиниченко, Э.А. Эшаров, Ю.А. Власов ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ФОТОФИКСАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВТОМОТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	29
В.В. Гаевский, С.Р. Кристальный, А.М. Иванов, И.Н. Порватов СОЗДАНИЕ МАКЕТА ПЕШЕХОДА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАМКАХ НАЦИОНАЛЬНОГО РЕЙТИНГА НЕЗАВИСИМОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ RUNCAP.....	36
А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, А.С. Обельцев КИНЕТИКА КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ КУЗОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ.....	44
Е.Л. Иовлева, Н.В. Кирикова, А.А. Борисов, П.А. Степанов ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ.....	56
Д.Л. Окладников, В.А. Зеер, Е.В. Гражданцев, Р.М. Авдеев, С.А. Ахремов СПОСОБ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА.....	65
А.И. Федотов, А.В. Камнев, Е.А. Слепенко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ШИНАХ АВТОМОБИЛЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО ТЯГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СИЛОВОМ РОЛИКОВОМ СТЕНДЕ.....	74
А.В. Лысенко, А.И. Федотов, Н.Ю. Кузнецов, Д.А. Тихов- Тинников ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АТС КАТЕГОРИИ М1.....	80

А.И. Федотов, А.С. Марков, Э.С. Салчак РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА РИСУНКА ПРОТЕКТОРА БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ ШИНЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АТС.....	91
С.П. Озорнин, В.Г. Масленников ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРА ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ, НА МЕСТЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ, ДАННЫМ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ СЦЕПЛЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АВТОМОБИЛЯ С ПОЛНОСТЬЮ ЗАТОРМОЖЕННЫМИ КОЛЕСАМИ.....	101
А.Л. Бояршинов, И.И. Ноев, О.А. Ивачева ВЛИЯНИЕ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) НА ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОИСШЕСТВИЯ.....	109
Д.В. Филиппов, И.И. Ноев УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН И ТЕХНИКИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ТОСЭР «КАНГАЛАССЫ».....	115
С.Р. Кристальный, Н.В. Попов ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НЕКОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ.....	123
А.П. Сырбаков, С.В. Речкин, П.М. Бугаев, Н.Н. Бережнов ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР.....	129
А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, М.А. Топорков СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ (САЭТ).....	135
А.И. Федотов, С.М.Гергенов, Н.Ю. Кузнецов ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН К СОЗДАНИЮ БОКОВЫХ РЕАКЦИЙ НА ДОРОГАХ, ПОКРЫТЫХ ХИМИЧЕСКИМИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ....	143
А.А. Хахов, Н.Н. Панасенко ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ.....	153

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ,
ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
И ГОРНЫХ МАШИН В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

А.Я. Абубакаров, Н.В. Дульгер ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	162
Е.В. Балакина, В.Н. Задворнов, Д.С. Сарбаев, И.В. Сергиенко, Ю.Н. Козлов МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЛИНЫ ПЯТНА КОНТАКТА ЛЕГКОВЫХ И ГРУЗОВЫХ ШИН С ДОРОЖНЫМ ПОКРЫТИЕМ.....	166
Е.В. Елишина, И.М. Блянкинштейн, Е.Г. Махова, Д.А. Худяков О НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЪЕЗДА БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В МЕГАПОЛИСЕ.....	174
И.В. Братенков УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФОРСУНОК COMMON RAIL ПО ПАРАМЕТРАМ ОБЩЕГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА УПРАВЛЕНИЕ.....	183
В.С. Бузов КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ПИТАНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА НА СТЕНДАХ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТНВД.....	189
К.А. Бухаров ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ.....	196
А.Н. Ляпин, О.В. Ляпина, Ю.А. Власов, В.Р. Фукс ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА КАРЬЕРНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА.....	202
И.Д. Деньгин, С.Н. Кривцов МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОДРЕССОРЕННЫХ МАСС АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДВЕСКИ.....	206
И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ДВС С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСТРАИВАЕМОЙ МОДЕЛИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ.....	214

В.П. Друзьянова, А.В. Спиридонова ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МОТОРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА.....	223
В.Г. Дыгало, И.С. Жуков ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ АВТОМОБИЛЯ НА ЯВЛЕНИЕ ФЕДИНГА.....	231
С.В. Ильянов, Г.В. Борисов РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСАМИ.....	240
В.В. Коваленко, Н.Ф. Булгаков, А.В. Горбанева УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ТЕХНИКИ.....	254
В.Н. Козлов, А.Ф. Колбасов НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИХ БАТАРЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ.....	259
В.А. Колесников, А.В. Козлов, М.В. Миронов ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ДОЗАТОРОВ ДЛЯ КОНВЕРТАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ГАЗОВЫЙ.....	267
С.А. Кузнецов, В.Н. Катаргин ПРИРОДА ОТКАЗОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ФОРСУНОК ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL.....	275
А.В. Лысенко ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДОРОЖНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	279
А.С. Марков, А.И. Федотов, В.В. Винокуров МНОГОФАКТОРНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ, СВЯЗЫВАЮЩИЕ МЕЖДУ СОБОЙ ПОКАЗАТЕЛИ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДОВОГО И ДОРОЖНОГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АТС.....	292
А.С. Марков МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ АТС В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ УЧИТЫВАЮЩАЯ ИЗНОС РИСУНКА ПРОТЕКТОРА БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ ШИНЫ.....	298
И.К. Масленников, К.Е. Карпухин СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	308

В.Н. Коноплев, З.Г. Мельников, А.С. Корзин, Н.А. Хрипач АНАЛИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	316
Н.И. Овчинникова, А.В. Косарева, В.В. Боннет ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ УБОРОЧНО- ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ.....	324
А.Н. Мамаев, Т.А. Балабина, И.В. Одинокова, В.В. Гаевский МЕХАНИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА С БАРАБАНОМ.....	333
В.В. Петин, А.А. Келлер АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЯХ В КЛИМАТИЧЕСКИХ И ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ РФ.....	345
А.П. Петров, С.Н. Банников, В.П. Петрова ВЗАИМОВЛИЯНИЕ КОНДЕНСАТОРА СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РАДИАТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ.....	350
А.П. Петров, С.Н. Банников ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЕЙНОГО ДВУХСЕКЦИОННОГО РЕЖИМА РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ЖАЛЮЗИ.....	360
А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, М.А. Топорков, Д.В. Сидоров ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ САЭТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО МЕТОДИКЕ RuNCAP.....	368
А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, Д.В. Сидоров УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ШИПОВАННЫХ ШИН В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ.....	377
Э.Г. Сафаров, Е.А. Захаров, В.А. Алимов, Е.А. Федянов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ТОПЛИВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	385
Ю.Н. Строганов, А.И. Попова ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ПОЕЗДОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ БУКСИРНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИЦЕПОВ.....	391

В.Н. Катаргин, М.В. Сюбарь МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ПРЕСЕЛЕКТИВНЫХ ТРАНСМИССИЙ.....	402
А.В. Лысунец, Д.В. Халтурин, А.П. Шелехова, Д.Д. Халтурин МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ.....	406
А.Ф. Чебунин К ВОПРОСУ О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ГИДРОЭЛЕМЕНТАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	413
О.С. Яньков, А.В. Камнев, С.С. Шестернёв ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО РАДИУСА КОЛЕСА ПРИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РОЛИКАМИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА.....	420
А.С. Потапов, Т.А. Тарасова, М.Ю. Федяев КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНТИБЛОКИРОВОЧНЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ.....	430
И.С. Писарев, В.Н. Катаргин, Д.А. Поцейко ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ.....	436
С.П. Озорнин, И.Н. Прокопьев АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИМПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА.....	443
А.В. Пузаков СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫПРЯМИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА.....	452
В.А. Раков, А.А. Капустин ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO ₂ В АТМОСФЕРУ ЗА СЧЕТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ.....	459
В.А. Раков, А.А. Капустин ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЕЙ.....	466
П.Г. Руденко, В.Н. Катаргин, В.М. Терских ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПОДВЕСОК В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	473
В.В. Цветков, В.Л. Рупосов СОЗДАНИЕ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПЛОХИХ ДОРОГ И БЕЗДОРОЖЬЯ.....	477

С.П. Рыков СРАВНЕНИЕ ЭПИЮР НОРМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СНОСА РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ РЕАКЦИИ ДОРОГИ НА ШИНУ.....	484
А.В. Неговора, Р.Ж. Магафуров, М.М. Разяпов ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕСТОВОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ИНЖЕКТОРОВ.....	495
А.А. Ивасинкова, Е.М. Портнягин АНАЛИЗ ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТА ФАР.....	499
С.В. Бахмутов, С.Е. Бузников, А.М. Сайкин, Д.В. Ендачев ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОГО АВТОТРАНСПОРТА В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РФ.....	505
А.С. Чернышков, О.С. Яньков, Г.А. Безносков ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕ- СКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ.....	514
Н.Ю. Кузнецов, А.И. Федотов, А.В. Лысенко, Д.А. Тихов- Тинников, В.Г. Власов, А.М. Ишков МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БОКОВЫХ РЕАКЦИЙ МЕЖДУ ЭЛАСТИЧНОЙ ШИНОЙ И ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ ПЕРЕЕЗДЕ КОЛЕСА, ДВИЖУЩЕГОСЯ С УГЛАМИ УВОДА, ЕДИНИЧНОЙ НЕРОВНОСТИ.....	524
И.С. Прокопьев, Н.Ю. Кузнецов, Е.М. Портнягин МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ УВОДУ ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН.....	537
Н.Ю. Кузнецов МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН.....	547
П.А. Киселев, Н.Ю. Кузнецов, А.И. Федотов МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ И НЕУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН.....	558

ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ЛОГИСТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

В.А. Зеер, А.Н. Филатов, С.Н. Ветров, Р.С. Глухих, Д.С. Периков АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ В КАЧЕСТВЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В Г. КРАСНОЯРСКЕ.....	568
---	-----

А.С. Кашталинский, С.М. Порхачёва ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ.....	576
В.А. Лукоянов, А.Л. Воробьев О РАЗМЕЩЕНИИ ЭКИПАЖЕЙ АВАРИЙНЫХ КОМИССАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА.....	584
А.И. Марковнина, Л.Н. Мазунова, В.С. Макаров ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПРОГНОЗ САМОРЕОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.....	592
А. Н. Мярин, Т. П. Егорова, А.Н. Неустроев, В. С. Миронов СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ИСПЫТАНИЙ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА.....	596
Н.Н. Панасенко, Н.В. Дульгер КАСПИЙСКИЙ ПОРТ АКТАУ В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ.....	604
Е.Р. Ибраимова, В.А. Печкин ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ В ШКОЛЬНЫХ ЗОНАХ.....	614
А. Горев, А. Солодский, О. Попова, Д. Оспанов ФОРМИРОВАНИЕ КОРИДОРОВ ПРИОРИТЕТНОГО ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА.....	618
И.В. Спириин, О.Ю. Матанцева, Ю.М. Гришаева, М.И. Савосина ПЛАНИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ В ГОРОДАХ РОССИИ.....	629
Е.В. Парсаев, И.А. Тетерина, А.О. Колесников, С.В. Глушков СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В РАМКАХ РАЗРАБОТКИ КСОДД ДЛЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ИСИЛЬКУЛЬ).....	636
Л.С. Трофимова СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ.....	644
М.С. Турпищева, А.Е. Кичко МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ УЗЛОВ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	651
А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ ПАССАЖИРОВ ПО РЕГУЛЯРНЫМ АВТОБУСНЫМ МАРШРУТАМ.....	654

А. А. Штоцкая, А.В. Косолапов СООТНОШЕНИЕ СТОИМОСТИ ЖИЛЬЯ И ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КЕМЕРОВО.....	661
Р.Н. Горбунов, З.В. Горбунова, В.С. Колчин, А.Ю. Михайлов, Ж.Т. Пиров АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗАМЕРОВ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО И БУФЕРНОГО ИНДЕКСОВ.....	667
Н.А. Филиппова, В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко, В.М. Беляев, А.А. Чеботаев ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ РФ.....	677
Т.П. Егорова, А.М. Делахова ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В АРКТИКЕ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.....	686
О.В. Гриванова, Р.И. Гриванов, Р.А. Решетников ТЕХНОЛОГИИ ГЛОНАСС КАК ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА: СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ.....	695

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КОЛЁСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.33-52

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЙ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ САЭТ В СООТВЕТСТВИИ С RUNCAP

С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.К. Багров

***Аннотация.** В данной статье описываются основные проблемы и причины разработки методов оценки эффективности САЭТ. Анализируется современная российская ситуация на дорогах общего пользования. Говорится о перспективах введения САЭТ в новые автомобили, рассматриваются основные типы и принципы работы данных систем, а также рассматривается оценка их эффективности.*

Ключевые слова: методика испытаний, оценка эффективности, RuNCAP, активная безопасность, САЭТ.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Николай Викторович Попов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Багров Алексей Кириллович - магистрант кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Введение

Одной из основных проблем каждого автомобиля при его создании является безопасность. По данным Всемирной организации здравоохранения в развивающихся странах смертность на дорогах стала пятой по значимости причиной смерти, среди таких причин, как ВИЧ / СПИД, малярия, туберкулез и др. Общее количество погибших на автомобильных дорогах мира достигло 1 млн 240 тысяч смертей в год. [2] Многие дорожно-транспортные происшествия являются следствием запоздалого торможения и/или торможения с недостаточным усилием. Водитель может слыш-

ком поздно затормозить по следующим причинам: он отвлечен или невнимателен; плохая видимость, например, при движении навстречу низко расположенному солнцу; непредсказуемость ситуации, например, при неожиданном торможении впереди идущего автомобиля или переходе через улицу пешехода, не соблюдающего меры предосторожности. Большая часть водителей не обладает опытом поведения в таких критических ситуациях. Интенсивность торможения может быть недостаточна для того, чтобы избежать столкновения. В других случаях, они вообще не успевают среагировать на ситуацию и затормозить.

В середине февраля 2019 года 40 стран, включая Японию и европейские государства, согласились принять разработанные Правила ООН об использовании систем автоматического торможения автомобилей. С 2020 года такими электронными помощниками начнут оснащаться все новые легковые автомобили.[1]

По оценкам Европейской экономической комиссии ООН, САЭТ может спасти более 1 тысячи жизней ежегодно[1]. По мнению авторов наиболее эффективный способ снижения числа случаев смерти и ранений в результате аварии заключается именно в предотвращении аварии, а этого как раз и можно добиться с помощью САЭТ, которая повышает вероятность того, что система сможет предотвратить ДТП или как минимум снизить его последствия. Как ожидается, максимальные преимущества можно было бы обеспечить в результате установки систем экстренного автоматического торможения, на всех транспортных средствах.

Правила ООН №131 распространяются только на грузовые автомобили, отчасти именно для этого разрабатывается собственная независимая оценка эффективности данных систем. [5]

В нижеследующем анализе более подробно уточняется характер этой проблемы в области безопасности и способ, с помощью которого САЭТ могут способствовать частичному решению этой проблемы.

Целевая группа населения: статистические данные об авариях

Хотя причиной ДТП может являться как состояние транспортного средства, так и состояние дороги, САЭТ может значительно снизить количество ДТП и их последствия. В России, данная система могла бы найти применение в самых разнообразных условиях движения. Приведенная ниже информация, полученная на основе анализа статистических данных России, иллюстрирует типы аварий, на которые могло бы теоретически оказать воздействие применение САЭТ.

В России за 2017 год было совершено 169432 ДТП, в которых 19 088 человек погибли и 215 374 получили травмы различной степени тяжести. 10 835 приходится на аварии с наездом на препятствие, 5 021 наезд на стоящие ТС, 4 922 наезд на велосипедиста, 51 859 наезд на пешехода,

70 736 столкновение ТС [3]. Таким образом, последствия около 75% ДТП можно было бы смягчить, если использовалась бы САЭТ.

Таблица 1 - Статистика ДТП за 2017 год

Категория	Кол-во ДТП (% от общего количества)	Кол-во погибших	Кол-во пострадавших
Наезд на препятствие	10835 (6,4)	1481	14008
Наезд на стоящие ТС	5021 (3,0)	602	6756
Наезд на велосипедиста	4922 (2,9)	389	4674
Наезд на пешехода	51859 (30,6)	5666	48932
Столкновение ТС	70736 (41,7)	8107	109040
Опрокидывание ТС	12617 (7,5)	1938	16451
Иной вид ДТП	13442 (7,9)	905	15513
Всего	169432 (100)	19088	215374

Принцип действия САЭТ

САЭТ условно можно разделить на две группы: индикаторные (в настоящее время такие не создаются и не разрабатываются) и автоматические.

В индикаторных системах водитель только предупреждается сигналом (звуковой и/или световой) о возможном столкновении и сам принимает необходимые действия по предотвращению столкновения. САЭТ не вмешивается в управление автомобилем и, тем более, в тормозную систему.

Автоматические системы не только предупреждают водителя об опасности, но и посредством исполнительных механизмов воздействуют на систему топливоподачи двигателя, приводы сцепления и тормозов. [6] В результате система сама (без участия водителя) способна изменять режимы движения в зависимости от сложившейся дорожной ситуации. Для устойчивой работы САЭТ, она должна получать достоверную информацию об участниках дорожного движения как о возможных препятствиях движению. Поэтому в структурной схеме устройств, входящих в систему, обязательно должно быть устройство технического зрения. Сама структурная схема САЭТ (рис. 1) состоит из трёх блоков: блока технического зрения, блока управления и системы автоматического торможения (САТ), которая базируется на исполнительных механизмах системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ). [7]

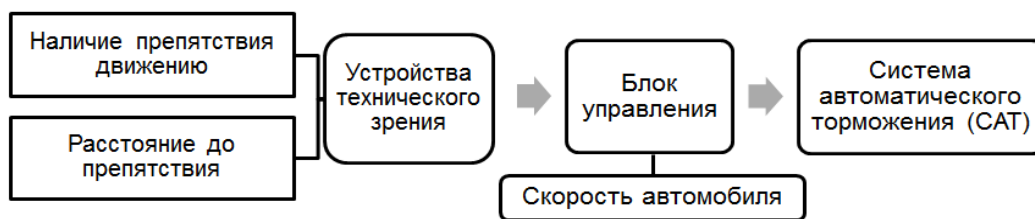


Рисунок 1 - Структурная схема САЭТ

В качестве устройств технического зрения могут быть применены: радары, лидары, сонары (ультразвуковые локаторы) и инфракрасные дальнометры. В лазерах и инфракрасных устройствах – используются электромагнитные волны оптического диапазона; в ультразвуковых локаторах – акустические волны, а в радары – электромагнитные ультракороткие волны (микроволны). На данный момент для определения угрозы потенциального столкновения используются [радарные датчики](#), стерео[камеры](#) (получающая объёмное изображение) или устройства, созданные по технологии [лидара](#). Устройства технического зрения позволяют измерять относительные параметры движения машины и других объектов, обнаруживать препятствия на пути движения.

Для обнаружения объектов в зонах, близких к автомобилю, используются радары диапазона 24 ГГц, а для более дальних диапазонов – радары с большей частотой, например, для расстояния до 250 м, используются радары 77 ГГц. Видеокамеры обычно служат для обнаружения пешеходов или для нахождения полос на дороге (в случае удержания на полосе). Все средства технического зрения могут быть задействованы одновременно, чтобы система имела возможность обнаруживать препятствия в диапазоне 360° вокруг автомобиля.

В моделях САЭТ для бюджетных автомобилей используется оптический ИК-датчик. Также может применяться электронносканирующий радар от Delphi Automotive – Electronically ScanningRadar (ESR). Этот радар имеет широкий диапазон сканирования, обеспечивает два измерительных режима одновременно, поэтому его называют ещё мультирежимным. Первый режим – средний диапазон, служит для идентификации других автомобилей и пешеходов, второй – дальний диапазон, служит для получения данных о скоростях, идентификации пути. Радары ESR объединяют в себе адаптивный круиз-контроль, предупреждение о возможном столкновении, а также об уменьшении дистанции с впереди движущимся автомобилем.

Этот радар имеет диапазон 76-81 ГГц и обеспечивает описанные выше диапазоны работы. Трансмиттер на 77 ГГц излучает сигналы, которые отражаются от объекта находящегося или впереди, или сбоку, или сзади, и автомобиль, посредством ресиверов, захватывает их.

С помощью 32-битного микроконтроллера с одним или двумя ядрами со встроенной оперативной памятью и флэш-памятью, радарная систе-

ма может обнаруживать и отслеживать объекты, с которыми может потенциально произойти столкновение, предупреждая водителя визуальными, звуковыми или тактильными сигналами о возможном столкновении, а также осуществлять вмешательство в торможение.

Delphi разработала систему, которая объединяет множество систем безопасности посредством одного интегрального модуля. Этот продукт носит название RASam – интегрированная система на основе радара и видеокамеры. Возможности этого модуля не ограничены только САЭТ, он разработан для применения во многих других системах ADAS.

Основа этой системы – электронно-сканирующий радар Delphi ESR среднего и дальнего диапазона, видеокамера и блок вычисления. Сенсорные системы, они же сенсорные видеокамеры в превентивных системах безопасности отвечают за безопасность не только водителя и пассажиров, но и пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов.

Компания TRW предлагает специальную систему обнаружения пешеходов. Данные с видеокамеры совмещаются с данными радара частотой 24 ГГц. Если наличие пешехода подтверждается последним, то начинают осуществляться специальные алгоритмы, просчитывающие вероятность ДТП. Если вероятность велика, то активируется сигнал предупреждения.

Компания Continental предлагает стереокамеру – сенсорный блок, основой которого являются две монокамеры. Камеры обеспечивают полный анализ изображения с помощью одного блока, тем самым стереокамера может определить изменения изображения за один кадр, различить стационарно ли препятствие или оно движется. Входные данные используются для определения высоты препятствия относительно поверхности и расстояния до него и даже скорости, с которой движется автомобиль. Такая система размещается за ветровым стеклом.

Получаемые входные данные о размерах, расстояниях и скорости (триангуляция данных) являются результатом системной оценки различий в перспективе между левым и правым оптическими путями, аналогично пространственному зрению человека, которое даёт возможность понять, насколько изменилось видимое положение объекта относительно заднего фона в зависимости от изменения положения автомобиля. Например, при расстояниях в 25-35 метров, такая камера сможет определить диапазон расстояний до объекта с точностью в 25-35 сантиметров. Такая точность позволяет стереокамере обнаружить близко находящиеся объекты, которые в свою очередь могут практически сливаться с фоном. Это даёт преимущество и в условиях плохой видимости. [8] После того, как получена и проанализирована информация со всех камер, система подаёт звуковой, световой сигнал или тактильный сигнал, путём вибрации обода рулевого колеса/сидений (Cadillac). Система автоматического торможения осуществляет замедление автомобиля, без участия водителя, по сигналу блока управления САЭТ. Для осуществления автоматического торможения ис-

пользуются в первую очередь такие элементы, как датчики угловой скорости колёс, гидроблок ЭКУ, датчик положения педали тормоза и другие элементы ЭКУ, необходимые для функционирования САЭТ.

САЭТ функционирует параллельно с АБС, не вмешиваясь в алгоритм её действия. В случае выхода из строя САЭТ, водитель должен иметь возможность тормозить самостоятельно.

Если рассматривать устройство САЭТ с конструкторской точки зрения, то она базируется на двух других системах, входящих в ADAS – это система адаптивного круиз-контроля (с помощью её функциональных возможностей осуществляется контроль расстояния) и система электронного контроля устойчивости, которая отвечает за автоматическое торможение.

Методика оценки эффективности САЭТ в соответствии с RUNCAP

Основной функцией системы автоматического экстренного торможения является предупреждение водителя о потенциальной опасности столкновения с находящимся впереди транспортным средством (ТС), а также снижение тяжести последствий их возможного столкновения. В случае неадекватной оценки или игнорирования водителем опасности возможного столкновения, САЭТ может увеличивать замедление автомобиля.

Для того, чтобы проверить эффективность действия САЭТ, проводится несколько испытательных заездов для определения параметров движения автомобиля. Для этого используется несколько специальных «испытательных сценариев». Данные сценарии имитируют реальные дорожные ситуации, которые предполагают включение и вмешательство САЭТ.

Во время каждого испытательного заезда регистрируются следующие параметры и показатели автомобиля:

- время (t);
- пройденный путь (S);
- продольная скорость ($V_{test.veh.}$);
- продольное замедление ТС (j_x);
- географические координаты по данным GPS/ГЛОНАСС.
- момент подачи аудио, визуального или тактильного сигнала предупреждения о столкновении;
- момент включения сигналов торможения;
- скорость автомобиля в момент касания испытательной цели;
- усилие на педали тормоза;
- расстояние от автомобиля до испытательной цели после остановки.

Определение эффективности действия САЭТ производится на основе анализа предельной начальной скорости, при которой не произошло столкновение автомобиля с испытательной целью или скорость столкновения не превышала 4 км/ч. Предельная начальная скорость — это наиболь-

шая начальная скорость заездов, при которой в трех заездах из трех не было контакта автомобиля с целью или в четырех заездах из пяти скорость столкновения не превышала 4 км/ч.

Итоговая оценка эффективности действия САЭТ определяется как сумма предельных скоростей, полученных по результатам дневных и ночных испытаний. Максимально возможное количество баллов равно 180. Если при дневных или ночных испытаниях система оказалась не эффективной при любой начальной скорости заезда, количество баллов в этих испытаниях приравнивается нулю.

Заключение

Системы автоматического экстренного торможения, несомненно, подают огромные надежды на улучшение будущей обстановки на дорогах общего пользования. Для того, чтобы убедиться в их эффективности, а также улучшить работу, требуется разработка специальной методики оценки эффективности данной системы. Так как практически невозможно создать общую методику оценки эффективности САЭТ для всего мира, требуется разработка и создание независимых методик для каждого региона. Основываясь на статистике ДТП, а также на возможностях системы автоматического экстренного торможения, можно убедиться, что данная система позволит значительно снизить количество аварий на дорогах общего пользования.

Список использованной литературы

1. Japan among 40 nations to back UN draft regulation on braking systems.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.moneycontrol.com/news/world/japan-among-40-nations-to-back-un-draft-regulation-on-braking-systems-3544081.html>.
2. Статистика по ДТП в мире. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro-spo.ru/obshhestvo-i-it/4566-statistika-po-dtp-v-mire>.
3. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru>.
4. Методика RuNCAP[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://autoengineer.org/runcap1/metodika.html>.
5. Правила ООН № 131. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств в отношении опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ).[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library.fsetan.ru/doc/pravila-eek-oon-n-131-edinoobraznyiepredpisaniya-kasayuschiesya-ofitsialnogo-utverzheniya-mehanicheskikhtransportnyih sredstv-v-otnoshenii-operezhayushih-sistem-ekstrennogo-tormozheniya-ose.html>.

6. Елистратов, В.В. Концепция развития систем предупреждения столкновений транспортных средств / В.В. Елистратов, С.И. Безруков, П. Г. Стенин, В. С. Климаков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2, с. 12 – 21.

7. Долгова Л. А., Василиади Г. Н. Обоснование способа предупреждения столкновения автомобилей // Молодой ученый. – 2015. – №9. – С. 194-198. – URL: <https://moluch.ru/archive/89/18273/>.

8. Сысоева, С. Интеллектуальные автомобильные ассистенты и датчики. Функций - больше, "железа" – меньше. Компоненты и технологии, 2012, № 1 (126). С. 7-18.

УДК 629.3.027.543.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫШЕК АВТОМОБИЛЕЙ

С.А. Балдин, Д.А. Королёв, Л.А. Бердников

***Аннотация.** Рассматривается покрышка как звено сложной системы “водитель - автомобиль - дорога”. Для эффективного создания новых моделей покрышек требуется достоверная интерпретация экспериментальных и расчетно - устанавливаемых значений критериев. Приведены несколько методов сравнения, указаны преимущества и недостатки. Приведены результаты решения поставленных задач. Рассмотрены оценки качества шипованных покрышек. Выполнен анализ критериев, предложены новые критерии, выполнено ранжирование покрышек. Установлена практическая ценность использования расширенного числа критериев качества покрышек.*

Ключевые слова: *качество, покрышка, сравнение методики оценки, преимущества и недостатки методов, критерий качества, многокритериальная оптимизация.*

Сергей Алексеевич Балдин - магистрант, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, тел.: 89991384230, E-mail: baldin.serja.baldin@mail.ru.

Денис Александрович Королёв - бакалавр, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, тел.: 89616379607, E-mail: denkor1997@mail.ru.

Леонид Анатольевич Бердников - кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, тел.: 89202532791.

Одним из определяющих звеньев сложной системы, характеризующей понятием «водитель-автомобиль-дорога», является покрышка колеса транспортного средства. Одновременный учет экспериментально, а в перспективе – расчетно-устанавливаемых значений совокупности частных критериев как характеристик интегрированного качества покрышки обязательно требует последующего достоверного интерпретирования результатов. Данное требование является необходимым условием получения высокого качества решения, обеспечивающего наиболее эффективные компромиссные показатели функционирования автомобиля. Практическая реализация указанного требования является актуальной задачей для разработчиков транспортных средств и покрышек к ним, достаточно важной для обоснованного выбора и эффективного применения новых моделей покрышек ведущих мировых производителей.

Наиболее распространенным способом многокритериальной оценки интегрированного качества сложных технических систем, в том числе покрышек автомобилей, является использование функции полезности или бального варианта использования данной функции в [1]. При этом полагают, что на основе экспертных оценок существует возможность установления наиболее важных критериев качества и значений весовых коэффициентов при них, а установленные критерии и коэффициенты впоследствии достоверно определяют качество рассматриваемой конструкции.

Можно выделить два основных недостатка указанного метода.

1. Ранжирование интегрированного качества совокупности покрышек различных конструкций будет предопределено назначенными весовыми коэффициентами. Однако алгоритм определения данных коэффициентов для оценки качества покрышек автомобилей отсутствует, что приводит к парадоксальному результату, когда обработка неизменной серии данных тщательно поставленного экспериментального исследования может иметь отличительные результаты в [2, 3].

2. Ограничение весомости части критериев качества конструкции объективно закладывает отставание создаваемого образца от теоретически лучшего образца-аналога. Здесь совершенствование моделей анализа за счет учета новых, дополнительных критериев качества неразрывно связано с назначением малого «веса» для «дополнительных» критериев. Указанное обстоятельство в процессе многокритериальной оптимизации конструкции приводит к получению наилучшего численного результата при ухудшении значений «дополнительных» критериев. Примером изложенного служит уменьшенный «вес» расхода топлива по сравнению с критерием длины тормозного пути для оценки зимней шипованной шины в [4]. Здесь при рассмотрении шин 12-ти мировых производителей экспериментально установлено, что, например, шина *Pirelli winter S performance* (Турция) имеет наилучший показатель по длине тормозного пути на льду и наихудший по расходу топлива, а *Bridgestone WT-14* (Япония) обладает прямо

противоположной совокупностью качеств. Однако лучший мировой опыт свидетельствует о реальной возможности преодоления указанного противоречия. Например, шина Dunlop SP Arctic M3 (Финляндия) занимает вторую позицию по обоим представленным в [2] критериям.

Ликвидировать недостатки, связанные с использованием функции полезности, возможно путем перехода к применению в процедурах анализа и оптимизации конструкций обобщенной функции желательности в [1, 3, 5]

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_k)^{1/k} \rightarrow 1, \quad (1)$$

$$d_i \in [0; 1], i = 1, 2, \dots, k, \quad (2)$$

где – d_i частные функции желательности.

В [3] на основе оценки качества шипованной покрышки 175/70R13 по 14 экспериментально установленным частным критериям выявлено, что лучшие мировые производители достигли результата одновременного улучшения совокупности всех рассмотренных в статье критериев. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дополнительного расширения совокупности частных критериев качества покрышки.

Целью данной работы является разработка уточненной интегрированной модели оценки качества шипованной покрышки, позволяющей достоверно выполнять ранжирование качества покрышек различного конструктивного исполнения. Основными задачами исследования являются:

1. Выбор расширенного числа критериев качества покрышки, получение новых соответствующих частных функций желательности вида (2).

2. Получение достоверных сведений о ранжировании покрышек лучших мировых производителей с использованием разработанной модели.

3. Установление практической необходимости увеличения количества критериев качества покрышек автомобилей на основе анализа значений обобщенной функции желательности (1).

Результаты решения задачи

В [3] выполнено ранжирование 12 моделей шипованных покрышек 175/70R13 при использовании 14 следующих частных критериев их качества:

1. Время разгона с места до скорости 50 км/ч, покрытие – снег.
2. Время разгона с места до скорости 50 км/ч, покрытие – лед.
3. Длина тормозного пути со скорости 50 км/ч, колеса заблокированы, покрытие – лед.
4. Длина тормозного пути со скорости 50 км/ч, колеса заблокированы, покрытие – снег.

5. Максимальная скорость объезда неподвижного препятствия, покрытие – лед.

6. Расход топлива при скорости 60 км/час на горизонтальном километровом участке.

7. Расход топлива при скорости 90 км/час на горизонтальном километровом участке.

8. Проходимость по глубокому снегу.

9. Удобство управления разгоном.

10. Удобство управления торможением.

11. Курсовая устойчивость автомобиля.

12. Управляемость автомобилем.

13. Плавность хода.

14. Акустический комфорт.

Перечень моделей исследованных покрышек представлен в табл. 1.

Таблица 1 - Покрышки различных производителей, экспериментально исследованные по единой программе

№ п/п	Модель	Индекс скорости	Страна
1	Gislaved Frost II	Q	Швеция
2	Dunlop SP Arctic M3	T	Финляндия
3	Goodyear Ultra Greep 400	Q	Великобритания
4	Michelin Ivalo	Q	Европейский Союз
5	Nokian Hakkapeliitta 1	T	Финляндия
6	Pirelli winter S performance	Q	Турция
7	Bridgestone WT-14	Q	Япония
8	Partner M 232	Q	Россия
9	Cooper Weathe Master S/T	S	США
10	НИИШП И-508	S	Россия
11	Matador MP 57 Sibir	T	Россия
12	КАМА-578	S	Россия

Частные критерии обобщенного качества покрышек отвечают рекомендациям, указанным в [2]. Соответствующие им частные функции желательности можно представить в виде [5]

$$d_i = \exp(-\exp(-d_1 - d_2 \cdot y_i)), i = 1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

где y_i – абсолютное значение i -го критерия качества.

Методика определения коэффициентов b_1 и b_2 , а также их значения представлены в [3].

Выполним анализ необходимости дальнейшего увеличения количества рассматриваемых критериев. Из табл. 1 видно, что представленные покрышки имеют различный индекс скорости. При этом величина скорости, на которую рассчитаны различные шины, лежит в широких пределах – 160–190 км/ч (индекс скорости Q-T). Этот факт необходимо учитывать при оценке обобщенного качества покрышек.

Рассмотрим результаты определения длины тормозного пути автомобиля (BA32110) на льду в [3]. Здесь покрышки производителей Gislaved и Dunlop имеют практически равный тормозной путь. Однако, на второй покрышке, в отличие от первой, автомобиль имеет существенный занос – до 45°. Аналогичные данные можно привести по данным определения тормозного пути на снегу. Здесь близкие результаты имеют покрышки Matador и КАМА. В данном случае на второй покрышке, в отличие от первой, автомобиль имеет занос до 90°. Представленные данные свидетельствуют о необходимости учета явления заноса, возникающего на практике. При движении автомобиля в сложных дорожных условиях в ряде случаев имеет место буксование. Буксование транспортного средства – четвертый, ранее неучитываемый, критерий оценки качества покрышки. В дополнение к комплексу представленных выше 14 критериев качества он должен быть учтен вследствие наличия критерия №8 – проходимости по глубокому снегу. Таким образом, имеем 4 дополнительных критерия. С использованием экспериментальных данных в [2] для 12 моделей покрышек нами определены коэффициенты, для трех критериев качества. Эти данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Дополнительные критерии качества покрышки

№ п/п	Критерий	d_1	d_2
1	Максимальная скорость	-3,11	0,024
2	Занос при торможении, покрытие – лед	1,5	-0,008
3	Занос при торможении, покрытие – снег	1,5	-0,008

Важно отметить, что использование функции (2) в сочетании с единой шкалой желательности [5] позволяет количественно оценить значимость качественных критериев. На этой основе для четвертого нового критерия, буксования в глубоком снегу, нами выбраны следующие соотношения: отсутствие буксования – $d = 0,8$; допустимость буксования – $d = 0,7$; недопустимость буксования – $d = 0,6$. С учетом представленных новых критериев для всех 12 моделей покрышек нами установлены значения обобщенной желательности D . На рис. 1 приведены результаты ранжирования этих покрышек на основе использования всех 18 критериев качества. Следует отметить, что здесь и в табл. 1 нумерация моделей покрышек со-

ответствует ранжированию их обобщенной желательности на основе использования 14 ранее рассмотренных критериев.

Из рис. 1 видно, 8 из 12 покрышек изменили свое положение по шкале желательности D . Тем самым существенно повышена достоверность оценок обобщенного качества покрышек. Таким образом, поставленная в работе цель достигнута.

На основании выше сказанного можно сделать вывод, что более достоверный практический результат дает второй способ методики оценки.

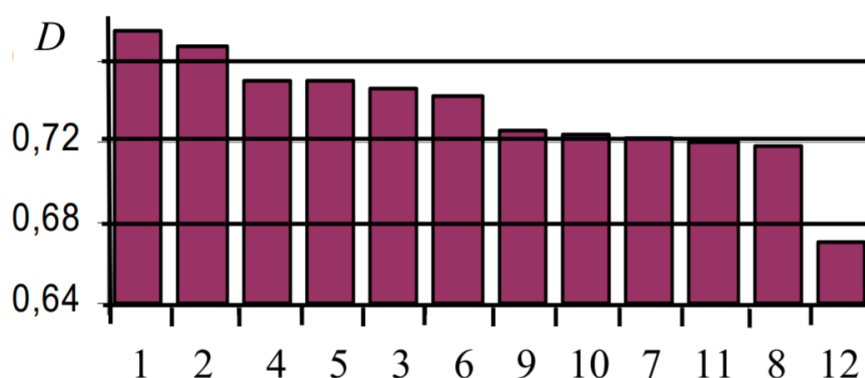


Рисунок 1 -Обобщенная желательность шипованных покрышек 12 производителей

По нему можно сделать следующие выводы:

1. Предложены новые четыре критерия оценки качества покрышки автомобиля, существенно влияющие на качество функционирования системы «водитель-автомобиль-дорога». Установлены соответствующие частные функции желательности конструкций шипованных покрышек вида (3).

2. На основе уточненной обобщенной функции желательности вида (1) выполнено ранжирование шипованных покрышек 12 производителей.

3. Установлена практическая ценность использования расширенного числа критериев качества покрышек. Установлено, что увеличение числа частных критериев качества с 14 до 18 привело к изменению количественных оценок качества для 2/3 рассмотренных покрышек.

Список использованной литературы

1. Фасхиев Х.А. Анализ методов оценки конкурентоспособности автомобилей // Машиностроитель. – 2001. – №5. – С. 17–25.
2. Мишин С. Колючие шины // За рулем. – 1998. – № 10. – С. 56–60.

3. Пылева Т.К. Оценка качества шипованных покрышек автомобилей на основе данных комплексного тестирования // Механика на машиностроении. – 2006. – №1. – С.156–163.

4. Мишин С. Колючие шины // За рулем. – 1998. – № 9. – С. 88–91.

5. Планирование эксперимента в технике / Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И.. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.

УДК 621.113

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВКИ КОЛЕС МЕНЬШЕГО ДИАМЕТРА НА АВТОМОБИЛЬ ГАЗ-С41R13

П.В. Пинаев, Л.А. Бердников

Аннотация. *Рассматривается возможность установки колес с шинами 215/75R17,5 на автомобиль ГАЗон NEXTс целью уменьшения грузочной высоты. На основе сравнения с аналогами схожей грузоподъемности. Расчет изменения параметров автомобиля, на основе базовых знаний теории автомобиля.*

Ключевые слова: *колеса, диаметр, грузочная высота, уменьшение, ГАЗон NEXT.*

Павел Владимирович Пинаев – магистрант, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, тел.: 89648328199, E-mail: pinaev.p.v@yandex.ru.

Леонид Анатольевич Бердников - кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, тел.: 89202532791.

В наше время грузоперевозки автомобильным транспортом очень востребованы и обогнали железнодорожный транспорт. Тому поспособствовала бурное развитие мелкой предпринимательской деятельности и банальное удобство. Дорога есть у каждого дома, магазина предприятия, а железнодорожные пути – более глобальное сооружение, для очень крупных объектов. Сейчас на границах каждого крупного города находятся десятки терминалов, работает целая система, которая позволяет ускорить и удешевить транспортный процесс. Выглядит это следующим образом: огромные тягачи с полуприцепами доставляют груз до определенного терминала, в котором производится перераспределение груза в меньшие грузовые автомобили, развозящие груз в конечные точки по городу. Наиболее популярными, среди последних, являются грузовые транспортные средства грузо-

подъемностью 1,5 и 5 тонн из-за меньших габаритов, повышенной маневренности и топливной экономичности.

В данной работе рассмотрен автомобиль ГАЗ С41R13 - ГАЗон NEXT, грузоподъемностью 5 тонн. При проектировании автопредприятия возникла проблема: при малой длине ездки (городские условия), большая часть времени уходит на погрузочно-разгрузочные работы. Чтобы ускорить этот процесс можно воспользоваться механизированным оборудованием, но это довольно дорого, поэтому в большинстве случаев погрузочно-разгрузочные работы производят грузчики. Было принято решение модернизации подвижного состава, а именно уменьшение колес автомобиля, с целью уменьшения погрузочной высоты.

Сравнивая ГАЗон NEXT с его конкурентами (табл. 1), можно сделать вывод, что зарубежные аналоги уже давно используют меньшие колеса и имеют меньшую погрузочную высоту.[2]

Таблица 1 - Сравнение ГАЗон NEXT с его конкурентами

Марка	Г.п., т.	Размер шины	Клиренс, мм	Погрузочная высота, мм
ГАЗон NEXT	5	8,25 R 20	253	1300
КАМАЗ 4308	5,5	245/70 R 19,5	190	1255
Hyundai HD 78	5,2	7,50 R 16	235	1000
Mitsubishi fuso canter	5,3	215/75 R 17,5	200	1050
Mercedes-benz atego	5	215/75 R 17,5	170	1050

Инженеры автозавода ГАЗ использовали колеса, которые устанавливались на старые советские автомобили, такие как ЗИЛ-130, ГАЗ-53, ПАЗ-3205 и многие другие. С точки зрения универсальности колес, это хорошо, но в наше время совсем другие условия. Раньше не было несколько типов автомобилей для города, поселков, трасс, а везде использовалась одна и та же машина. От машины требовалась универсальность на любом типе покрытия, будь то грязь в поле, автомагистраль или городские дворы.

Сейчас, машине использующейся только в городе не требуется высокий клиренс и внедорожные качества. А сопротивление качению зависит от размера колеса только на высокой скорости. Так что негативные последствия уменьшения колеса практически отсутствуют.

Исходя из теории автомобиля и рассмотрим установку на ГАЗон NEXT распространенных зарубежных колес с шинами 215/75R17,5.

Вычислим динамический радиус и диаметр колеса

$$r_d = \frac{d}{2} + B_{ш} \cdot \Delta_{ш} \cdot \lambda_{ш}, \quad (1)$$

$$d_k = r_d + \frac{d}{2} + B_{ш} \cdot \Delta_{ш}, \quad (2)$$

где [1] d – диаметр диска, мм;
 $B_{ш}$ – ширина профиля шины, мм;
 $\Delta_{ш}$ – отношение высоты профиля шины к ширине;
 $\lambda_{ш}$ – коэффициент смятия, учитывающий уменьшение высоты профиля шины из-за смятия под нагрузкой. Для шин грузовых автомобилей 0,89...0,90.

Клиренс изменится на величину разницы динамических радиусов колеса при стандартном картере заднего моста, однако уменьшится передаточное отношение редуктора, можно уменьшить картер заднего моста, не будем это учитывать.

Погрузочная высота уменьшится на величину разницы диаметра колеса, однако можно уменьшить ходы подвески (не критично для города) и опустить еще грузовую платформу.

Скорость вращения колес изменится пропорционально радиусу колеса [1]

$$w_k = V \cdot r_d. \quad (3)$$

Топливная экономичность. Для вращения колес увеличенного диаметра нужны большие усилия. Исходя из этого для процессов старта езды и ускорения нужно возросшее количество горючего. Несмотря на объективность информации подсчитать точное количество возросших потерь топлива практически невозможно, поскольку он зависит от большого количества самых разнообразных факторов (условия движения, скорость, техническое состояние авто и т.д.).

Расход горючего увеличивается нелинейно, поэтому прямым образом зависит от выбранного скоростного режима. В процессе езды на низких скоростях увеличившийся расход топлива не будет значительным, а вот при увеличении скоростей более 40-50 километров в час его потребление резко увеличивается.

В поисках истины, о том, как размер колес влияет на расход топлива, большая часть экспертов прибегают к науке под названием физика. За счет этого есть теория, согласно которой минимальные топливные потери будут являться причиной увеличенного количества оборотов мотора, ведь работа будет происходить равноценная. Расход топлива в основном будет зависеть в прямом смысле от массы автомобиля и аэродинамического сопротивления.

Есть «теория автомобиля», которая подразумевает наличие специальной формулы, по которой можно рассчитать путевой расход горючего

Q_s , что дает возможность пренебрегать динамическими показателям радиуса. При этом стоит учитывать применяемую высоту и жесткость профиля покрышек.

Но остается очевидным тот факт, что колесам, у которых более широкий профиль, необходимы большие затраты топлива, ведь вес данного колеса будет большим. Плюс к этому, мотору необходимо большее усилие, для того чтобы сдвинуть автомобиль с места. Помимо веса, обычно становится большей площадь пятна контакта, а вместе с этим и сопротивление качению и акустический шум. Так же увеличение неподрессоренной массы негативно влияет на комфорт.

В итоге лучше склоняться к фактам, а факт заключается в том, что у аналогов ГАЗон NEXТ, при схожей мощности и объеме двигателя, использующие меньшие колеса – расход топлива меньше на 5-10%.

Полученные данные выведем в сравнительной таблице (Табл. 2).

Таблица 2 - Сравнительная таблица

Параметр	Шины 8.5R20	Шины 215/75R17,5
r_d , мм	453	365
d_k , мм	962	752
Клиренс, мм	253	165
Погрузочная высота., мм	1300	1090
Вес колеса, кг	84	49
Угловая скорость, %	100	124
Топливная экономичность, %	100	93
Цена 1 колеса	13600+5500	8600+4500

Вывод

В итоге получается, что при использовании колес с шинами размером 215/75R17,5 на автомобиле ГАЗон NEXТ в городе, по сравнению со стандартными 8,25R20, выявлены следующие преимущества:

- Уменьшена погрузочная высота на 210 мм, что облегчает и сокращает время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку транспортного средства;
- Уменьшена масса колеса на 35 кг и его габариты, что очень ощутимо при ремонтных работах, а так же, увеличивает комфорт водителя и пассажиров, за счет уменьшения неподрессоренной массы;
- Уменьшена стоимость одного колеса на ≈ 6000 руб., что повышает экономическую эффективность автомобиля;
- Уменьшен расход топлива на 5-10%.

В итоге был получен способ модернизации автомобиля ГАЗон NEXT, который легко осуществить технически: подобрать главную пару заднего моста и заменить ступицу под меньший диск. Возможно больше уменьшить погрузочную высоту автомобиля, но это экономически нецелесообразно, так как потребует сильное вмешательство в конструкцию рамы автомобиля.

Список использованной литературы

1. В.В. Селифонов, А.Ш. Хусаинов, В.В. Ломакин Теория автомобиля: Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.
2. [Электронный ресурс]: Технические характеристики автомобиля ГАЗонNEXT. Режим доступа: <http://azgaz.ru/models/gazon-next>.

УДК 629.083:629.066:656.043.1

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ФОТОФИКСАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВТОМОТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.В. Давыдов, В.С. Калиниченко, Э.А. Эшаров, Ю.А. Власов

Аннотация. В работе предлагается использовать фотофиксацию при расследовании дорожно-транспортных происшествий. Рассматриваемый алгоритм для восстановления трехмерных координат точек объекта по двум смежным изображениям стереопары при фотометрии позволяет выполнять оценку повреждений автотранспортных средств.

Ключевые слова: фотофиксация, автотранспортные средства, повреждения.

Анатолий Валерьевич Давыдов - старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт и электротехника», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: avtotex.70@mail.ru.

Владимир Сергеевич Калиниченко - старший преподаватель кафедры «Строительные и дорожные машины», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-48-82, E-mail: kvs-2010@mail.ru.

Элзар Асанович Эшаров - канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Прикладной математики», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-93-58.

Юрий Алексеевич Власов - д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт и электротехника», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: yury2006@yandex.ru.

Быстрый рост количества автотранспортных средств (АМТС) в стране во много раз опережает темпы дорожного строительства, поэтому дорожная сеть работает с перенапряжением. Состояние автомобильных дорог, качество покрытия, видимость и радиусы закруглений, ширина проезжей части, обустроенность соответствующими знаками, светофорами, наличие разметки, ограждения – существенным образом влияют на безопасность дорожного движения и определяют в своей совокупности понятие «дорожные условия».

При расследовании дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в большинстве случаев считается, что основными их причинами являются небрежность или ошибки водителя, а также неисправность АМТС. Статистические данные показывают, что из-за неудовлетворительных дорожных условий совершается от 8 до 15% всех ДТП. По оценке специалистов, реальное влияние дорожных условий на совершение ДТП значительно выше и составляет от 60 до 80% [1].

К наиболее распространенным классифицированным ДТП относятся: столкновение движущихся АМТС, наезд на стоящий АМТС и наезд на препятствие (неподвижное или внезапно возникшее).

Процедура фиксации и оформления ДТП в настоящее время предусматривает три варианта:

1. Европейский протокол, участники происшествия сами оформляют и фиксируют все обстоятельства, с обязательным использованием фото и видео аппаратуры.

2. Аварийный комиссар, оформляет и фиксирует все обстоятельства происшествия, с обязательным использованием фото и видео аппаратуры.

3. Инспектор ГИБДД, оформляет и фиксирует все обстоятельства происшествия, использование фото и видео аппаратуры не обязательно.

Довольно часто возникают спорные ситуации, расследование и экспертиза которых производится по имеющимся материалам, к которым в том числе относятся фотографии и видеосъемка. В большинстве случаев, участник происшествия использует мобильное устройство при фиксации и оформлении сложившейся ситуации (рис.1).

На рис.1, а – водитель мотоцикла зафиксировал общую дорожную ситуацию. На рис.1, б – с целью понимания масштаба и размера выбоин, водитель использовал перчатку как масштабный маркер. В данной ситуации, владельцу мотоцикла придется доказывать, что дорожное покрытие не соответствует требованиям к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения [2].

В последние годы вычислительные возможности мобильных устройств существенно выросли, что позволяет поставить задачу диагностики повреждений по измерениям на серии последовательных кадров видеосъемки. Решение задачи сводится к формированию по графическим меткам элементов матрицы геометрических преобразований и восстановлению трехмерных координат точек объекта по перспективным проекциям в каждой картинной плоскости.



а)

б)

Рисунок 1 - Фотографии выбоин в дорожном покрытии:

а) общий вид дорожной обстановки;

б) перчатка водителя мотоцикла в выбоине

Проанализируем алгоритм восстановления трехмерных координат точек объекта по двум смежным изображениям стереопары [3].

С введением однородных геометрических координат преобразование линейной перспективы (рис. 2) представляется в виде матрицы размера 4x4

$$[x \ y \ z \ 1][T'] = [x' \ y' \ z' \ h], \quad (1)$$

$$\text{где } [T'] = \begin{bmatrix} T'_{11} & T'_{12} & T'_{13} & T'_{14} \\ T'_{21} & T'_{22} & T'_{23} & T'_{24} \\ T'_{31} & T'_{32} & T'_{33} & T'_{34} \\ T'_{41} & T'_{42} & T'_{43} & T'_{44} \end{bmatrix}.$$

В процессе фотографирования результаты проецируются на двумерную плоскость, в данном случае, на плоскость $z = 0$ с помощью преобразования проекции

$$[T''] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

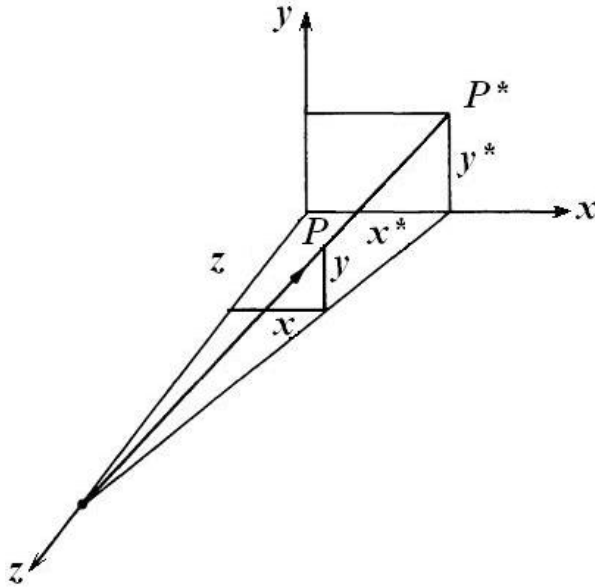


Рисунок 2 - Перспективная проекция точки

Композиция этих двух линейных преобразований дает

$$[T] = [T'][T''] = \begin{bmatrix} T'_{11} & T'_{12} & 0 & T'_{14} \\ T'_{21} & T'_{22} & 0 & T'_{24} \\ T'_{31} & T'_{32} & 0 & T'_{34} \\ T'_{41} & T'_{42} & 0 & T'_{44} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Таким образом, результирующее преобразование можно записать в виде

$$[x \ y \ z \ 1][T'] = [x' \ y' \ 0 \ h] = h[x' \ y' \ 0 \ 1] \quad (4)$$

Здесь x^* и y^* – это координаты перспективной проекции на картинную плоскость фотоизображения $z=0$. После исключения масштабного коэффициента h получим два скалярных уравнения

$$(T'_{11} - T'_{14}x^*)x + (T'_{21} - T'_{24}x^*)y + (T'_{31} - T'_{34}x^*)z + (T'_{41} - T'_{44}x^*) = 0, \quad (5)$$

$$(T'_{11} - T'_{14}y^*)x + (T'_{21} - T'_{24}y^*)y + (T'_{31} - T'_{34}y^*)z + (T'_{41} - T'_{44}y^*) = 0. \quad (6)$$

Если известны x^*, y^*, x, y, z , то уравнения (2) и (3) представляют два уравнения с 12 неизвестными элементами T'_{ij} . Применяя эти уравнения к $n \geq 6$ некопланарным точкам в объектном пространстве и к их изображениям на перспективной проекции, получим однородную систему из $2n$ уравнений с 12 неизвестными. Для решения полученной системы перенесем слагаемые, содержащие нормировочный коэффициент T'_{44} , в правую часть и зададим значение $T'_{44}=1$. Таким образом, для нахождения решения $[T]$ получается переопределённая система уравнений, матрица которой не может быть инвертирована, так как она не квадратная. Как известно из теории метода наименьших квадратов наилучшее усредненное решение можно вычислить, умножив обе части матричного уравнения на транспонированную матрицу системы неизвестных с симметричной квадратной матрицей, для решения которой можно применить хорошо известный метод квадратного корня. Таким образом, по известным координатам находится преобразование, породившее данную перспективную проекцию, например, фотографию.

В случае [4], когда предполагаются известными $[T], x^*, y^*$, получается два уравнения от трех неизвестных пространственных координат x, y, z . Это – недоопределенная система уравнений, поэтому решить ее невозможно. Однако, если известны две перспективные проекции, скажем две фотографии, полученные с разных ракурсов, то уравнения (2) и (3) можно записать для обеих проекций. В результате получим

$$(T'^{1}_{11} - T'^{1}_{14}x^{*1})x + (T'^{1}_{21} - T'^{1}_{24}x^{*1})y + (T'^{1}_{31} - T'^{1}_{34}x^{*1})z = x^{*1} - T'^{1}_{41}, \quad (7)$$

$$(T'^{1}_{12} - T'^{1}_{14}y^{*1})x + (T'^{1}_{22} - T'^{1}_{24}y^{*1})y + (T'^{1}_{32} - T'^{1}_{34}y^{*1})z = y^{*1} - T'^{1}_{42}, \quad (8)$$

$$(T'^{2}_{11} - T'^{2}_{14}x^{*2})x + (T'^{2}_{21} - T'^{2}_{24}x^{*2})y + (T'^{2}_{31} - T'^{2}_{34}x^{*2})z = x^{*2} - T'^{2}_{41}, \quad (9)$$

$$(T'^{2}_{12} - T'^{2}_{14}y^{*2})x + (T'^{2}_{22} - T'^{2}_{24}y^{*2})y + (T'^{2}_{32} - T'^{2}_{34}y^{*2})z = y^{*2} - T'^{2}_{42}, \quad (10)$$

где верхние индексы 1 и 2 обозначают первую и вторую перспективные проекции.

Эти уравнения представляют четыре уравнения от трех неизвестных пространственных координат x, y, z . Таким образом, снова получена пере-

определенная система уравнений, и для нахождения решения можно применить методы наименьших квадратов и квадратного корня.

Практическое применение заявленного алгоритма при фотометрии может быть довольно широким. Однако, при фиксации и определении реальных размеров, например, выбоин в дорожном покрытии или вмятин поврежденных кузовных деталей АМТС, применение данного метода становится очевидным и перспективным.

Рассмотрим стереопару для иллюстрации метода мобильной фотофиксации и возможностей использования фотометрии для оценки ущерба АМТС при ДТП (рис. 3).



Рисунок 3 - Фотографии автомобиля повреждённого в ДТП

Координаты вершин исследуемого 3D-объекта, в нашем случае вмятины кузовной детали автомобиля, измерялись линейкой. Координаты соответствующих точек на изображениях фиксировались в графическом редакторе с использованием манипулятора «мышь». Попытка восстановления 3D-координат вершин объекта дала хорошее совпадение с исходными значениями. Более того, в ходе расчетов удалось поправить измерения на фото и печати при снятии отсчетов. Задаваясь измеренными значениями точки поверхности кузовной детали на левом и правом снимках стереопары, можно проверить выполнение теоремы Пифагора. В нашем случае вычисленное расстояние исследуемой вмятины автомобиля по предлагаемой методике составило 31,97 см, что на 0,08% отличается от измеренного значения 32 см.

Реализацию полученных алгоритмов предполагается осуществить на смартфоне под управлением ОС Андроид [5].

Экспертиза характера и перечня повреждений АМТС, предусматривает детальную фиксацию повреждений для определения возможности их образования и причастности к исследуемому событию. Безусловно, фотографический метод является веским аргументом при решении спорных ситуаций, а определение реальных размеров повреждений элементов АМТС

по фотографиям и видеосъёмке актуальной задачей. Результаты визуального осмотра повреждённого транспортного средства и фотографирования оформляются соответствующим актом. Фотоматериалы и акт осмотра, поврежденного АМТС, являются обязательным приложением к экспертному заключению или отчёту об оценке стоимости восстановительного ремонта АМТС [6, 7].

В развитие данной темы ставится задача автоматизации процесса поиска графических маркеров и опорных точек на фотоизображениях, в том числе поврежденных АМТС, что позволит сократить время обследования и создать объективную цифровую модель не только ущерба АМТС, но и места происшествия. Полагаем, что все это будет влиять на точность составления схемы ДТП, более быстрое освобождению проезжей части от участников происшествия и восстановлению пропускной способности дороги.

Список использованной литературы

1. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.

2. ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения».

3. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. – 604 с.

4. Slama C. (ed.). Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 1980.

5. Проханов С.А., Шумилов Б.М., Кудуев А.Ж., Абдыкалыков К.А. / Девятая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. С. 102– 108.

6. Федотова М.А., Ковалёв А.П., Кушель А.А. [и др.]. Оценка машин и оборудования. М.: ИНФА-М, 2017. – 324 с.

7. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебное пособие. – Омск: Изд. СибАДИ, 2010. – 136 с.

СОЗДАНИЕ МАКЕТА ПЕШЕХОДА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАМКАХ НАЦИОНАЛЬНОГО РЕЙТИНГА НЕЗАВИСИМОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ RUNCAP

В.В. Гаевский, С.Р. Кристальный, А.М. Иванов, И.Н. Порватов

***Аннотация.** В статье были рассмотрены требования к мишеням пешеходов и велосипедистов для тестирования систем опережающего экстренного торможения с функциями их распознавания. Описан процесс создания макетного образца мишени, имитирующей пешехода для применения в системе RunCAP.*

Ключевые слова: *мишень, пешеход, системы ADAS, автомобиль.*

Виталий Валентинович Гаевский - д.т.н., доцент, профессор кафедры Автомобиля МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский проспект 64, тел.: 8-916-1599168, E-mail: vit-life@rambler.ru.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры автомобиля МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский проспект 64, тел.: 8-910-4812481, E-mail: sportauto@rambler.ru.

Андрей Михайлович Иванов - д.т.н., профессор, профессор кафедры Автомобиля МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский проспект 64, тел.: 8-985-7682087, E-mail: ivanov-am@madi.ru.

Игорь Николаевич Порватов - к.т.н., доцент кафедры Автомобиля МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский проспект 64, тел.: 8-985-7689671.

Введение

Сегодня на Российском автомобильном рынке в открытой продаже находятся образцы техники с функциями ADAS помощи водителю, которые не проверялись и, возможно, не адаптировались для использования в наших условиях (отсутствуют методы проверок), что потенциально может нести угрозу безопасности дорожного движения. Разработка требований, алгоритмов работы и методов контроля систем опережающего экстренного торможения с функциями распознавания пешеходов и велосипедистов является весьма актуальной [1, 2]. Разработка подвижных мишеней имитирующих пешехода и велосипедиста является одним из этапов создания методов контроля (RunCUP).

Требования к подвижным мишеням

Самым полным документом, на сегодняшний день, описывающим требования к подвижным мишеням в виде пешеходов и велосипедистов

для тестирования систем помощи водителю с функциями распознавания пешеходов и велосипедистов является международный стандарт ISO 19206-2-2017 [3] "Дорожные транспортные средства. Испытательные устройства для транспортных средств, уязвимых участников дорожного движения и других объектов для оценки активных систем безопасности - Часть 2: Требования к пешеходным целям".

Мишень в виде пешехода должна быть похожа по характеристикам на человека, но при этом обеспечивать безопасность для испытываемого автомобиля и операторов испытаний в том случае, если контакт между транспортным средством и мишенью пешеходом произойдет.

Пешеходные мишени, указанные в этом документе, изображают как взрослых, так и детей. **Мужские и женские антропометрические данные явно не определены**, поскольку проверяемые системы не должны полагаться на пол пешехода. Для этого стандарта актуальны следующие размеры пешеходов (Рис. 1 а, б): взрослый: 50 летний мужчина (режим ходьбы); ребенок: 7 лет (режим бега).

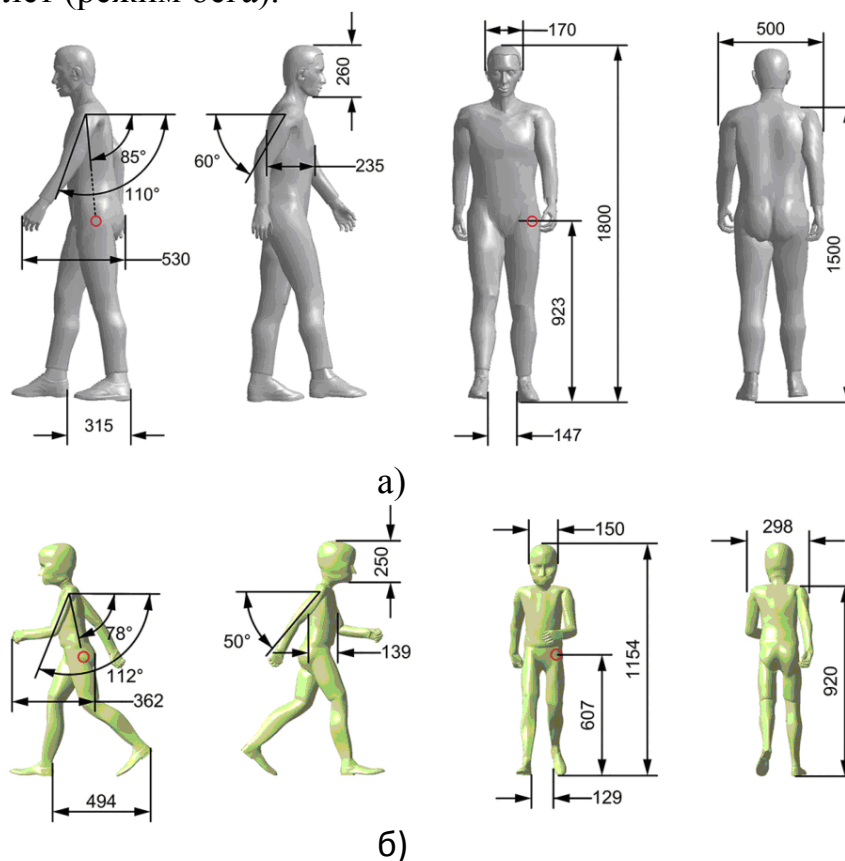


Рисунок 1 - Контрольные размеры:
а - взрослого пешехода; б - ребёнка

Водители испытываемого транспортного средства не должны подвергаться какому-либо существенному риску травмы, вызванной воздействием пешеходной мишени на автомобиль при столкновении. Пешеходная

мишень и ее компоненты не должны вызывать больше, чем косметическое повреждение частей транспортного средства при ударе с относительной скоростью 60 км / ч. Пешеходную мишень следует легко собрать или отремонтировать после контакта с автомобилем.

Поскольку реальные пешеходы **могут не иметь движения рук, такое движение необязательно для подвижных мишеней пешеходов.**

Пешеходная мишень должна имитировать человеческие параметры по отношению к датчикам, используемым в транспортном средстве.

Для обеспечения надежного распознавания визуального обнаружения необходимо выполнить следующие требования: на пешеходной мишени не должно быть видимых отражающих компонентов; части поверхности кожи должны быть обработаны материалом с низкой отражающей способностью; волосы головы должны быть имитированы с использованием текстуры черного цвета, или можно использовать парик; пешеходная мишень должна быть одета в футболку с длинными рукавами **черного цвета** и брюки **синего цвета**; одежда должна свободно лежать на пешеходе и не образовывать больших, неестественных складок (Рис. 2)

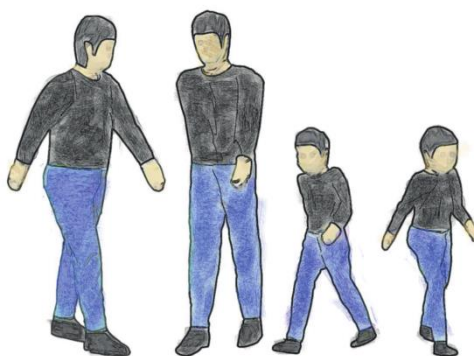


Рисунок 2 - Визуальные свойства пешеходной мишени

Одежда должна быть изготовлена из негорючего и водостойкого материала.

Радиолокационные отражающие характеристики пешеходных мишеней, включая базовый носитель, должны быть сопоставимы с реальным пешеходом того же размера.

Перемещение ног мишени пешехода приведет к воздействию микродоплеровского отражения на отражательные характеристики радара. Распространение микродоплеров должно быть сопоставимо с распространением реального пешехода.

Радарные свойства. Характеристики отражательной способности радара для пешеходной мишени должны быть эквивалентны пешеходу.

Базовая несущая система должна быть способна позиционировать мишень в пределах допусков, требуемых различными процедурами испы-

таний. Необходимо чтобы относительная скорость и положение транспортного средства и пешехода были согласованы между собой.

Максимальная скорость мишени должна составлять не менее 10 км / ч (2,8 м / с). Точность контроля скорости должна составлять $\pm 0,18$ км / ч ($\pm 0,05$ м / с). Во время прямых маневров пешеходная мишень не должна дрейфовать в боковом направлении более чем на $\pm 0,05$ м от запланированного продольного пути на расстояние до 15 м. Пешеходная мишень не должна вибрировать или подпрыгивать более чем на 15 мм при работе в диапазоне скоростей $10 \pm 0,18$ км/ч.

Разработка макетного образца мишени пешехода

Проведя анализ европейских действующих документов по методике проведения испытаний систем помощи водителю с функцией распознавания пешеходов и велосипедистов и ISO 19206-2 2017 года была поставлена задача разработать макетный образец мишени пешехода взрослого человека. В качестве технического задания использовались требования из ISO 19206-2. Исходя из этого стандарта пешеходная мишень должна выполнять ряд требований, которые можно сгруппировать в следующие категории: механические параметры; геометрические параметры; кинематические параметры; параметры для распознавания системами помощи водителя;

К механическим параметрам относятся: прочность; легкость; простота конструкции; ремонтпригодность; невозможность нанесения серьезных повреждений испытываемому автомобилю; быстрота приведения в рабочее состояние; неразборность до столкновения и лёгкая разборность в случае столкновения с автомобилем.

На первом этапе были выбраны два варианта исполнения мишени: в виде надувного манекена и изготовление мишени из пенопласта.

Первый вариант: имеет преимущества из-за простоты конструкции, возможности подобрать по габаритам нужный манекен, быстрота приведения в рабочее состояние, не нанесение повреждений автомобилю в случае столкновения, вследствие малого веса и мягкости конструкции самого манекена. В ходе предварительных дорожных испытаний выяснилось, что наравне с преимуществами надувной манекен имеет существенные недостатки.

Из-за легкости манекена его легко сдувает ветром, пришлось очень серьёзно крепить к основанию. Но даже при этом манекен не поддерживал заданную вертикальную позицию - наклонялся вперед слишком сильно (см. Рисунок 3). Вторым и самым серьёзным недостатком оказалась низкая надежность надувного манекена. После столкновения с автомобилем на скорости 40 км/ч манекен получил повреждения (порезы) и мгновенно

сдулся. Выяснилось, что любая выступающая кромка испытуемого автомобиля легко оставляет порезы на манекене при резком столкновении.



Рисунок 3 - Надувной манекен перед проведением испытательного заезда

Второй вариант: пешеходная мишень из пенопласта показала отличные результаты предварительных испытаний на прочность, ремонтпригодность и выносливость.

В качестве основы был взят специальный пенопласт повышенной прочности: **пенопласт листовой ПСБ-С плотность 35 размер листа 1000x1000x100 мм** (материал негигроскопичен, не растворяется и не деформируется в воде, обладает химической и биологической стойкостью). Дополнительно, в качестве усиления конструкции, каждая часть манекена была обмотана скотчем. Исследования и натурные испытания показали, что обмотка скотчем увеличила прочность пенопласта в несколько раз.

На специальной выделенной площадке на полигоне МАДИ в Черной грязи были проведены предварительные испытания манекенов на прочность и ремонтпригодность (см. рисунок 4).



Рисунок 4 - Пенопластовый манекен, прикрепленный к основанию перед проведением испытательного заезда

Исследуемый автомобиль специально на различных скоростях сбивал пешеходную мишень с фиксацией возможных повреждений как самой мишени так и автомобиля. За время проведения испытаний на автомобиле (ВАЗ 2109) никаких повреждений зафиксировано не было. Столкновения происходили на следующих скоростях движения автомобиля: 30, 40, 50, 60, 70 км/ч.

Во время столкновения манекен разлетался на отдельные фрагменты - это было специально заложено в конструкцию манекена для уменьшения последствий от столкновения. Пешеходная мишень из пенопласта имеет следующие части: туловище, руки, ноги. Все части легко соединяются вместе и рассоединяются с помощью быстросъемного соединения.

После столкновения исследовался каждый элемент манекена на предмет обнаружения повреждений, в случае отсутствия повреждений манекен собирался, устанавливался на опору и производился очередной заезд. Испытания показали, что первое повреждение манекен получил только после столкновения с автомобилем на скорости 70 км/ч. Поврежденной оказалась нога манекена, со стороны автомобиля, остальные части манекена не пострадали. После этого, сломанную ногу зафиксировали скотчем, манекен собрали и продолжили заезды.

Повторно, нога, находящаяся со стороны автомобиля сломалась через три заезда. При этом осталась возможность починки этой ноги методом фиксации скотчем. Остальные части манекена не пострадали.

Время на ремонт повреждения манекена ушло не более двух минут.

В дальнейшем этот же манекен использовался при испытаниях на Дмитровском полигоне и также остался в рабочем состоянии.

В результате проведенных испытаний можно сделать выводы, что манекен из пенопласта обладает всеми качествами согласно требований

ISO 19206-2. Он легко собирается и разбирается, не наносит вреда испытываемому автомобилю, сам при этом достаточно прочный и надежный, а также лёгкий, если же повреждается часть манекена её легко заменить на другую или отремонтировать подручными средствами.

Геометрические параметры: полное соответствие пешеходной мишени габаритам, приведённым в ISO с заданными допусками.

Вид спереди готового манекена показан на рисунке 5а.



Рисунок 5 - Готовый манекен:
а - вид спереди, б - вид сбоку

Для сборки манекена согласно чертежам из стандарта ISO были сделаны выкройки из фанеры и уже по ним чертились контуры манекена на пенопласте и вырезались специальным резак пенопласта. Далее каждая часть манекена обматывалась скотчем и весь манекен собирался в единое целое с помощью фиксаторов.

Кинематические параметры пешеходной мишени включают: неподвижные руки; подвижные сочленённые в колене ноги; подвижность самой пешеходной мишени.

Неподвижность рук допустима стандартом ISO, они крепятся к корпусу на быстросъёмных фиксаторах. Подвижность ног обеспечивается приводным механизмом, к которому ноги крепятся в районе бедра.

Подвижность самой мишени обеспечивается с помощью мощной радиоуправляемой машины с доработками, включающими в себя: установку понижающей передачи для получения минимальной скорости мишени 6 км/ч; установкой дистанционных штанг для толкания базовой площадки, на которой стоит манекен. Машина толкает манекен, установленный на специальной подвижной базовой площадке через дистанционные штанги, для исключения попадания машины в зону возможного столкновения с испытуемым автомобилем.

Параметры для распознавания системами помощи водителю

Пешеходную мишень должны распознавать различные датчики системы помощи водителю, к ним относятся: видеокамеры, радары, лидары. Для распознавания пешеходной мишени камерой она должна быть визуально идентична настоящему пешеходу, для этого мишень должна быть одета в контрастную одежду, а все выступающие из под неё части должны быть телесного цвета, на голове должна быть имитация волос.

В нашем манекене все эти требования соблюдены: он одет в черную рубашку и синие брюки, руки и лицо покрыто тканью телесного цвета, имитация волос нанесена черной краской, на ступни надеты черные носки (см. рисунок 5б).

Для распознавания лидаром пешеходная мишень имитирует движение ног при перемещении с микродоплеровским смещением аналогичным движению человека.

Распознавание радаром обеспечивается наклейкой дополнительных отражателей по всему телу мишени.

Дополнительно к пешеходной мишени (мишени) разрабатывалась и собиралась базовая станция - подставка под манекен. Было сделано несколько вариантов подставки, но в результате проведенных исследований остановились на варианте квадратной площадки 50x50 см., сделанной из поликарбоната толщиной 6 мм и соединённой с двумя парами роликов от скейтборда на металлических осях. Соединение осуществляется с помощью зажимов, которые обеспечивают надёжное соединение колёс и площадки и при этом легко разбираются при ударе и для перевозки манекена. В центре площадки установлено специальное крепление для центральной опоры манекена. Центральная опора сделана из поликарбоната в виде трубки диаметром 22 мм и толщиной 1 мм. Данная опора показала достаточно хорошие свойства по прочности и надёжности. Во время предварительных испытаний все манекены были установлены на такую стойку и она выдержала все удары автомобиля без повреждений (единственный дефект - небольшое смятие трубки, был исправлен за 5 минут).

Список использованной литературы

1. Методики тестирования автоматизированных систем управления автомобилем / В.М. Приходько, А.М. Иванов, В.Б. Борисевич, С.С. Шадрин // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 4 (51). – С. 10-15.
2. Gaevskiy V.V. Problems of the application of intelligent driver assistance systems on a single-track vehicles. / V.V. Gaevskiy, A.M. Ivanov // 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 386 012021.
3. ISO/DIS 19206-2 Road vehicles - Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions - Part 2: Requirements for pedestrian targets.

УДК 629.113:539.538

КИНЕТИКА КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ КУЗОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, А.С. Обельцев

Аннотация. Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований развития коррозионных разрушений кузовных элементов пассажирских автотранспортных средств в процессе эксплуатации, которые необходимо учитывать при прогнозировании текущих годовых расходов на поддержание их работоспособности. Отражены взаимосвязь интенсивности развития общей коррозии с усталостными разрушениями элементов конструкций кузовов и неравномерность изменения технического состояния по одноименным облицовочным и несущим деталям и сборочным единицам кузовов.

Ключевые слова: автомобиль, кузов, коррозионно-усталостные разрушения, неравномерность, ремонт.

Александр Сергеевич Гребенников - доктор технических наук, профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. – 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, E-mail: asg@sstu.ru.

Сергей Александрович Гребенников - кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. – 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, E-mail: asg@sstu.ru.

Алексей Сергеевич Обельцев - инженер, аспирант кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.– 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, E-mail: asg@sstu.ru.

Необходимость прогнозирования технического состояния автотранспортного средства (АТС) коренится в объективных тенденциях ухудшения первоначальных качественных свойств его полезности, представляемых в виде графического отображения динамики их изменения во времени T (годы) или относительно пробега l (тыс. км).

По известным динамикам обосновывают нормативы технических воздействий для выполнения регламентных профилактических работ, планируются текущие расходы на запасные части и эксплуатационные материалы, и соответственно целесообразность его использования на предстоящем этапе жизненного цикла.

При этом к закономерным (постепенным) отказам элементов автомобиля в процессе эксплуатации преимущественно относят отказы, вызванные изнашиванием и усталостными разрушениями деталей, доля которых превышает 70% всех отказов автомобиля. Остальные отказы принято считать случайными, в том числе, по причинам коррозии и усталостных деформаций (нарушенной пространственной ориентации) кузовных элементов, которые обычно рассматриваются с позиций прогнозных функций их долговечности, поскольку кузов является остовом пассажирских автотранспортных средств (ПАТС) – легковых, грузопассажирских и автобусов, определяющим его срок службы. Только в редких работах [1, 2, 6, 8] приводятся результаты, характеризующие коррозионную и коррозионно-усталостную стойкость кузовных элементов ПАТС - как функцию по пробегу или сроку эксплуатации.

Коррозия металла, возникающая на поверхности кузовных элементов ПАТС под действием химических или электромеханических воздействий, приводит к нарушению плотности заклепочных и сварных соединений, возникновению трещин и деформаций в деталях ферм и нижней части (пола) кузова, и, наконец, эстетического вида. При этом восстановительные кузовные работы ПАТС считаются наиболее затратными в сфере технической эксплуатации, а их планирование в большинстве автотранспортных предприятий (АТП) происходит спонтанно. Расходы на них составляют от 1/3 до 1/2 стоимости новых автобусов, а потребление металла при восстановлении пораженных коррозией элементов кузовов за амортизационный срок достигают 40% от их массы и, в ряде случаев, - 60% поверхности кузовных деталей [1, 2, 8, 9].

Сказанное определяет теоретическую и практическую важность обоснования нормативных требований по восстановительным кузовным

работам на основе исследований динамик коррозионных разрушений кузовных деталей в процессе эксплуатации ПАТС, что позволит решить проблемную задачу по снижению эксплуатационных затрат и экономии материальных ресурсов на обеспечение работоспособности ПАТС коммерческого использования.

Цель статьи экспериментальное обоснование экспоненциальной зависимости развития коррозионных и коррозионно-усталостных разрушений кузовных элементов ПАТП в процессе эксплуатации.

В работе [4] обоснована зависимость общей коррозии - площади коррозионного поражения кузовных элементов F_K от срока эксплуатации T

$$F_{K(T)} = F_{K0} (e^{b_K T} - 1), \quad (1)$$

где $b_K = \frac{V_K}{F_K}$ - параметр, характеризующий изменение скорости V_K на единицу площади коррозионного поражения F_K ;

$F_{K0} = \frac{V_{K0}}{b_K}$ - условная начальная площадь видимых нарушений сплошности лакокрасочного покрытия и коррозионного разрушения после инкубационного периода эксплуатации.

Инкубационный период для большинства современных ПАТС составляет 5 лет эксплуатации.

Приведенные теоретические доводы справедливы и для локальной коррозии, которой в основном подвержены несущие элементы каркаса кузова. Их отличительной особенностью является более высокая скорость коррозии, которая и оценивается несколько иначе - по глубине коррозионного поражения. Поэтому кинетика развития по зависимости (1) справедлива и для толщины h пленки окисла коррозионного поражения

$$h = h_0 (e^{b_K T} - 1). \quad (2)$$

С учетом (2) значение прогнозируемой толщины непораженного коррозией слоя металла (остаточной глубины $h_{ост}$) составит

$$h_{ост} = h_n - h_0 (e^{b_K T} - 1), \quad (3)$$

где h_n - номинальная толщина металла облицовочных панелей и деталей каркаса кузова.

Динамики коррозионных разрушений элементов кузова ПАТС от срока эксплуатации и пробега имеют единый физический смысл, однако отметим, что если среднегодовые пробеги ПАТС незначительны (до 50 тыс. км [2, 5]), то коррозионные разрушения в основном формируются от длительности эксплуатации.

Протекая одновременно, коррозионные и усталостные разрушения являются взаимоусиливающими процессами интенсивности изнашивания элементов кузова ПАТС, так как распространению усталостных трещин внутрь металла способствует коррозия поверхности трещин.

Интенсивность усталостных разрушений в процессе эксплуатации также увеличивается по причине расклинивающего действия продуктов коррозии, имеющих больший объем, чем объем металла (критерий Пиллинга-Бедворда), из которого они образовались.

Поскольку число циклических нагружений N на элементы кузова в конкретных условиях эксплуатации ПАТС пропорционально пробегу l , то изменение, другими словами, накопление усталостных разрушений в несущих элементах кузовов также подчиняется экспоненциальной зависимости вида (2)

$$h_y = h_{0y}(e^{b_y l} - 1), \quad (4)$$

где h_y – геометрический параметр, характеризующий усталостное разрушение по длине, ширине или глубине трещины, мкм;

h_{0y} – начальный геометрический параметр усталостного разрушения, мкм;

b_y - параметр, характеризующий сопротивляемость усталостным разрушениям (интенсивность их развития по пробегу или временному интервалу).

Таким образом, кинетика коррозионной усталости подчиняется таким же закономерностям, как и усталость в отсутствие активной коррозионной среды, но имеющим другие параметры, обуславливающие более интенсивное развитие усталостных разрушений.

Основными объектами экспериментального исследования коррозионных разрушений были кузова автобусов большой и особо большой вместимости (ЛАЗ-697М, «Икарус-280» и ЛиАЗ-677), среднего класса (ПАЗ-672), микроавтобусы РАФ и легковые автомобили ВАЗ, Daewoo Lanos. В работе использованы собственные экспериментальные данные нескольких лет наблюдений за интенсивностью распространения общей, локальной коррозии и усталостно-коррозионных разрушений [4, 5], а также результаты, приведенные в работах [1, 2, 6, 8, 9]. Показатели (площади, глубина проникновения) изменения общей коррозии регистрировались на приме-

рах облицовочных элементов кузова АТС, локальной коррозии – на несущих.

На первом этапе экспериментального исследования оценивалась справедливость зависимости (1). Как следует из показателей достоверности $R^2 > 0,90$ накопленного статистического материала изменения показателя площади коррозионного поражения облицовочных деталей, дверей, панелей багажного и аккумуляторного отсеков кузовов автобусов большого и особо большого класса от срока эксплуатации (рис. 1 и 2) по теоретически обоснованной зависимости (1), степень её соответствия опытным данным высокая, значимая.

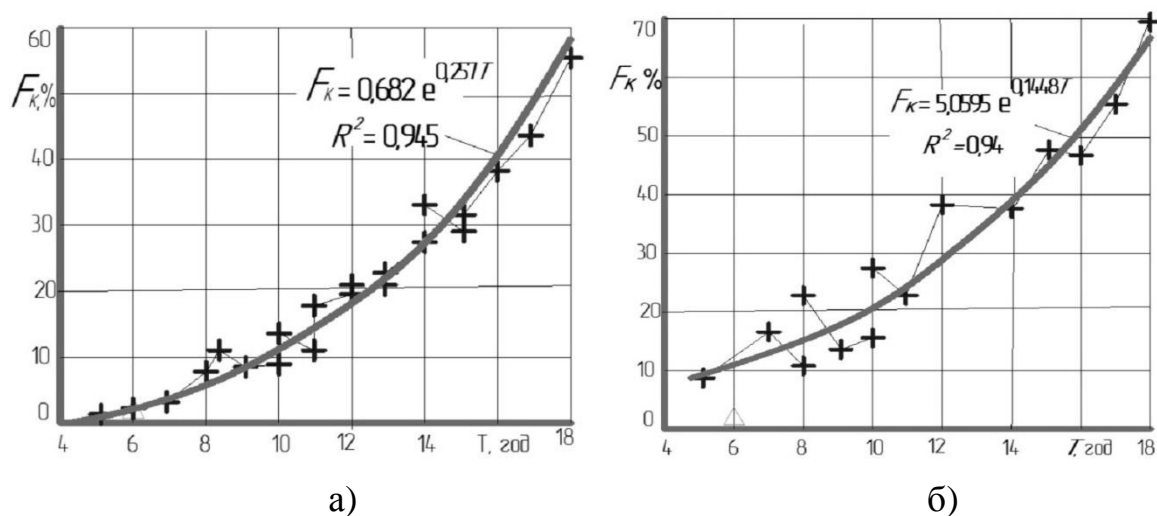


Рисунок 1 - Изменения площади F_k коррозии «Икарус-280» от срока эксплуатации T :

а - боковых облицовочных панелей; б - дверей и багажного отсека

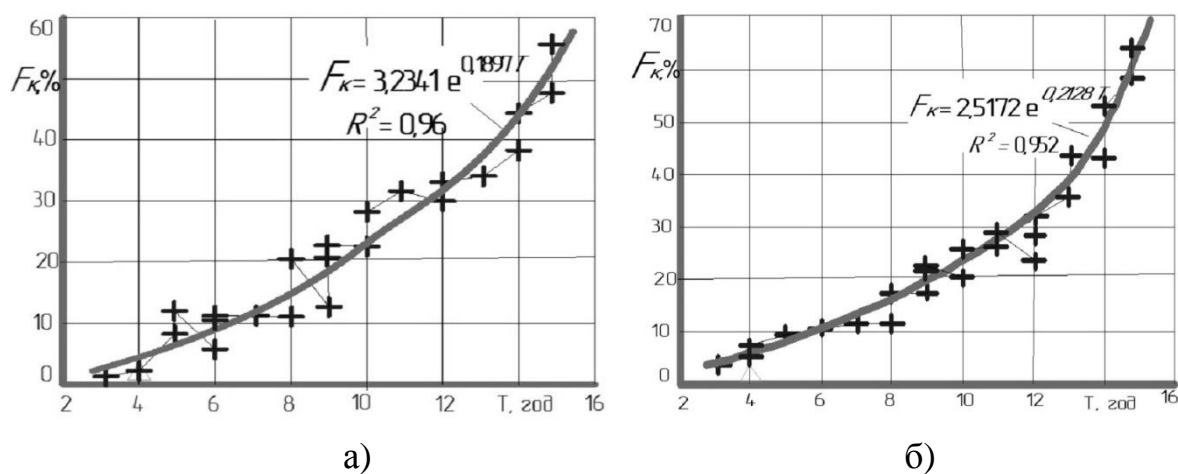


Рисунок 2 - Изменения площади F_k коррозии «ЛиАЗ-677» от срока эксплуатации T :

а - облицовочных панелей; б - дверей и панелей аккумуляторного отсека

Сравнивая показатели общей коррозионной устойчивости облицовочных элементов кузовов по автобусам «Икарус-280» (рис. 1, а) и «ЛиАЗ-677» (рис. 2, а) отметим, что коррозионные разрушения кузовов «ЛиАЗ-677» в 1,15 раза выше.

Дифференцированная оценка всей совокупности значений зон поражений коррозией металлических корпусных элементов автобусов большого класса, была проведена по условно поделенным двум группам. Первую группу составили ресурс определяющие, критичные по надёжности (двери, панели багажного и аккумуляторного отсеков), вторую - более долговечные (боковые облицовочные панели).

Большая скорость коррозии элементов первой группы обусловлена конструктивным их назначением и ухудшенными условиями эксплуатации. Они имеют повышенные показатели: уровня динамических нагрузок, особенно, двери, открывание – закрывание которых часто затруднено в часы «пик»; влажности и концентрации паров серной кислоты панелей аккумуляторного и багажного отсеков, усугубляемых значительными перепадами температуры окружающей среды и недостаточной их вентиляции.

Результаты экспериментальных данных свидетельствуют: детали первой группы корродируют в 1,2...1,6 раза интенсивнее, чем второй. Среди одноименных деталей кузовов отмечена разность воздействия коррозии по сторонам облицовочных панелей: левая сторона ПАТС имеет на 5...10% меньшую интенсивность, чем правая. Подобная неравномерность показателя долговечности отдельных одноименных кузовных элементов характерна и для легковых автомобилей (табл. 1 [3]).

Таблица 1 - Неравномерность коррозионной стойкости одноименных деталей кузова ВАЗ

Элемент кузова	Доля деталей по сторонам автомобиля, число / %	
	С левой стороны	С правой стороны
Лонжерон с брызгови-ком	229 / 24,8 270/29,3	232 / 25,2 273 / 29,6
Крыло переднее	258 / 28,0	263 / 28,5
Крыло заднее	101 / 10,9	114 / 12,4
Арка наружная	52 / 5,6	53 / 5,7
Арка внутренняя	250 / 27,1	253 / 27,4
Дверь передняя	238 /25,8	244/ 26,4
Дверь задняя	201 /21,8	205 / 22,2
Боковина кузова	29 / 3,1	30 / 3,2
Лонжерон задний		

Приведенные выводы экспериментальных исследований общей коррозии кузовных элементов, подтверждающих аналитические предпосылки (1) справедливы и для локальной коррозии, которой в основном подвержены несущие элементы каркаса кузова.

Локальная коррозия несущих элементов кузова ПАТС наблюдается в двух видах: по степени (площади) сквозного поражения и по глубине проникновения слоя ржавчины. В качестве наиболее типичного примера для анализа экспериментальных результатов выбран продольный брус надколесной ниши кузова автобуса «Икарус-280», отображенный на рис. 3.



Рисунок 3 - Коррозионно-усталостные разрушения продольного бруса надколесной ниши автобуса «Икарус-280»

Проведенная обработка фотографий и микрошлифов продольного бруса ниши, полученных при ремонте кузовов автобусов с различными сроками эксплуатации, позволила определить достоверность кинетики развития локального коррозионного сквозного поражения по зависимости (2). Её оценка осуществляется по глубине h коррозионного поражения продольного бруса в средней части ниши, расположенной над осью ведущего моста автобуса, где наиболее активно развивается коррозия.

На рис. 4 представлены экспоненциальные зависимости по глубине коррозионного поражения внутренней $h_{вн}$ и наружной (внешней $h_{внеш}$) сторон профиля продольного бруса крепления колёсной ниши автобуса «Икарус-280» от срока эксплуатации, подтверждающие теоретические выводы (2)

$$h_{вн} = 0,068(e^{0,130T} - 1), R^2=0,91,$$

$$h_{внеш} = 0,047(e^{0,135T} - 1), R^2=0,96.$$

Сравнение показателей изменения глубины поражения в зонах продольного бруса колёсной ниши показывает, что интенсивность коррозии с внутренней стороны его профиля в 1,3 раза выше, чем наружной, что объясняется повышенной её влажностью по причине недостаточной её вентиляции.

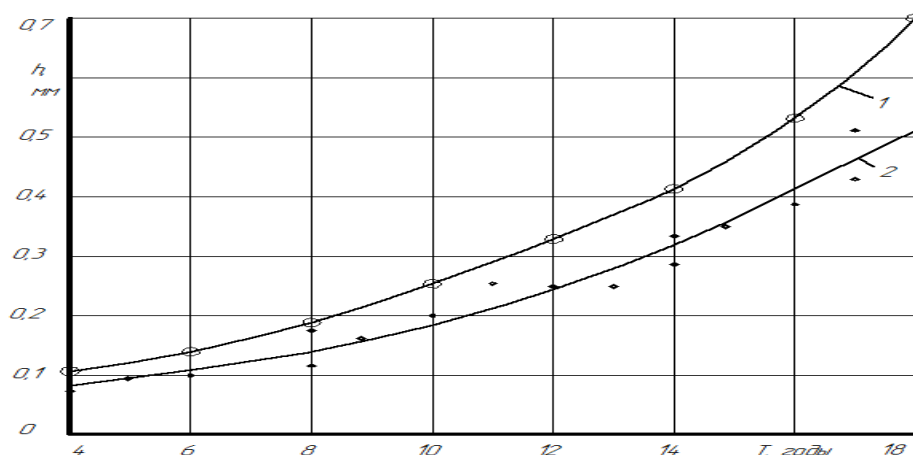


Рисунок 4 - Изменение глубины коррозии продольного бруса колёсной ниши «Икарус-280» от срока эксплуатации T :
1 - внутренней стороны; 2 - внешней стороны

Результаты анализа статистических данных [1] исследования долговечности элементов кузовов легковых автомобилей ВАЗ показали, что помимо неравномерности показателей общей и локальной сопротивляемости коррозии одноименных элементов относительно расположения левой и правой сторон (табл. 1), им характерна существенная разность ресурсов среди всей совокупности деталей. К числу элементов с наименьшим запасом работоспособности относятся передние и задние крылья, нижние части арок задних колес, боковин кузова и дверей, крайние области щитка передка. При среднегодовом пробеге автомобиля 10...15 тыс. км продолжительность работы перечисленных деталей составляет примерно 5,5...6,5 лет. Несколько большим ресурсом обладают остальные элементы кузова. При том же среднегодовом пробеге продолжительность их работы достигает 8...9 лет.

Неравномерность развития общей и локальной коррозии элементов кузова легковых автомобилей также подчиняются экспоненциальной зависимости. Например, для переднего крыла кузова ВАЗ-2106 зависимость степени соотношения площади поражения коррозией переднего крыла к общей его площади, выраженной в %, имеет следующий вид

$$K_{Fk} = 0.0087e^{(4.1147T+0.0060l)} \quad (5)$$

где T — продолжительность эксплуатации, годы;
 l — пробег автомобиля за период T , тыс. км.

Экспоненциальные зависимости общей и локальной коррозии от срока эксплуатации ПАТС подтверждаются экспериментальными данными и по другим элементам несущих профилей кузова с высокой теснотой связи и значимостью.

Кинетику степени коррозионной усталости несущих элементов кузова оценивали по значениям суммарных длин трещин в сварных соединениях продольного бруса с другими деталями (их 6) крепления надколесной ниши кузова (см. рис. 3) по мере эксплуатации. Длину трещин измеряли курвиметром с точностью 1 мм.

Результаты обработки экспериментальных данных роста трещины в сварных соединениях продольного бруса наиболее подверженной коррозионной усталости правой надколесной ниши кузова автобусов «Икарус-280» от срока эксплуатации по экспоненциальной зависимости (4) и её параметры приведены на рис. 5.

Выполненные исследования по усталостно-коррозионной стойкости несущих элементов в области колёсных ниш, дверных проёмов, аккумуляторных и багажных отсеков автобусов, а также кузовных элементов легковых автомобилей-такси показали высокую степень соответствия опытных данных теоретически обоснованной экспоненциальной зависимости (4) с возрастающей интенсивностью поражения несущих элементов ПАТС в процессе эксплуатации.

Косвенно подтверждающие данный вывод изложены в монографиях [1, 2], результаты которых отражают исследования общей долговечности кузовных элементов легковых автомобилей.

Например, рис. 6 по статистическим данным [2] представлена графическая интерпретация экспоненциальной зависимости усталостно-деформационных отклонений местоположений контрольных точек кузова автомобиля Daewoo Lanos от срока его эксплуатации с высоким коэффициентом достоверности ($R^2 > 0,9$).

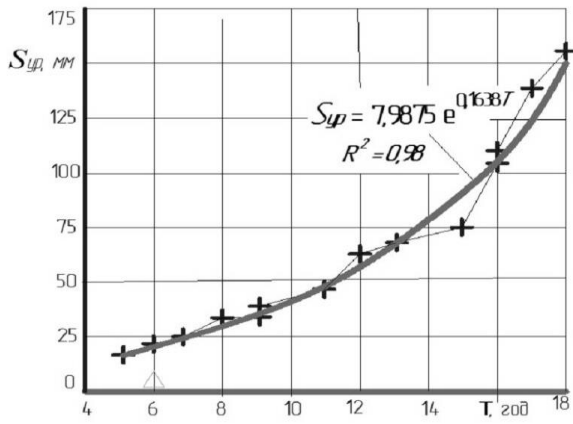


Рисунок 5 - Изменение суммарной длины $S_{ур}$ коррозионно-усталостных трещин сварных соединений продольного бруса с элементами крепления ниши над ведущими колесами «Икарус-280» от срока эксплуатации T

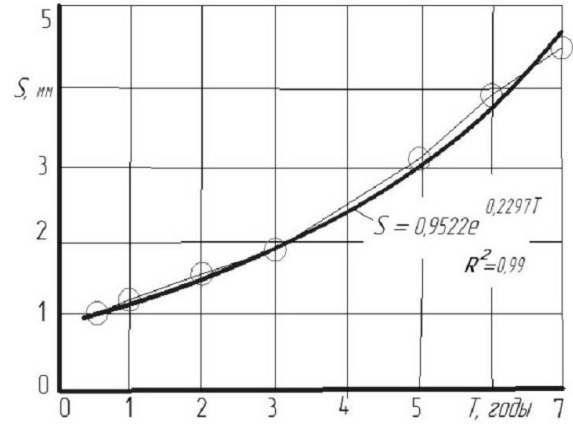


Рисунок 6 - Зависимость деформационных отклонений S контрольных точек кузова автомобиля Daewoo Lanos от срока эксплуатации T

Для автомобилей ВАЗ классической компоновки зависимости показателей коррозионно-усталостных поражений, приводящих к недопустимой деформации основания и стоек боковин кузова в процессе эксплуатации, приведены в [1].

Из условия, что предельные отклонения контрольных точек кузова находятся в интервале 6...8 мм, продолжительность эксплуатации T (годы) и пробег l (тыс. км) автомобиля (кузова) до достижения предельных значений смещения $S_{п.к.т}$ контрольных точек определяются из уравнения неравенства экспоненциального вида

$$6 \leq [S_{п.к.т} = 1,8496e^{(0,0806T+0,0038l)}] \leq 8, \quad (6)$$

откуда

$$(0,0806T + 0,0038l) < \ln(8/1.8496) \rightarrow T < 18.17 - 0.047l, \quad (7)$$

$$(0,0806T + 0,0038l) > \ln(6/1.8496) \rightarrow T < 14.0 - 0.047l. \quad (8)$$

Зависимости (7) и (8) показывают прогнозируемые границы эксплуатации кузова, на которых происходят недопустимые (предельные) коррозионно-усталостные разрушения кузова.

Таким образом, кинетика коррозионной усталости в процессе эксплуатации ПАТС подчиняется таким же экспоненциальным зависимостям, как и усталость в отсутствие активной коррозионной среды, но имеющим другие, худшие параметры, обуславливающие более интенсивное её развитие.

Рассмотренные примеры подтверждают правомерность представления и динамики эксплуатационных затрат по зависимости (1), то есть закономерное изменение технического состояния кузова в процессе эксплуатации обуславливает соответствующее экспоненциальное увеличение расхода металла на компенсацию коррозионных и коррозионно-усталостных разрушений, а также соответствующих затрат на ремонт.

Зависимость (1) и рекомендации её использования характерны для большинства регионов России. В зонах с экстремальными условиями эксплуатации ПАТС, к которым относятся районы [9] очень жаркого сухого климата с высокой агрессивностью окружающей среды, а также холодного и очень холодного климата (Крайний Север) [7], при планировании квартальных и полугодовых затрат на кузовные работы дополнительно необходимо учитывать и сезонность предстоящих транспортных работ. В этих районах помимо отмеченной неравномерности изменения затрат по годам эксплуатации, существуют значительные периодические всплески потока отказов элементов АТС по временам года. Они вызваны природно-климатическими воздействиями окружающей среды на тепловой и нагрузочный режимы работы сопряжений агрегатов АТС, связаны с высокими перепадами температуры воздуха, солнечной инсоляции, коррозионной агрессивности и изменением дорожных условий в зависимости от сезона эксплуатации [7, 9].

Сезонная нестабильность поступления ПАТС на ТР имеет место и в прилегающих к центральной зоне областях, но менее выражена. В частности, обобщающие данные [9] свидетельствуют, что если показатели надежности городских автобусов большого класса в умеренной климатической зоне в летний период принять за 100 %, то в осенние и весенние месяцы эксплуатации показатели надёжности снижаются на $3 \div 5$ %, а в зимние – на 20 %.

Выводы

Экспериментально подтверждены экспоненциальные зависимости неравномерности изменения показателей площадей общей, локальной коррозии облицовочных и несущих элементов кузова, коррозионно-усталостных их разрушений (1), (2), поэтому годовые планируемые эксплуатационные затраты на обеспечение работоспособности кузовов необходимо корректировать применительно к конкретному периоду эксплуатации АТС, а для регионов с экстремальными условиями следует учитывать периодическую составляющую дополнительных эксплуатационных затрат, зависящей от сезона года. Подобные коррективы существующих нормативных требований по технической эксплуатации ПАТС [6], учитывающие (1), (2), (3), (4) необходимы для более объективного:

- планирования годовых эксплуатационных затрат на текущие, средние и капитальные ремонты по кузовным работам в АТП в различные периоды, вплоть до утилизации (списания);
- прогнозирования остаточного ресурса кузовов пассажирских АТС при известных предельных значениях коррозионного их износа и сроков проведения очередных капитальных ремонтов кузова;
- определения номенклатуры и объёма выпуска запасных частей фирмам и заводам - изготовителям пассажирских автотранспортных средств, особенно, по легковым автомобилям.

Список использованной литературы

1. Автомобили ВАЗ: Изнашивание и ремонт / А. А. Звягин, М. А. Масин, А. М. Мотин, Б. В. Прохоров; Под ред. А.А. Звягина. - Л.: Политехника, 1991. – 255 с.
2. Бажинов А.В. Долговечность легкового автомобиля / А.В. Бажинов, Е.А. Серикова, А.М. Быков.- Харьков: Мачулин, 2012. -178 с.
3. Гребенников А.С. Зависимость ресурса агрегата автомобиля от неравномерности исходных зазоров в одноименных сопряжениях / А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, А.В. Коновалов // Вестник машиностроения. 2007, № 6. - С. 34-39.
4. Денисов А.С. Неравномерность коррозионных разрушений элементов автомобиля в процессе эксплуатации / А.С.Денисов, С. А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.С. Обельцев // Автотранспортное предприятие, 2014, №10. – С. 43-45.
5. Денисов А.С. Цикличность изменения затрат на устранение коррозионных разрушений автомобиля / А.С.Денисов, С. А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.С. Обельцев // Автотранспортное предприятие, 2015, №5. – С. 49-52.
6. Егоров В.А. Прогнозирование затрат на кузовные работы / В.А.Егоров, А.А. Абакаров, С.В. Жанказиев //Грузовое и пассажирское автотранспортное хозяйство. 2005, №5. – С.79-84.
7. Ишков А. М. Математическая ритмология в работоспособности техники на Севере./ Якутск: Изд-во Якутский научный центр СО РАН ГУП «Полиграфист». 2000. 320 с.
8. Порватов И.Н. Исследование интенсивности коррозии кузовов автобусов: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МАДИ. 1979. – 17 с.
9. Техническая эксплуатация автомобилей / Под ред. Е.С. Кузнецова.- М.: Наука, 2001.- 535 с.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

Е.Л. Иовлева, Н.В. Кирикова, А.А. Борисов, П.А. Степанов

Аннотация. *Качественное дизельное топливо - это залог безотказной работы двигателя внутреннего сгорания. Низкие температуры окружающего воздуха оказывают влияние на физико-химические свойства дизельного топлива, это служит причиной отказов деталей системы топливного насоса высокого давления. Особенно остро стоит эта проблема в Республике Саха (Якутия), где температура окружающего воздуха достигает до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, где основные товары первой необходимости, завозятся до районов Крайнего Севера по автозимникам. В статье показаны результаты экспериментальных исследований качества арктического дизельного топлива, взятых с различных автозаправочных станций Республики Саха (Якутия), а также приведен способ повышения топливной экономичности для техники, эксплуатируемого в условиях Севера. Представлена математическая модель затрат на топливо в зимнее время. Исследованы основные эксплуатационные характеристики арктического дизельного топлива. Работы были выполнены в лаборатории кафедры «Общая, аналитическая и физическая химия». Взятые дизельные топлива по географическому расположению разделены на 3 части: центральная, северная и заречье. Из каждого района взяты по 3 образца арктического дизельного топлива из различных автозаправочных станций. В ходе исследования установлено, что выбранные основные показатели дизельного топлива: плотность, вязкость, фракционный состав, и низкотемпературные характеристики – отличаются от нормативных значений.*

Ключевые слова: *дизельное топливо, топливная экономичность, физико-химические свойства, низкотемпературные свойства, плотность, вязкость, температура застывания, температура помутнения, предельная температура фильтруемости.*

Елизавета Лонгиновна Иовлева - к.т.н. доцент кафедры «Машиноведение» ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Республика Саха (Якутия) г. Якутск ул.Белинского 58, тел.: 8(411)-236-20-25, E-mail: elizaveta-iovleva@yandex.ru.

Наида Вениаминовна Кирикова - ассистент кафедры «Машиноведение» ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Республика Саха (Якутия) г. Якутск ул.Белинского 58, тел.: 8(411)-236-20-25, E-mail: kirikova-nv@mail.ru.

Александр Афанасьевич Борисов - старший преподаватель кафедры «Машиноведение» ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Республика Саха (Якутия) г. Якутск ул.Белинского 58, тел.: 8(411)-236-20-25, E-mail: kmvadf@mail.ru.

Петр Акимович Степанов - доцент, д.п.н., профессор кафедры «Машиноведение» ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Республика Саха (Якутия) г. Якутск ул. Белинского 58, тел.: 8(411)-236-20-25, E-mail: piter-step@mail.ru.

Суровые природно-климатические условия районов холодного климата (к ним относится Республика Саха (Якутия)), предъявляют повышенные требования к автотранспорту. Тенденцией развития транспортных средств в условиях Севера является возрастающее использование дизельных двигателей, расходующих по сравнению с карбюраторными двигателями на 30-35 % меньше топлива и имеющих низкую токсичность отработавших газов. Эффективность работы автомобиля определяется совместным влиянием всей совокупности его эксплуатационных свойств.

Показатели топливной экономичности характеризуют потребительские качества автомобиля. Стоимость топлива составляет до 20-30 % всех затрат на перевозки, поэтому топливная экономичность оказывает существенное влияние на экономическую эффективность автомобильного транспорта. Для обеспечения надежной и экономичной работы дизельного двигателя дизельное топливо должно обладать соответствующим качеством.

Одними из основных недостатков дизельных топлив являются некоторые их свойства, приводящие к трудностям запуска дизельных двигателей в зимнее время [1]. Поэтому в Якутии регулярно должны проводиться исследования по определению эксплуатационных свойств дизельного топлива, привозимые в регион.

Исследуемые образцы арктического дизельного топлива были отобраны из различных автозаправочных станций центральной, северной и заречной части Республики Саха (Якутия). Все образцы разделены на три группы, в каждой группе были взяты по 3 образца арктического дизельного топлива. I центральная группа районов (ЦГР), II северная группа районов (СГР), III заречная группа районов (ЗР). Дизельные топлива взяты у 3 крупных поставщиков моторных топлив: ОАО «Якутская топливно-энергетическая компания» (топливо № 1 у всех районов), ОАО «Саханефтегазсбыт» (топливо № 2 у всех районов), ОАО «Туймааданефть» (топливо № 3 для всех районов). Так образцы арктического дизельного топлива ЦГР были взяты из г. Покровск Хангаласского улуса (топливо №1 ЦРГ), с. Намцы Намского улуса (топливо №2 ЦРГ), с. Майя Мегино-Хангаласского улуса (топливо №3 ЦРГ), образцы арктического дизельного топлива СГР были взяты из п. Батагай Верхоянского улуса (топливо

№1 СГР), с. Саскылах Анабарского района (топливо №2 СГР), п. Тикси Булунского улуса (топливо №3), образцы арктического дизельного топлива ЗР с. Ытык-Кюель Тааттинского улуса (топливо №1 ЗР), с. Чурапча Чурапчинского улуса (топливо №2 ЗР), с. Борогонцы Усть-Алданского улуса (топливо №3 ЗР). Итого 9 образцов топлива:

- Топливо № 1 ЦГР
- Топливо № 2 ЦГР
- Топливо № 3 ЦГР
- Топливо № 1 СГР
- Топливо № 2 СГР
- Топливо № 3 СГР
- Топливо № 1 ЗР
- Топливо № 2 ЗР
- Топливо № 3 ЗР

Для экспериментального исследования были выбраны следующие основные показатели качества (ГОСТ 305-82): плотность, вязкость, фракционный состав, цетановое число, низкотемпературные характеристики (температура помутнения, температура застывания, предельная температура фильтруемости).

Программа исследований предполагала изучение методики по определению эксплуатационных свойств арктического дизельного топлива.

Результаты исследования представлены в виде гистограмм распределение значений показателей качества.

Плотность у представленных образцов дизельного топлива не одинакова. По плотности топлива можно судить о преобладании различных (ароматических, парафиновых и нафтеновых) групп углеводородов. Например самой меньшей плотностью обладают – парафиновые углеводороды, больше чем парафиновые, обладают ароматические углеводороды. А нафтеновые занимают промежуточное положение. Дизельное топливо при впрыске дозируется насосом по объему. Следовательно, с повышением плотности топлива подача его увеличивается и рабочая смесь обогащается [3-5]. Плотность дизельных топлив для быстроходных дизелей при 20 °С лежит в пределах 820–840 кг\м³. Исследования показали, что большинство представленных образцов арктического дизельного топлива имеют плотность, близкую к 820 кг\м³. Эти результаты вполне отвечают требованиям ГОСТа. Однако образцы топлива № 1 ЦГР образцы топлива № 1 СВР и № 3 СВР обладают самой большей плотностью, и лежит в интервале от 830 до 840 кг\м³. Это означает, что топливо содержит в себе много парафиновых углеводородов (рисунок 1).

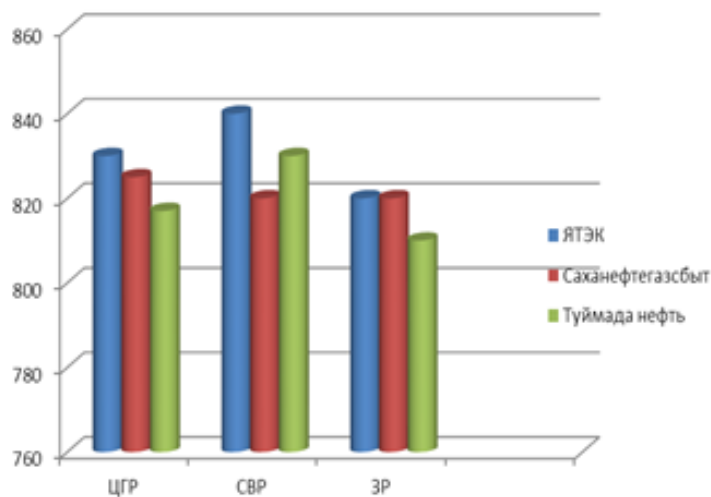


Рисунок 1 - Распределение плотности арктического дизельного топлива при 20 °С

Вязкость показатель прокачиваемости топлива [2]. При слишком высокой вязкости снижается степень распыления, но и снижение вязкости приводит к увеличению износу топливопровода. У представленных образцов дизельного топлива вязкость лежит в интервале от 1,6 до 2,9 мм²/с (сСт), что отвечает требованиям ГОСТ 305-82 (рисунок 2).

Фракционный состав дизельного топлива также оказывает большое влияние на скорость его испарения и образования смеси с воздухом после впрыска. Однако облегчение фракционного состава ухудшает воспламенительные свойства дизельного топлива [3-5].

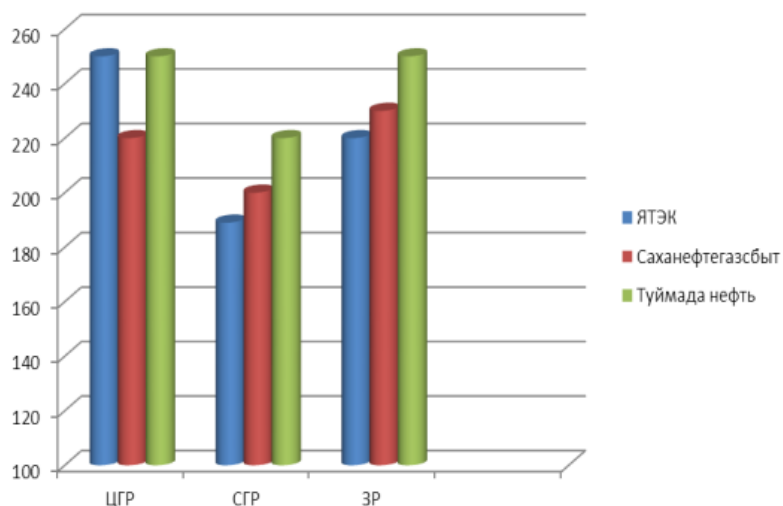


Рисунок 2 - Распределение значений кинематической вязкости арктического дизельного топлива при 20 °С мм²/с (сСт)

По ГОСТу оптимальная перегонка 50% объема топлива должна испариться при температуре не выше 255 °С. У образцов арктического дизельного топлива представленных на исследование значения отвечает требованиям ГОСТ, однако у образца № 1 СГР слишком облегченный состав, это свидетельствует о том, что возможно в дизельное топливо было смешано с бензиновыми фракциями (рисунок 3).

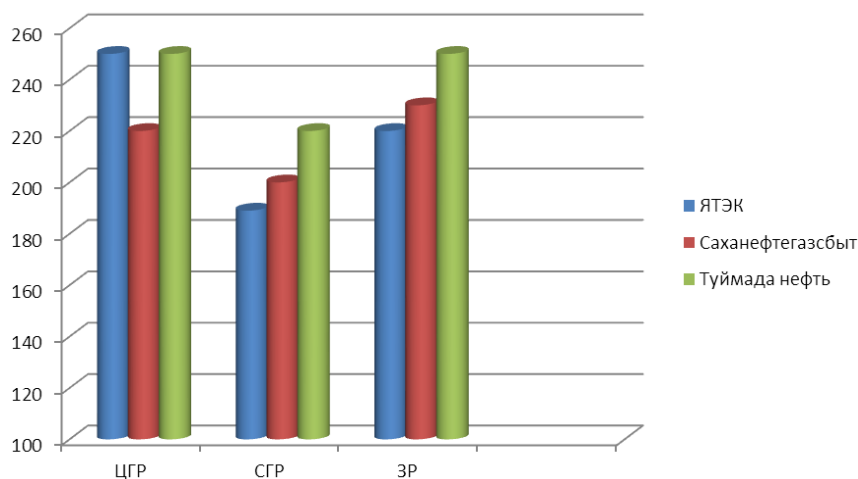


Рисунок 3 - Распределение значений фракционного состава 50% разгонки арктического дизельного топлива

Интервал испарения 96% объема топлива лежит от 280 до 330 °С, (рисунок 4) что также соответствует ГОСТ.

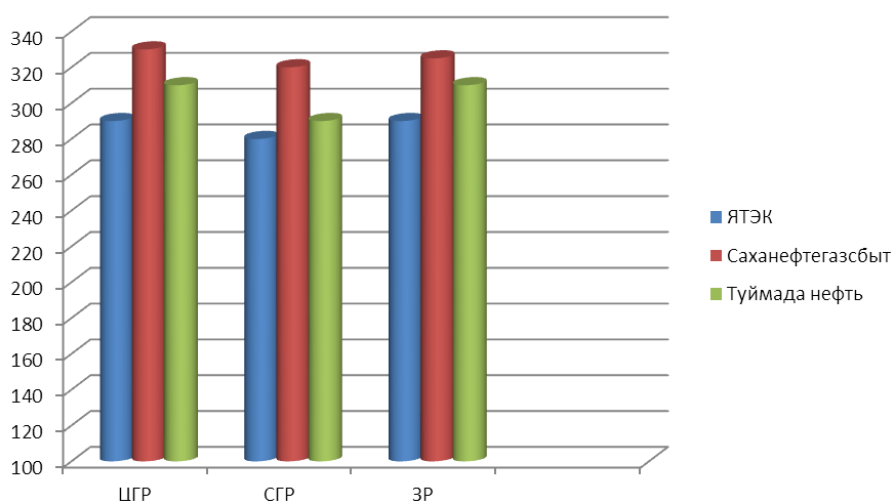


Рисунок 4 - Распределений значений фракционного состава 96% разгонки арктического дизельного топлива

ГОСТ 305-82 регламентирует только одну температуру (температуру застываю) из низкотемпературных свойств.

Температура застывания, определенная по стандартной методике, считается весьма приближенным показателем и не соответствует температуре потери подвижности нефтепродукта в условиях практического применения.

Однако эта методика является простой и применяется для контроля качества нефтепродуктов. Застывание нефтепродукта связано с наличием в нем твердой фазы (выкристаллизовавшихся при низких температурах твердых углеводородов) [8-10]. Из исследуемых образцов арктического дизельного топлива наименьшей температурой застывания обладает топливо № 1 ЦГР, а наибольшей топлива № 2 ЦГР № 2 СГР (рисунок 5)

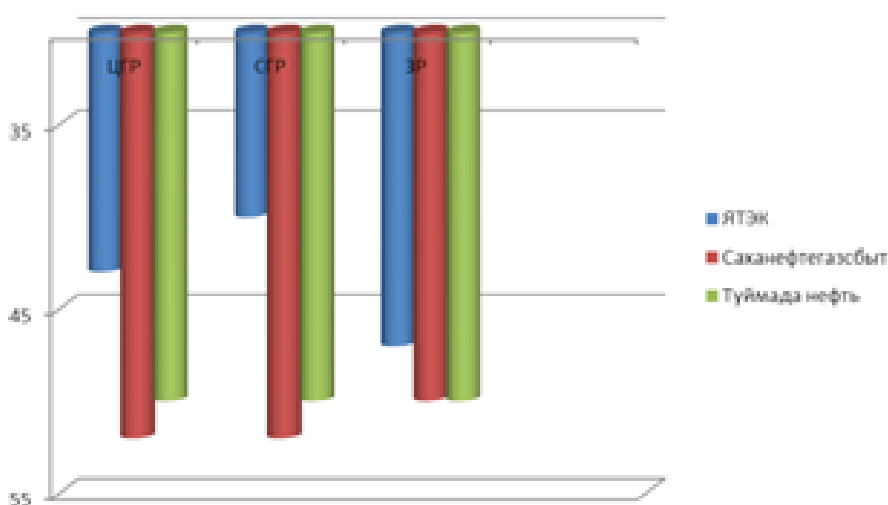


Рисунок 5 - Распределение значений температуры застывания арктического дизельного топлива, °C

Температуры помутнения и начала кристаллизации характеризуют содержание в топливе воды и парафина: чем ниже температура помутнения топлива, тем меньше в нем содержится растворенной воды и парафина [5-7]. Интервалы температуры помутнения у исследуемых образцов лежит от температуры минус 28 °C (наименьшая у образца № 1 ЦГР) и до температуры минус 32 °C (наибольшая у образцов № 2 ЦГР и № 3 ЦГР) (рисунок 6)

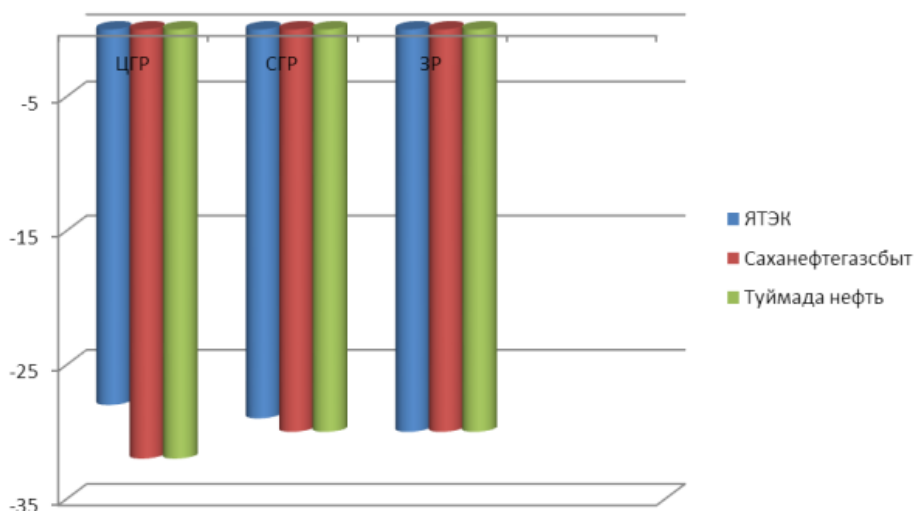


Рисунок 6 - Распределение значений температуры помутнения арктического дизельного топлива, °С

Предельная температура фильтруемости (ПТФ) – это характеристика топлива, указывающая на максимально низкую температуру, при которой оно еще способно проходить через фильтр или полностью теряет эту способность (или же 20см³ фильтруются дольше одной минуты) [6]. Максимальная ПТФ по результатам исследования оказалась у образца № 2 СГР (минус °С), а минимальная ПТФ у образца № 1СГР (минус 36 °С).

Температурный режим агрегатов и связанное с этим изменение топливной экономичности автомобилей зависит от условий в которых автомобили эксплуатируются, и в первую очередь от температуры окружающей среды [11].

Понижение наружной температуры на 20 °С приводит к увеличению расхода топлива в среднем на 20%.

Расход топлива при низкой температуре окружающего воздуха возрастает из-за увеличения потребления топлива двигателем, усиления сопротивления трансмиссии и шин, повышения аэродинамического сопротивления.

Для грузовых бортовых автомобилей и автопоездов нормативное значение расхода топлив рассчитывается по формуле[11]

$$Q_H = 0,01 (H_{san} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 + 0,01 \cdot D) \quad (1)$$

где Q_H – нормативный расход топлива, л;

S – пробег автомобиля или автопоезда, км;

H_{san} – норма расхода топлив на пробег автомобиля или автопоезда в снаряженном состоянии без груза л/100 км;

$$H_{san} = H_s + H_g \cdot G_{np} \quad (2)$$

где H_s – базовая норма расхода топлив на пробег автомобиля (тягача) в снаряженном состоянии, л/100 км; H_g – норма расхода топлив на дополнительную массу прицепа или полуприцепа, л/100 т·км; G_{np} – собственная масса прицепа или полуприцепа, т;

H_w – норма расхода топлив на транспортную работу, л/100 т·км;

D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме, %;

W – объем транспортной работы, т·км;

$$W = G_{gp} \cdot S_{gp} \quad (3)$$

где G_{gp} – масса груза, т;

S_{gp} – пробег с грузом, км.

Математические модели расхода топлива можно получить путем синтеза уравнений автомобиля и различных характеристик и режимов работы двигателей.

В качестве математической модели была выбрана модель расхода топлива Q_m , л/100 км из подсистемы технико-экономические показатели автомобилей, со входными параметрами [3]

$$Q_T = \left(\frac{l}{100\beta} B_{км} + \frac{l \cdot q \cdot \gamma}{100} B_{ткм} \right) \alpha_T + 1,7 \cdot t_{np} \frac{t_3}{t_l + t_3} \quad (4)$$

где l – расстояние перевозок;

β – коэффициент использования пробега;

$B_{км}$ – норма расхода топлива на 100 км пробега; л/100км;

q – грузоподъемность транспортного средства т.;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

$B_{ткм}$ – норма расхода топлива на 100 ткм транспортной работы;

α_T – коэффициент, учитывающий увеличение амортизационных затрат при работе в условиях Севера;

t_{np} – время погрузки и разгрузки;

t_3 – число зимних дней в году;

t_l – число летних дней в году.

В свою очередь расход топлива влияет на затраты топлива, руб/т.

$$Z_m = \frac{Q_m \cdot C_m \cdot \gamma_m}{1000 \cdot q \cdot \gamma} \quad (5)$$

где γ_m - плотность топлива кг\м³; C_m - стоимость дизельного топлива для Якутии.

Из выражения 5 следует, что затраты на топливо зависят от плотности используемого топлива.

Результаты исследований показали, что:

- наибольшей плотностью обладает топливо № 1 СГР, а наименьшей обладает топливо № 3 ЗР;
- наибольшей вязкостью обладает топливо № 2 СГР, а наименьшей № 2 СГР
- наибольшей испаряемостью обладает топливо № 1 СГР;
- самая низкая температура застывания у топлив № 2 ЦГР и № 2 СВР, равная минус 52 °С;
- самая низкая температура помутнения у топлив № 2 ЦГР и № 3 ЦГР, равная минус 32 °С;
- Самая низкая ПТФ у топлива № 1 СГР, равная минус 36 °С.

Из выше изложенного следует, что качество привозимого топлива в Республику Саха (Якутия) по некоторым показателям не соответствует требованиям ГОСТ. И что ухудшение плотности, вязкости, испаряемости, низкотемпературные свойства влияют на работоспособность двигателя.

Список использованной литературы

1. Иовлева Е.Л., Получение низкозастывающих дизельных топлив из Талаканской нефти, канд.дисс.на соискание ученой степени Уфа, 2016.
2. Ишков А.М, Иовлева Е.Л. Влияние качества дизельного топлива на работоспособность автомобилей // Вестник ИрГТУ. 2014. №11 (94).
3. Носова Е.В., Сапрыгина В.Н. Экспериментальное исследование качества дизельного топлива // Вестник ИрГТУ. 2011. № 6(53).
4. Агаев С. Г., Халин А. Н., Гультияев С. В. Депарафинизация летнего дизельного топлива в электрическом поле //Химия и технология топлив и масел. – 2017. – №. 6. – С. 6-8.
5. Белянин Б.В., Эрих В.Н. Технический анализ нефтепродуктов и газа. Изд. 3-е, пер. и доп. Ленинград: Химия, 1975. 336 с.
6. Ахметов С.А. Глубокая переработка нефти. Уфа, 2002. 453 с.
7. Дехтерман А.Ш. Переработка нефти по топливному варианту Москва: Химия, 1988. 96 с.
8. Долматов, Л. В. Товароведение нефтяных продуктов. Том 6: Специальные органические топлива / Л.В. Долматов, Е.А. Удалова. - СПб.: Недра, 2014. – 672 с.
9. Donnelly S.P., Star N.C., Chen N.V. Oil and Gas J.,1980, v.78, № 21,p. 75-83.

10. Chen N.V., Garwood W.E. Ind. Eng. Chem. Product. Research and Development. 1986, v.25, № 4, p.641-645.

11. Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», ПРИЛОЖЕНИЕ к распоряжению Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р.

УДК 629.3.027.3

СПОСОБ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**Д.Л. Окладников, В.А. Зеер, Е.В. Гражданцев,
Р.М. Авдеев, С.А. Ахремов**

***Аннотация.** В статье проведен анализ существующих способов рекуперации энергии демпфирования колебаний в подвеске транспортных средств. Выявлен наиболее предпочтительный способ, в котором используется электромагнитное устройство вращательного типа с шариковинтовой передачей. Путем математического моделирования определено влияние параметров дороги на динамические нагрузки в приводе электро-механического генератора.*

Ключевые слова: амортизатор, электромагнитное демпфирование, рекуперация энергии, инерция, сила сопротивления.

Дмитрий Леонидович Окладников - ассистент кафедры транспортных и технологических машин, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Владимир Андреевич Зеер - канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических машин, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Евгений Викторович Гражданцев - старший инженер, Департамент по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу, Карла Маркса 62, Красноярск, 660049, Россия.

Роман Михайлович Авдеев - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры транспортных и технологических машин, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Семён Алексеевич Ахремов - студент, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Основной характеристикой амортизатора подвески транспортного средства является сила сопротивления перемещению штока в зависимости

от скорости, которая в свою очередь направлена на гашение колебаний кузова транспортного средства (ТС) [1].

Эффективность работы демпфера оценивается с использованием натурального логарифма отношения смежных амплитуд – логарифмического декремента колебаний [2].

$$\ln D = \frac{\pi\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \approx \pi\gamma \quad (1)$$

Это выражение используется для определения относительного коэффициента затухания колебаний γ по результатам экспериментальных исследований колебаний поддрессоренной массы. По полученной при испытаниях осциллограмме определяется отношение смежных амплитуд, т.е. значение D , а затем γ [3]

$$\gamma = \frac{\ln D}{\pi} \quad (2)$$

Относительное количество энергии, рассеиваемой амортизатором за один период колебаний

$$\frac{\Delta W_i}{W_i} = 1 - \frac{1}{D^4} \quad (3)$$

где ΔW_i – количество механической энергии, перешедшей в тепловую за один период колебаний;

W_i – потенциальная энергия системы при достижении максимальной амплитуды колебаний (кинетическая энергия системы при этом равна нулю, так как скорость равна нулю).

Например, количество рассеиваемой энергии при заданной скорости затухания $D = 2,57$ и относительном коэффициенте затуханий $\gamma=0,3$ относительно автомобиля LADA GRANTA для амортизаторов передней и задней подвесок за одно полное колебание в тепло будет переведено 98% энергии, запасенной колеблющейся системой, а амплитуда уменьшается в 6,59 раза. За два периода в 43,38 раза [4].

$$\Delta W_i = \left(1 - \frac{1}{D^4}\right) \cdot W_i \quad (4)$$

Следовательно, количество механической энергии, перешедшей в тепловую за один период колебаний для амортизаторов передней и задней подвесок будет равно 72,85 Дж и 118 Дж соответственно [5].

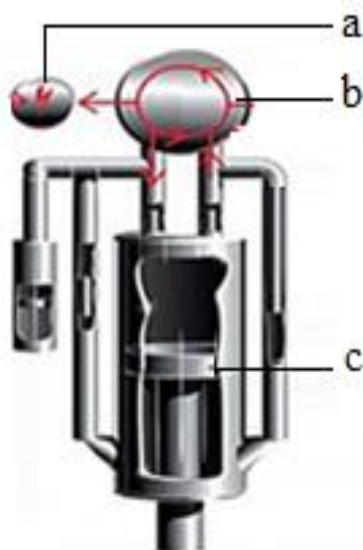
На данный момент известны способы электромагнитного гашения колебаний, которые могут позволять осуществлять рекуперацию энергии демпфирования для последующего её полезного использования [6].

Применение электромагнитного демпфирования обусловлено простотой передачи рекуперированной энергии от демпфера к накопителю/потребителю, возможностью управления процессом изменения сил сопротивления, снижением расхода топлива ДВС в связи со снижением потерь на привод основного генератора и увеличением запаса хода электромобиля.

Возможно несколько вариантов конструктивного исполнения электромагнитных амортизаторов:

1. Электромагнитный амортизатор с гидравлическим приводом;
2. Линейный электромагнитный амортизатор;
3. Электромеханический амортизатор (ЭМА) с применением речной передачи;
4. ЭМА с приводом от шарико-винтовой передачи (ШВП) и др.

Рассмотрим более подробнее каждый из перечисленных вариантов. Первый вариант возможен в различных исполнениях, но принципиальная схема представляет из себя генератор, приводимый гидромотором, который в свою очередь приводится от телескопического гидронасоса, установленного вместо штатного амортизатора подвески ТС (рис. 1). Подобная конструкция представлена компанией LevantPower [7, 8].

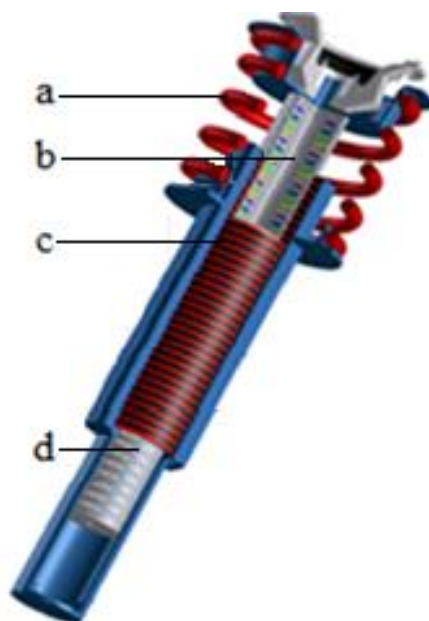


a – генератор, b – гидромотор, c – поршень.

Рисунок 1 - ЭМА с гидроприводом

ЭМА на основе линейного генератора (рисунок 2) обладает наименьшими массогабаритными параметрами, что обусловлено отсутствием привода. При этом у данного варианта исполнения ЭМА наблюдается низкая эффективность в связи с относительно малой скоростью движения штока, что обуславливает низкие рекуперативные и демпфирующие свойства. Одним из разработчиков электромагнитных демпферов на основе магнитной «капсулы» является технологический университет Эйнховена совместно с фирмой SKF [9].

Третий вариант содержит реечную передачу в приводе, позволяющую преобразовать возвратно-поступательное во вращательное движение и увеличить частоту вращения ротора генератора за счет передаточного числа. Однако жесткая связь рычага подвески и ротора генератора влечет значительное увеличение динамических нагрузок при начале и смене направления движения, как на привод, так и на ротор генератора. Один из вариантов подобной конструкции представляет из себя синтез реечного преобразователя возвратно-поступательного движения во вращательное, конической передачи с применением обгонных муфт в ступицах ведомых шестерен и генератора ротативного типа (рис. 3), что позволяет значительно снизить динамические нагрузки на привод ввиду неизменности направления вращения ротора генератора [10, 11].



a – Пружина; b – трехфазная обмотка; c –кассета постоянных магнитов; d – полированный шток.

Рисунок 2 - ЭМА с линейным генератором

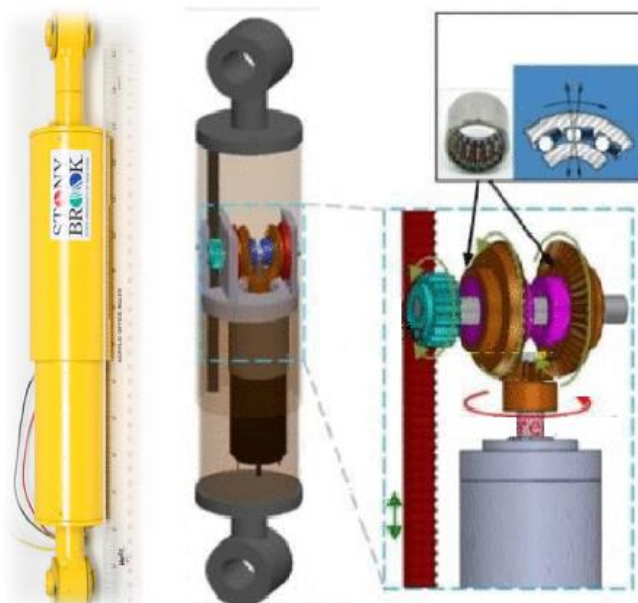


Рисунок 3 - ЭМА с приводом от речной передачи

ЭМА с приводом от ШВП и генератором вращательного типа (рис. 4) является наиболее перспективным, поскольку обладает простой и надежной конструкцией с массогабаритными размерами соизмеримыми с традиционными амортизаторами при этом дает возможность эффективной рекуперации энергии и управления силой сопротивления демпфера в широких диапазонах. [12, 13, 14, 15].

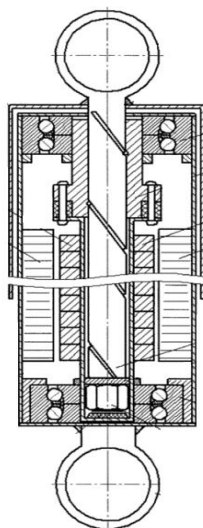


Рисунок 4 - ЭМА с ШВП приводом

Данное утверждение обусловлено следующим: высоким КПД ШВП; минимальными зазорами в ШВП, что увеличивает износостойкость и ударную прочность деталей при действии на них значительных динамиче-

ских знакопеременных нагрузок во время работы ЭМА; ШВП обладает высоким передаточным отношением при конструктивно приемлемых к традиционным амортизаторам подвесок ТС малых габаритных размерах; существующими технологиями производства тихоходных малогабаритных электромагнитных устройств вращательного типа и их систем микропроцессорного управления.

На рисунке 5 представлена структурная схема ЭМА с ШВП, которая при воздействии на него возмущений X_{np} , показывает, что в амортизаторе действуют две группы сил: инерционные силы от масс и моментов инерции деталей; силы сопротивления амортизатора от электромагнитных явлений в генераторе и сил трения.

Управляемые параметры ЭМА зависят от режима работы генератора, в том числе от генерируемой мощности электроэнергии. Сила сопротивления ЭМА обусловленная силами трения, как правило, пропорциональными скорости движения. Инерционные силы, возникающие от массогабаритных размеров движущихся деталей и действия на них ускорений, не являются управляемыми и постоянными, поэтому необходима оценка их влияния на характеристики ЭМА.

Закон перемещения гайки шарико-винтового привода в составе ЭМА

$$x_{np}(t) = i_{\pi} A \sin(\omega t) \quad (5)$$

где i_{π} – передаточное число подвески;

A – амплитуда, м;

ω – частота, Гц;

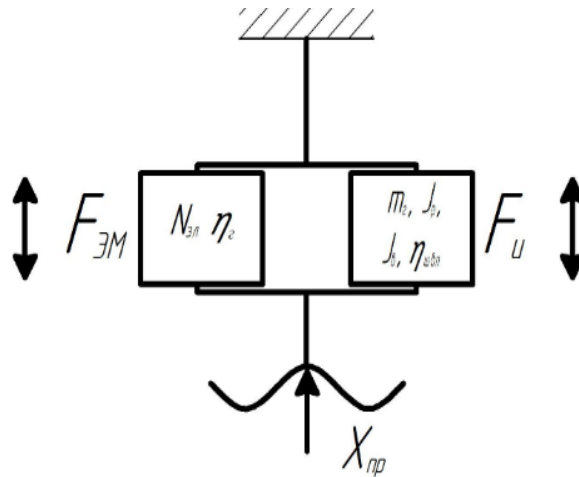
t – время, с.

Преобразовав уравнение (5) для описания условий движения с возможностью выбора следующих параметров: скорость движения ТС – V_a , м/с; высота преодолеваемой неровности – A , м; длина неровности – λ , м, получим

$$x_{np}(t) = i_{\pi} A \sin(\omega t) = i_{\pi} A \sin\left(\frac{2\pi V_a}{\lambda} \cdot t\right) \quad (6)$$

$$\dot{x}_{np}(t) = i_{\pi} A \cos\left(\frac{2\pi V_a}{\lambda} \cdot t\right) \quad (7)$$

$$\ddot{x}_{np}(t) = -i_{\pi} A \left(\frac{2\pi V_a}{\lambda}\right)^2 \sin\left(\frac{2\pi V_a}{\lambda} \cdot t\right) \quad (8)$$



$F_{эм}$ – Электромагнитная составляющая силы сопротивления;
 $F_{и}$ – инерционная составляющая силы сопротивления;
 $N_{эл}$ – электрическая мощность генератора; $\eta_{г}$ – КПД генератора;
 $\eta_{швп}$ – КПД ВШП; $J_{в}$ – момент инерции винта; $J_{р}$ – момент инерции ротора; $m_{р}$ – масса ротора генератора; $X_{пр}$ – перемещение штока.

Рисунок 5 - Структурная схема электромагнитного демпфера

На рисунке 6 графически представлена зависимость перемещения, скорости и ускорения от времени.

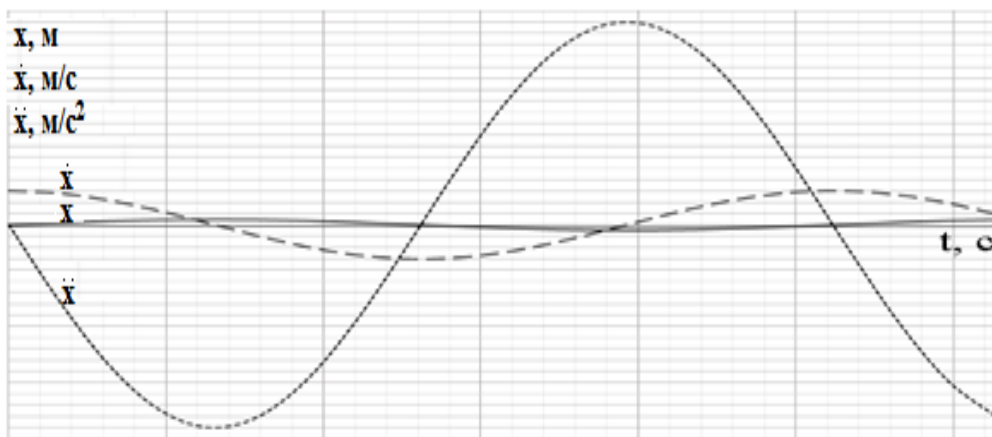


Рисунок 6 - Зависимость перемещения, скорости и ускорения от времени

Тогда состояние вала шарико-винтового привода электромеханического демпфера и ротора генератора описывается следующими уравнениями

$$\varphi(x_{\text{пр}}) = \frac{2\pi x_{\text{пр}}}{Pk} = \frac{2\pi i_n A \sin\left(\frac{2\pi V_a \cdot t}{\lambda}\right)}{Pk} \quad (9)$$

где P – шаг шарико-винтового привода, м;
 k – число заходов резьбы шарико-винтового привода.

$$\dot{\varphi}(x_{\text{пр}}) = \frac{2\pi \dot{x}_{\text{пр}}}{Pk} = \frac{2\pi i_n A \cdot \frac{2\pi V_a}{\lambda}}{Pk} \cos\left(\frac{2\pi V_a}{\lambda} \cdot t\right) \quad (10)$$

$$\ddot{\varphi}(x_{\text{пр}}) = \frac{2\pi \ddot{x}_{\text{пр}}}{Pk} = -\frac{2\pi i_n A \cdot \left(\frac{2\pi V_a}{\lambda}\right)^2}{Pk} \sin\left(\frac{2\pi V_a}{\lambda} \cdot t\right) \quad (11)$$

Результаты расчетов ускорений элементов ЭМА при наиболее характерных условиях движения ТС (скорость, высота и длина неровности) представлены в таблице 1, из которых видно, что наибольшее влияние на величину ускорений оказывает частота колебаний, вызванная увеличением скорости движения ТС либо уменьшением длины неровности.

Таблица 1 - Результаты расчета ускорений элементов ЭМА

Скорость ТС, м/с	Высота неровности, м	Длина неровности, м	Ускорение гайки ШВП, м/с ²	Угловое ускорение винта ШВП, рад/с ²
5	0,05	1	49,3	967,5125
5	0,05	2	12,3	241,3875
5	0,05	3	5,5	107,9375
5	0,1	3	11	215,875
5	0,15	3	16,4	321,85
10	0,05	3	21,9	429,7875
15	0,05	3	49,3	967,5125

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при движении ТС в демпфирующих устройствах его подвесок колес энергию механических колебаний, которая составляет значительные величины, можно рекуперировать в электрическую, а затем использовать её в бортовой сети ТС, тем самым снизив расход топлива для автомобилей с ДВС на углеводородном топливе, либо увеличив запас хода для электромобилей;
- наиболее перспективным вариантом конструктивного исполнения, является ЭМА с генератором вращательного типа и шарико-винтовым приводом;

- наибольшие инерционные нагрузки, действующие на детали ЭМА, обусловлены силами в моменты изменения направления движения, причем большее влияние на них оказывает частота колебаний, вызванная увеличением скорости движения ТС либо уменьшением длины неровности;
- необходимо в конструкцию ЭМА вносить гасящие, предохранительные и другие элементы, конструктивные варианты которых различны.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения.
2. Конструкция автомобиля. Шасси / Под общ.ред. А.Л. Карунина. – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.
3. Амортизаторы. Конструкция, расчёт, испытания / Под общ.ред. В.Н. Добромирова. – М.: МАМИ, 2006. – 184 с.
4. Раймпель Й. Шасси автомобиля / Пер. снем. В.П. Агапова; Под ред. И.Н. Зверева. – М.: Машиностроение, – 1983. – 356 с.
5. Д. С. Периков, Д. Л. Окладников, А. А. Сорокин, П. П. Евсеев / К вопросу использования электромагнитных устройств в подвесках автомобилей. -Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы2013 188-192.
6. Д. В. Юрлин / Интеллектуальные системы подвески автомобилей / Материалы Международного автомобильного научного форума (МАНФ-2017): «Интеллектуальные транспортные системы», 19 октября 2017 г.
7. Официальный сайт «ClearMotion» www.clearmotion.com/technology
8. Официальный сайт «За рулем» www.zr.ru/content/news/570253-amortizator_vozmet_na_seba_rabotu_generatora/.
9. Официальныйсайт «ELECTRIC VEHICLE NEWS» www.electric-vehiclenews.com/2011/04/electromagnetic-regenerative-active.html
10. Официальный сайт «Популярная механика» www.popmech.ru/technologies/11794-energiya-plokhikhdorogamortigenerator/.
11. Официальныйсайт «Nanotechnology News Network» www.nanonewsnet.ru/articles/2011/energiya-iz-ukhabov.
12. Официальныйсайт «Привод - Н» privod-n.ru/nashi-proekty/elektrokomponenty-dlya-kolesnykh-transportnykh-sredstv/amortizator-s-rekuperativnym-effektom/.
13. Патент на полезную модель 176596.
14. Патент на полезную модель 169464.
15. Патент на полезную модель 180006.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ШИНАХ АВТОМОБИЛЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО ТЯГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СИЛОВОМ РОЛИКОВОМ СТЕНДЕ

А.И. Федотов, А.В. Камнев, Е.А. Слепенко

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос контроля параметров, характеризующих тяговые качества автомобиля на силовом роликовом стенде. Рассмотрено влияние нормальной нагрузки на ведущие колеса автомобиля и давления воздуха в его шинах на результаты измерения тяговых параметров на роликовом стенде. Проанализированы силовые и скоростные потери мощности в шинах ведущих колес автомобиля в процессе его функционирования на прямой передаче на силовом тяговом стенде. Получены графические зависимости мощности на колесах автомобиля от нагрузки на ведущие колеса, при варьируемых значениях давления воздуха в шинах. Эти зависимости аппроксимированы полиномами второй степени. Для каждого полинома получены входящие в формулы коэффициенты. Результаты проведенного исследования позволяют более корректно выполнять контроль параметров, характеризующих тяговые свойства автомобилей на силовых тяговых роликовых стендах.

Ключевые слова: автомобиль, мощность на ведущих колесах, шина, силовой роликовый стенд, измерение мощности, силовой радиус колеса, давление воздуха в шине, нагрузка на ведущие колеса, тяговые качества.

Александр Иванович Федотов - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "автомобильный транспорт" Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, E-mail: afai@istu.edu,

Алексей Васильевич Камнев - ассистент, Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия, E-mail: dadestone@yandex.ru, sea1975@yandex.ru

Е.А. Слепенко - к.т.н., доцент, Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия, E-mail: dadestone@yandex.ru, sea1975@yandex.ru

Введение

Контроль тяговых качеств автомобиля обычно выполняют на роликовых силовых стендах (рис.1). Принцип работы таких стендов заключается в следующем: автомобиль устанавливают ведущими колесами на ролики стенда и закрепляют с помощью специальных устройств к опоре. Вы-

полняют подготовку автомобиля к тестированию, в ходе которой контролируют давление воздуха P_w в шинах, прогревают двигатель, трансмиссию и шины автомобиля [1, 2].



Рисунок 1 - Автомобиль на силовом тяговом роликовом стенде

Затем проводят контроль. Для этого разгоняют ведущие колеса автомобиля от двигателя на прямой передаче и полностью нажатой педалью управления подачей топлива. При этом оператор подводит к опорным роликам стенда тормозной момент, препятствуя разгону и имитируя сопротивление дороги. Когда мощность, подведенная к колесам автомобиля от двигателя, становится равной мощности стенда N_T , тормозящей вращение опорных роликов, происходит стабилизация скорости вращения колес. Такой режим называют установившимся. В установившемся режиме измеряют мощность на колесах автомобиля N_k [1, 2].

Затем дискретно повышают мощность стенда N_T , тормозящую вращение опорных роликов и в новом установившемся режиме измеряют следующее значение мощности на колесах автомобиля N_k . Таким образом, получают график зависимости колесной мощности N_k от скорости V .

Такой метод контроля тяговых качеств автомобиля имеет ряд существенных недостатков, которые, в значительной степени, влияют на результаты измерений тяговых параметров автомобиля на стенде. На величину погрешности измерений тяговых параметров влияет различие в механике взаимодействия колеса с плоской опорной поверхностью дороги и цилиндрическими поверхностями опорных роликов стенда [3, 4].

Изменение давления $p_{ш}$ в шинах ведущих колес автомобиля приводит к росту силовых и скоростных потерь в них. Изменение нагрузки на ведущие колеса автомобиля значительно изменяет силу сопротивления качению колес автомобиля $F_{дк}$, соответственно, момент сопротивления качению M_f , что также влияет на погрешность измерения тяговых параметров автомобиля.

Как известно, КПД шин ведущих колес автомобиля определяется силовыми и скоростными потерями в них, возникающими при их качении определяют как [5, 6]

$$\eta_k = \frac{M_k - M_f}{M_k} \cdot \frac{r_k}{r_{k0}}, \quad (1)$$

где M_k – крутящий момент, подведенный к колесу, Н·м;
 M_f – момент сопротивления качению шины, Вт;
 r_k – радиус качения (*кинематический радиус*) колеса, м;
 r_{k0} – радиус качения колеса в ведомом режиме, м.

Первый сомножитель отражает силовые (*гистерезисные*) потери мощности на трение в шине при её качении [5, 6].

Второй сомножитель, отражает скоростные потери мощности, связанные с её тангенциальной эластичностью, т.е. учитывает, что число сделанных колесом оборотов и пройденный им при этом путь, не всегда соответствуют друг другу [5, 6].

Как видно из формулы (1), КПД шин ведущих колес автомобиля, зависит как от величины кинематического радиуса r_k колеса, так и от момента M_f сопротивления качению шины. При определении тяговых параметров автомобилей это обстоятельство необходимо учитывать.

Однако наиболее сложной задачей при этом является измерение кинематического радиуса колеса r_k . Отсутствие корректной и эффективной методики измерения кинематического радиуса колеса r_k стало главной причиной значительных погрешностей измерения тяговых параметров автомобиля. Присутствующий в формуле (1) силовой радиус колеса r_{k0} – *радиус качения в ведомом режиме* значительно зависит от нагрузки на колесо и давления в шине [7, 8]. При определении тяговых параметров автомобиля на стенде силовые радиусы его колес r_{k0} значительно меняются, что существенно снижает точность полученных результатов.

Методика

Экспериментальное исследование по определению мощности N_k на ведущих колесах автомобиля ВАЗ 21043 проводили силовом роликовом стенде. В процессе исследования дискретно изменяли нормальную нагрузку G_k приходящуюся на колеса автомобиля, а также давление воздуха в шинах P_w . Перед экспериментом агрегаты трансмиссии, двигатель и шины прогревали до рабочих температур методом естественного функционирования автомобиля на роликах стенда.

Испытания автомобиля выполняли на силовом роликовом стенде Hoffman LPS2020 в режиме постоянной скорости 100 км/ч. Для испытаний на автомобиле использовали серийные шины Bridgestone 175/65R13, с износом 15-20%. Измерение колесной мощности N_k выполняли в процессе функционирования автомобиля под нагрузкой, создаваемой нагружающим устройством стенда. Автомобиль при этом функционировал с включенной

прямой передачей. Измерение частоты вращения коленчатого вала производили при помощи датчика, подключенного к двигателю автомобиля.

Результаты

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты измерения мощности N_k на ведущих колесах автомобиля ВАЗ 21043 на роликовом стенде Hoffman LPS2020 в режиме постоянной скорости 100 км/ч

№ п/п	Давление воздуха в шинах, P_w [атм].	Мощность на ведущих колесах, N_k , [л.с]	Частота вращения к/вала n_e , [об/мин]	Нормальная нагрузка на ось, G_k , [Н]	Фактическая скорость, V_a , [км/ч]
1	3,0	39,1	3416	5050	99,7
2		39,0	3429	5500	100,1
3		39,0	3428	6100	100,1
4		38,8	3420	6550	99,9
5		38,7	3422	7100	99,7
6	2,6	38,9	3417	5050	99,8
7		38,9	3419	5500	99,8
8		38,8	3425	6100	100,0
9		38,7	3425	6550	100,0
10		38,6	3420	7100	100,0
11	2,3	38,6	3421	5050	99,9
12		38,5	3409	5500	99,9
13		38,4	3408	6100	100,0
14		38,4	3408	6550	100,0
15		38,3	3403	7100	100,0
16	2,0	38,3	3412	5050	99,6
17		38,2	3431	5500	100,2
18		38,2	3407	6100	99,5
19		38,1	3407	6550	99,9
20		38,0	3403	7100	99,5
21	1,8	38,0	3406	5050	99,4
22		37,9	3423	5500	99,5
23		37,9	3409	6100	99,5
24		37,8	3410	6550	99,5
25		37,7	3412	7100	99,6

Они показывают, что с ростом нормальной нагрузки G_k на ведущие колеса, колесная мощность N_k заметно снижается. При этом с увеличением давления воздуха P_w в шинах ведущих колес автомобиля в диапазоне от 1,8 до 3,0 атм., мощность на его ведущих колесах растет. Причем, при давлении 3 атм. наблюдается снижение интенсивности роста колесной мощности.

Представленные в таблице 1 результаты экспериментального исследования мощности N_k на ведущих колесах автомобиля, измеренной на роликовом силовом стенде Hoffman LPS2020, при изменении нагрузки на ось G_k и давления воздуха P_w в шинах ведущих колес были обработаны в виде графиков, которые изображены на рисунке 2. На этом же рисунке сплошными линиями представлены расчетные графики, аппроксимирующие результаты экспериментального исследования.

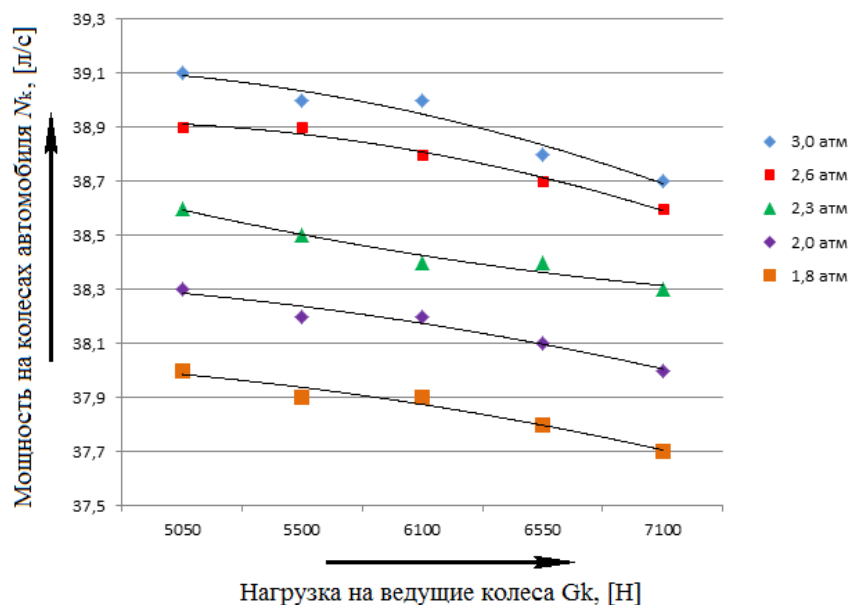


Рисунок 2 - График изменения мощности N_k на ведущих колесах автомобиля ВАЗ 21043, измеренной на силовом стенде Hoffman LPS2020 в режиме постоянной скорости 100 км/ч на прямой передаче, при варьировании нагрузки G_k на колеса автомобиля и давления воздуха в шинах

Результаты экспериментального исследования показывают, что зависимости колесной мощности N_k , измеренной на роликовом стенде, от нагрузки G_k на ведущие колеса автомобиля имеют явно выраженный нелинейный характер. Поэтому, представленные в таблице 1 и графиках, на рис. 2 зависимости были аппроксимированы полиномом, вида

$$N_k = a \cdot G_k^2 + b \cdot G_k + c, \quad (2)$$

где G_k – нагрузка на колеса ведущей оси автомобиля, Н;
 a, b, c – безразмерные коэффициенты полинома (см. табл. 2)

Таблица 2 - Коэффициенты зависимости мощности на колесах автомобиля ВАЗ-21043, измеренной на силовом стенде Hoffman LPS2020, от нагрузки G_k на колеса ведущей оси и давления воздуха в шинах P_w .

№ п/п	Давление воздуха в шинах P_w , [атм]	Коэффициенты зависимости			Достоверность аппроксимации R^2
		a	b	c	
1	3,0	- 0,0143	- 0,0143	39,12	0,952
2	2,6	- 0,0143	0,0057	38,92	0,956
3	2,3	- 0,0071	- 0,1129	38,70	0,956
4	2,0	- 0,0071	- 0,0271	38,32	0,956
5	1,8	- 0,0071	- 0,0270	38,02	0,956

Выводы

Результаты проведенного экспериментального исследования убедительно показывают:

- С ростом нормальной нагрузки G_k на ведущие колеса, колесная мощность N_k заметно снижается. С увеличением давления воздуха P_w в шинах ведущих колес автомобиля в диапазоне от 1,8 до 3,0 атм., мощность на его ведущих колесах растет. Причем, при давлении 3 атм. наблюдается снижение интенсивности роста колесной мощности. Это вызвано тем, что и увеличение нагрузки на колеса, и снижение давление в шинах, повышают силы сопротивления качению шин, а также скоростные потери мощности;

- Зависимости колесной мощности N_k , измеренной на роликовом стенде, от нагрузки G_k на ведущие колеса автомобиля имеют явно выраженный нелинейный характер и вполне удовлетворительно аппроксимируются полиномом второй степени;

- Представленные в крайнем правом столбце таблицы 2 значения коэффициента достоверности аппроксимации показывают корректность вида и степени выбранного полинома.

Список использованной литературы

1. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении: учебник для студ. учреждений высш. образования / А.И.Федотов. – М. : Издательский центр «Академия», 2015. – 352 с.
2. Федотов, А.И. Диагностика автомобилей: Учебник для ВУЗов / А.И. Федотов // изд. ИргТУ. Иркутск, 2012. - 467 с.
3. Яньков О.С. Экспериментальное исследование процесса взаимодействия эластичной шины автомобильного колеса с опорными роликами диагностического стенда // Вестник ИРГТУ. 2016. № 2 (109). С. 127-134.
4. Федотов А.И., Власов В.Г., Яньков О.С. Математическая модель для расчёта нормальных и продольных реакций в пятне контакта шины автомобильного колеса с поверхностями опорных роликов диагностического стенда // Вестник ИРГТУ. 2017. Т. 21. № 3 (122). С. 193-203.
5. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. - М.: Машгиз, 1963. - 239 с.
6. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств колесных транспортных средств. Учебник для аспирантов направления подготовки 23.06.01 - Техника и технологии наземного транспорта, – Иркутск.: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 254 с.
7. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1988.
8. Федотов А.И. Повышение эффективности работы антиблокировочных систем при колебаниях нормальной нагрузки на колесах автомобиля. [Текст]: Дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. М.: МАМИ, 1986

УДК 629.113.001

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АТС КАТЕГОРИИ М1

А.В. Лысенко, А.И. Федотов, Н.Ю. Кузнецов, Д.А. Тихов-Тинников

Аннотация. В статье приведены результаты исследования, целью которого является повышение безопасности АТС в условиях эксплуатации на основе оценки показателей устойчивости путём контроля параметров, характеризующих изменение траектории его движения под действием боковой силы при переезде единичной неровности. Результаты исследования представлены в виде графиков и функциональных зависимостей. Используя выявленные функциональные зависимости отражающие влияния технического состояния амортизаторов АТС на параметры, характери-

зующих изменение траектории его движения под действием боковой силы и при переезде единичной неровности, была разработана методика контроля курсовой устойчивости АТС категории М1.

Ключевые слова: устойчивость АТС, амортизаторы, единичная неровность, траектория, боковая сила, диагностические параметры.

Андрей Владимирович Лысенко - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, тел.: 89148919904, E-mail: stobravo@gmail.com.

Александр Иванович Федотов - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, тел.: 89503991981, E-mail: fai@istu.edu.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, тел.: 89500802826, E-mail: kuznetsov92@mail.ru.

Дмитрий Анатольевич Тихов-Тинников - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили», ВСГУТУ, тел.: 89025631143, E-mail: dm_tt@mail.ru.

Значительная часть, ДТП сопровождается потерей АТС устойчивости, которая характеризуется не контролируемым заносом передней или задней оси, и изменением траектории его движения. Потерявший устойчивость автомобиль совершает выезд на полосу встречного движения или пересекает границы транспортных потоков в попутном направлении.

Устойчивость АТС зависит от стабильности контакта и величины сцепления шин с опорной поверхностью дороги. На величину сцепления шин с дорогой влияют их тип, состояния и дорожные условия, а их стабильный контакт с дорогой обеспечивается работой амортизаторов и элементов подвески.

Потеря амортизаторами работоспособности оказывает негативное воздействие на эксплуатационные свойства АТС и его активную безопасность[1]:

- ухудшается курсовая устойчивость и управляемость на повышенных скоростях;
- увеличиваются амплитуды колебаний поддресоренной и не-поддресоренной масс автомобиля;
- снижается скорость безопасного прохождения поворота;
- на мокрой дороге усиливается эффект аквапланирования;
- снижается эффективность работы систем обеспечения курсовой устойчивости автомобиля;

Безопасность АТС в условиях эксплуатации можно значительно повысить если в процессе контроля подвески учитывать влияние техническо-

го состояния амортизаторов на показатели устойчивости путём контроля параметров, характеризующих изменение траектории его движения.

Однако до сих пор не был научно обоснован выбор показателей устойчивости АТС в качестве возможных диагностических параметров для высокоинформативного метода контроля технического состояния амортизаторов АТС категории М1 в условиях эксплуатации.

С целью решения этой задачи было проведено исследование процесса движения автомобиля категории М1 под действием центробежной силы и переезде его колесами единичной неровности при варьировании функциональных характеристик амортизаторов.

Для этого, на основе общепринятых моделей, был разработан математический аппарат, описывающий пространственное движение поддрессоренной и неподдрессоренных масс автомобиля, а также взаимодействие его эластичных шин с опорной поверхностью при движении по окружности [2,3].

Расчетные схемы процесса движения АТС (рис. 1,2,3) представлены в виде пяти-массовой модели автомобиля и рассмотрены в трех плоскостях: XOZ , XOY , YOZ .

Используя принцип Д'Аламбера составлены уравнения (1), (2) и (3) динамического равновесия поддрессоренной и неподдрессоренной масс АТС для их продольных перемещений в направлении осей, OX , OY и OZ а также уравнения моментов (2), (4) и (6), действующих относительно осей подвижной системы координат в процессе его движения по окружности.

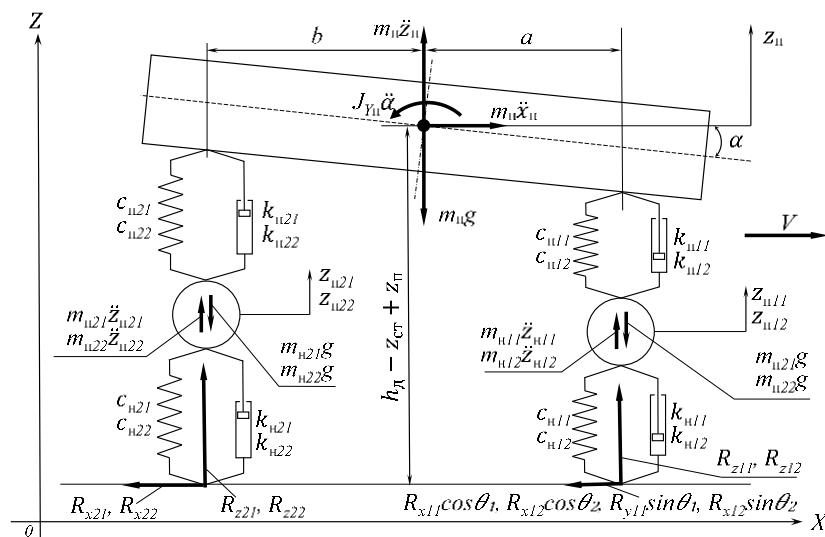


Рисунок 1 - Расчетная схема процесса движения АТС по окружности (плоскость XOZ)

$$\begin{aligned}
m_{II} \left(\frac{d^2 z_{II}}{dt^2} + \frac{d\beta}{dt} \frac{dy_{II}}{dt} - \frac{d\alpha}{dt} \frac{dx_{II}}{dt} \right) = \\
= -m_{II} g + c_{II1} (z_{II1} - z_{H11}) + k_{II1} \left(\frac{dz_{II1}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) + c_{II2} (z_{II2} - z_{H12}) + k_{II2} \left(\frac{dz_{II2}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) + \\
+ c_{II21} (z_{II21} - z_{H21}) + k_{II21} \left(\frac{dz_{II21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) + c_{II22} (z_{II22} - z_{H22}) + k_{II22} \left(\frac{dz_{II22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right)
\end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
J_x \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + (J_x - J_z) \frac{d\alpha}{dt} \frac{dy}{dt} = \\
= \left(\left(c_{II1} (z_{II1} - z_{H11}) + k_{II1} \left(\frac{dz_{II1}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) \right) - \left(c_{II2} (z_{II2} - z_{H12}) + k_{II2} \left(\frac{dz_{II2}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) \right) \right) \cdot a + \\
+ \left(\left(c_{II21} (z_{II21} - z_{H21}) + k_{II21} \left(\frac{dz_{II21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) \right) - \left(c_{II22} (z_{II22} - z_{H22}) + k_{II22} \left(\frac{dz_{II22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right) \right) \right) \cdot b - \\
- (R_{x11} \cos \theta_1 - R_{y11} \sin \theta_1 + R_{x12} \cos \theta_2 - R_{y12} \sin \theta_2 + R_{x21} + R_{x22}) (h_d - z_{cm} + z_{II})
\end{aligned} \quad (2)$$

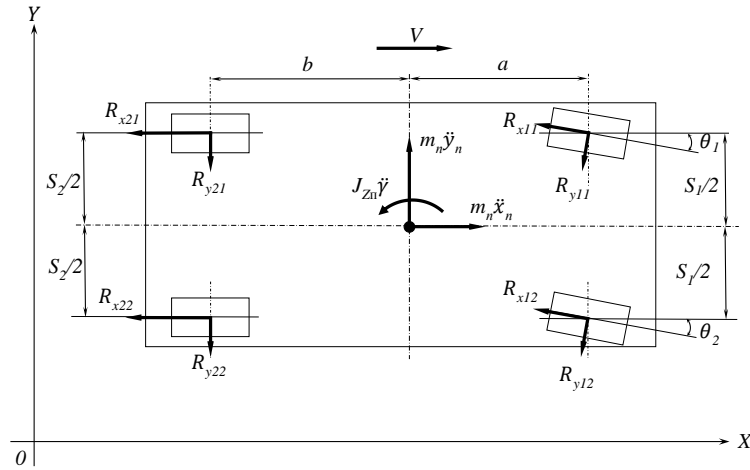


Рисунок 2 - Расчетная схема процесса движения АТС по окружности (плоскость XOY)

$$m_{II} \left(\frac{d^2 x_{II}}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} \frac{dz_{II}}{dt} - \frac{d\gamma}{dt} \frac{dy_{II}}{dt} \right) = R_{x11} \cos \theta_1 + R_{x12} \cos \theta_2 - R_{y11} \sin \theta_1 - R_{y12} \sin \theta_2 + R_{x12} + R_{x22} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
J_z \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (J_y - J_x) \frac{d\alpha}{dt} \frac{d\beta}{dt} = \\
= (R_{x11} \sin \theta_1 + R_{y11} \cos \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y12} \cos \theta_2) \cdot a - (R_{y21} + R_{y22}) \cdot b + \\
+ (R_{x12} \cos \theta_2 + R_{y11} \sin \theta_1 - R_{x11} \cos \theta_1 - R_{y12} \sin \theta_2) \cdot \frac{S_1}{2} + (R_{y21} - R_{y22}) \cdot \frac{S_2}{2}
\end{aligned} \quad (4)$$

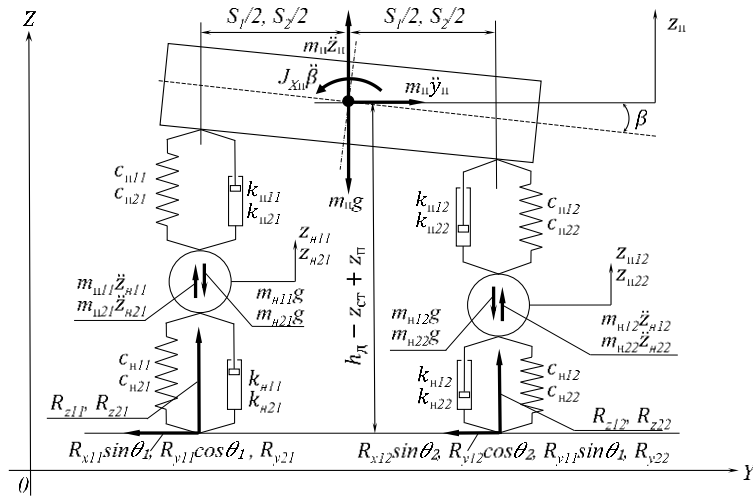


Рисунок 3 - Расчетная схема процесса движения АТС по окружности (плоскость Z0Y)

$$m_{\Pi} \left(\frac{d^2 y_{\Pi}}{dt^2} + \frac{dy}{dt} \frac{dx_{\Pi}}{dt} - \frac{d\beta}{dt} \frac{dz_{\Pi}}{dt} \right) = R_{y11} \cos \theta_1 + R_{y12} \cos \theta_2 + R_{x11} \sin \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y21} + R_{y22} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} J_x \frac{d^2 \beta}{dt^2} + (J_z - J_y) \frac{d\alpha}{dt} \frac{d\gamma}{dt} = & \\ = & \left(\left(c_{\Pi 11} (z_{\Pi 11} - z_{H11}) + k_{\Pi 11} \left(\frac{dz_{\Pi 11}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 12} (z_{\Pi 12} - z_{H12}) + k_{\Pi 12} \left(\frac{dz_{\Pi 12}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) \right) \right) \frac{S_1}{2} + \\ & + \left(\left(c_{\Pi 21} (z_{\Pi 21} - z_{H21}) + k_{\Pi 21} \left(\frac{dz_{\Pi 21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 22} (z_{\Pi 22} - z_{H22}) + k_{\Pi 22} \left(\frac{dz_{\Pi 22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right) \right) \right) \frac{S_2}{2} - \\ & - (R_{x11} \sin \theta_1 + R_{y11} \cos \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y12} \cos \theta_2 + R_{y21} + R_{y22}) (h_d - z_{cm} + z_{\Pi}) \end{aligned} \quad (6)$$

Продольные и поперечные реакции R_x и R_y , действующие на колеса движущегося АТС определяются с использованием нормированной функции проскальзывания для нестационарного режима качения колеса с эластичной шиной [4].

$$f(S) = \sin \left(a \cdot \operatorname{arctg} \left(b \cdot S_{y\partial} - b \cdot \frac{\dot{y}}{V_x} \right) \right) \quad (7)$$

$$f(S_{Xij}) = \cos \delta_{ij} - \frac{w_{kij} \cdot r_{ko} - \dot{x}_{ij}}{V_{ij}} \quad (8)$$

где V_x – скорость движения центра колеса относительно опорной поверхности;

\dot{y} – скорость смещения центра пятна контакта шины в боковом направлении;

S_{y0} – проскальзывание шины в боковом направлении при стационарном режиме качения колеса с эластичной шиной;

a и b – коэффициенты, определяющие характер протекания нормированной функции проскальзывания $f(S)$ [6].

Взаимодействие шины с единичной неровностью описано сглаживающей функцией [5]

$$q_{ij} = \frac{q_o}{2} \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_{qi}}{T} \right) \right) \quad (8)$$

где q_o – максимальная высота единичной неровности, t_{qi} – время интегрирования от начала взаимодействия шины с единичной неровностью до окончания этого взаимодействия;

T – период синусоиды.

Методика экспериментального исследования процесса движения АТС под действием центробежной силы с переездом единичной неровности, при варьировании технического состояния амортизаторов, позволяет экспериментальным путём выявлять закономерности, влияния функциональных характеристик амортизаторов на показатели его устойчивости [6].

Контролируемыми параметрами, позволяющими оценивать устойчивость автомобиля, могут быть характеристики изменения угла поворота АТС. Для непрерывного измерения характеристик изменения угла поворота АТС была разработана измерительная система, выполненная на базе авиационного гироскопического прибора Г-3М (рис.5), который преобразует угол поворота автомобиля относительно его вертикальной оси в напряжение, поступающее на вход АЦП [7].

Тестовый режим метода контроля устойчивости АТС подразумевает непрерывное действие на его подрессоренную массу боковой силы и единичное силовое воздействие на колеса и неподдресоренные массы со стороны дороги. Вследствие этого возникают колебания подрессоренной и неподдресоренных масс АТС, которые гасят амортизаторы. При проведении исследования варьировали техническое состояние амортизаторов, устанавливаемых на тестовый автомобиль.

Техническое состояние амортизаторов принято описывать его функциональной характеристикой, представляющей собой зависимость силы

гидравлического сопротивления от скорости перемещения поршня относительно рабочего цилиндра[8].

Математическое определение зависимости силы гидравлического сопротивления амортизатора от скорости перемещения его поршня выполняли на основе графика, который условно был разбит на 4 участка, каждый из которых был аппроксимирован линейными зависимостями, вида (9)

$$F_D = \begin{cases} F_{D1}(V_A), & V_1 \leq V_A < V_2 \\ F_{D2}(V_A), & V_2 \leq V_A < V_3 \\ F_{D3}(V_A), & V_3 \leq V_A < V_4 \\ F_{D4}(V_A), & V_4 \leq V_A \leq V_5 \end{cases} \quad (9)$$

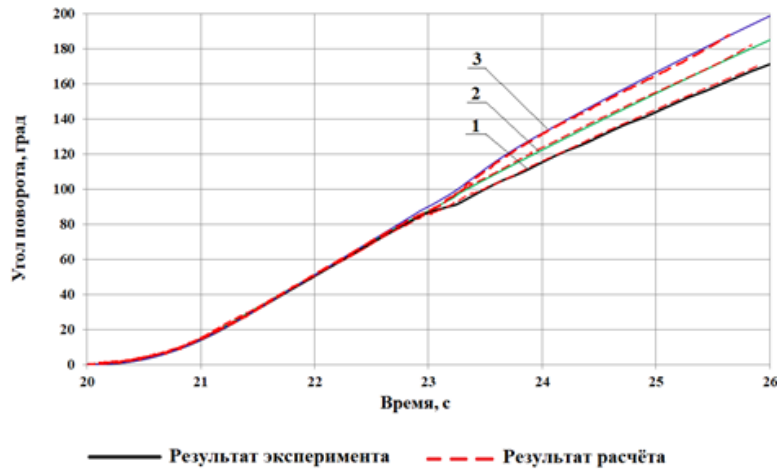
Полученная функциональная зависимость была использована в математической модели исследуемого процесса.

Анализ экспериментального исследования изменения угла поворота АТС при его движении под действием центробежной силы позволяет сделать вывод о том, что изменение технического состояния амортизаторов значительно влияет на изменение угла поворота при переезде единичной неровности. В процессе экспериментального исследования техническое состояние амортизаторов оценивали в баллах: лучшее техническое состояние - 10 баллов, худшее - 1 балл.

Полученные результаты экспериментальных исследований приведены в сравнении с результатами расчётов на математической модели на (рис.4).

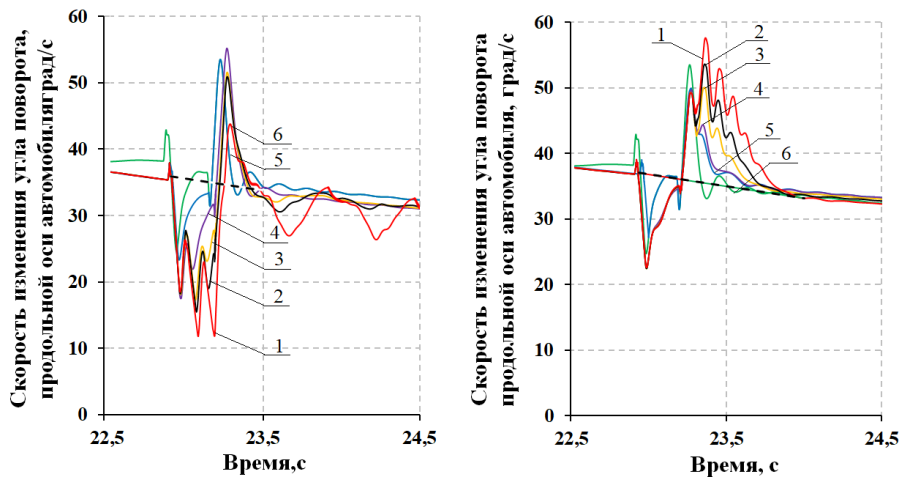
Исследование скорости изменения угла поворота продольной оси автомобиля от заданного направления движения АТС под действием боковой силы и переезде через единичную неровность позволило установить, что на неё значительно влияет техническое состояние амортизаторов (рис.5).

Интегрирование полученных зависимостей *скорости изменения угла отклонения продольной АТС* от заданного направления движения позволяет определять суммарные углы γ_1 и γ_2 *отклонения его продольной оси* при переезде через неровность передними и задними колёсами. А так же находить разность этих углов $\Delta\gamma$.



1 – Все амортизаторы исправны; 2 – передние амортизаторы неисправны; 3 – задние амортизаторы неисправны.

Рисунок 4 - График угла поворота поддрессоренной массы автомобиля Ford Focus, при его движении по окружности радиусом 15 м со скоростью 40 км/ч, и переездом единичной неровности, имеющей профиль 50×50 мм, в зависимости от технического состояния амортизаторов



Техническое состояние амортизаторов

1 – 1 балл 2 – 2 балла 3 – 4 балла
4 – 6 баллов 5 – 8 баллов 6 – 10 баллов

а)

б)

Рисунок 5 - График изменения скорости изменения угла поворота продольной оси АТС от заданного направления движения АТС под действием боковой силы и переезде через единичную неровность:

а) с исправными амортизаторами задней подвески и варьировании технического состояния амортизаторов передней подвески от 1 до 10 баллов;

б) с исправными амортизаторами передней подвески и варьировании технического состояния амортизаторов задней подвески от 1 до 10 баллов

Нормированные значения найденных диагностических параметров предложены в качестве критериев для оценки устойчивости АТС при движении под действием боковой силы.

Критерий №1

Угол γ_1 отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде *передних колёс* через единичную неровность

Критерий №2

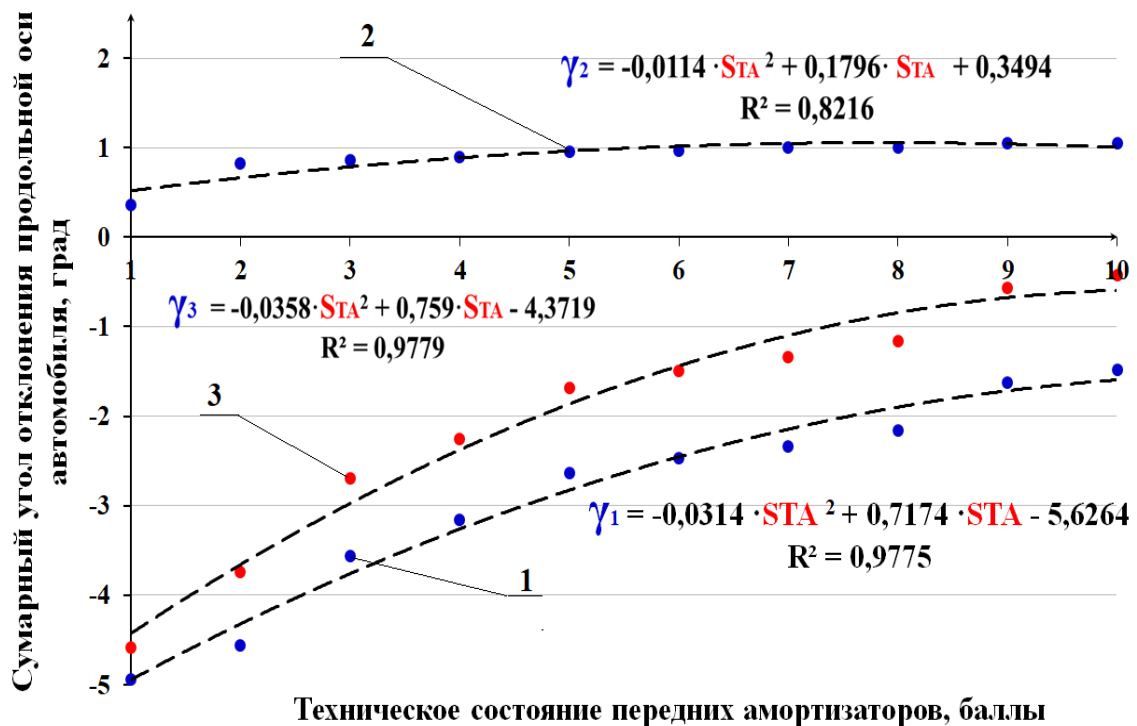
Угол γ_2 отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде *задних колёс* через единичную неровность.

Критерий №3

Разность углов $\Delta\gamma$ отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде передних и задних колёс через единичную неровность (*оценка поворачиваемости АТС*)

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 \quad (14)$$

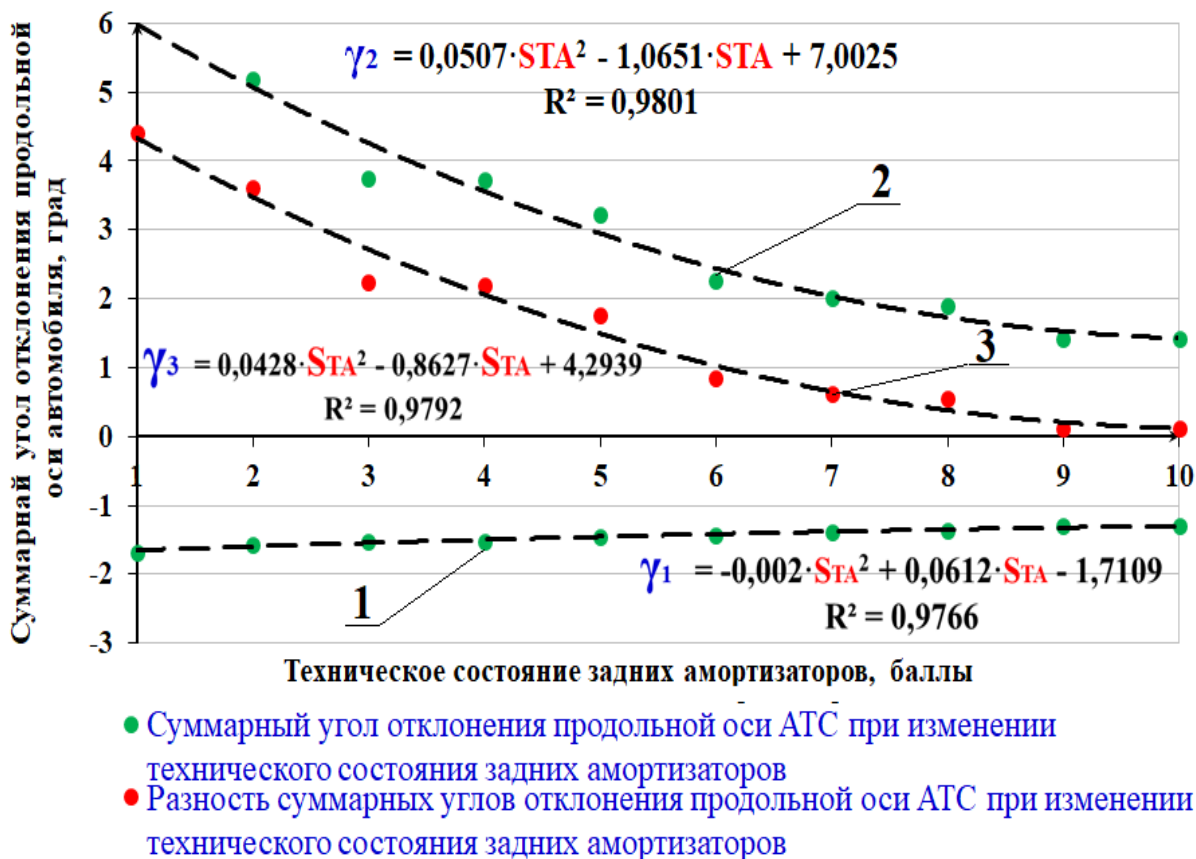
Результатом исследования критериальных показателей - углов отклонения продольной оси АТС и их разности, при его движении под действием боковой силы, возбуждении затухающих колебаний не поддрессо-ренных масс и изменении технического состояния амортизаторов, являются зависимости которые связывают техническое состояние амортизаторов передней и задней подвески с нормированными величинами найденных диагностических параметров.



- Суммарный угол отклонения продольной оси АТС при изменении технического состояния передних амортизаторов
- Разность суммарных углов отклонения продольной оси АТС при изменении технического состояния передних амортизаторов

1 - Передних колёс через неровность в зависимости от технического состояния передних амортизаторов - γ_1 ; 2 - задних колёс через неровность в зависимости от технического состояния задних амортизаторов - γ_2 ; 3 - график разности углов $\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$, как показатель поворачиваемости АТС

Рисунок 6 - Графики суммарных углов отклонения продольной оси АТС от заданной траектории, при движении под действием боковой силы и переезде



1 - Передних колёс через неровность в зависимости от технического состояния задних амортизаторов γ_1 ; 2 - задних колёс через неровность в зависимости от технического состояния задних амортизаторов γ_2 ; 3 - график разности суммарных углов $\Delta\gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2$

Рисунок 7 - Графики суммарных углов отклонения продольной оси АТС от заданной траектории, при движении под действием боковой силы и переезде

В результате проведенного научного исследования установлено, что параметры процесса движения автомобиля под действием центробежной силы и переезде через единичную неровность могут быть использованы в качестве чувствительных и информативных диагностических параметров используемых для контроля технического состояния амортизаторов АТС в условиях эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Федотов А. И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей, учебник для аспирантов вузов / А. И. Федотов. — Иркутск: Изд-во ИргТУ, — 2016. 254 с.

2. A I Fedotov, D A Tikhov-Tinnikov, N I Ovchinnikova, A V Lysenko Simulation of car movement along circular path To cite this article: et al 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 87 082018, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 082018 doi :10.1088/1755-1315/87/8/082018

3. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Кузнецов Н.Ю. Прокопьев И.С. Корректировка математической модели процесса движения автомобиля по окружности. Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация : материалы II Всерос. науч.-практ. конф.– Чита : ЗабГУ, 2018. – 211-220 с.

4. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: Сибирский автомобильно-дорожный институт, 1988. 187 с.

5. Неволин Д.Г., Новосёлов Л.И. Математическое моделирование динамического процесса в подвески полуприцепа // Транспорт урала. 2014. №4 (42). С. 119-122

6. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Международ. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 9–10 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 232–238.

7. Fedotov A.I., Kuznetsov N.Y., Lysenko A.V., Vlasov V.G. Car Suspension System Monitoring under Road Conditions // AIP Conference Proceedings. Vol. 1915. Issue 1. <https://doi.org/10.1063/1.5017362>

8. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. М.: Машиностроение, 1969. 236 с.

9. Дубровская О.А. Об аналитическом представлении рабочей характеристики амортизатора автомобиля // Вестник СибАДИ, выпуск 1 (19), 2011, С.17-19.

УДК 629.113.001

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА РИСУНКА ПРОТЕКТОРА
БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ ШИНЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АТС**

А.И. Федотов, А.С. Марков, Э.С. Салчак

Аннотация. Авторами данной статьи выполнены экспериментальные исследования влияния износа рисунка протектора беговой дорожки шины на тормозную эффективность автомобиля. В ходе эксперимен-

тальных исследований было установлено что при установке на АТС, эластичных шин марки BridgeStone Sneaker 185/70 R14, имеющими износ рисунка протектора на уровне 10%, величина установившегося замедления АТС составила 8,04 м/с², а при установке шин, имеющих износ рисунка протектора на уровне 90%, величина установившегося замедления АТС составила 7,19 м/с². При повышении температуры окружающей среды величина установившегося замедления снижается и снижение может достигать 10%, а также при повышении температуры окружающей среды от 10°С до 30°С и изменении массы АТС от 1120 кг до 1280 кг, снижается установившееся замедление на 10% и 7,2% соответственно.

Ключевые слова: коэффициент сцепления, эластичная шина, дорожные испытания, износ беговой дорожки, установившееся замедление, остаточная высота рисунка протектора.

Александр Иванович Федотов - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Автомобильный транспорт", ИрННТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89025605582, E-mail: fai.abs@yandex.ru.

Алексей Сергеевич Марков - аспирант кафедры "Автомобильный транспорт", ИрННТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89246040597, E-mail: buran.005@mail.ru.

Эртине Сергеевич Салчак - студент группы ЭТБп-16-1, кафедры "Автомобильный транспорт", ИрННТУ, тел.: 89996437707, E-mail: sal4ak-ertine@mail.ru.

Ежегодно во всем мире растет количество автотранспорта, участвующего в грузоперевозках, в перевозке пассажиров, а также в личном пользовании населения. Так как автомобиль является источником повышенной опасности, то с увеличением количества автотранспорта на дорогах, растет вероятность дорожно-транспортного происшествия. Подавляющее большинство ДТП сопровождается процессом торможения. Ежегодно на территории Российской Федерации происходит около ста семидесяти тысяч ДТП и гибнет порядка семнадцати тысяч человек [1].

При проведении контроля технического состояния тормозной системы на силовых роликовых стендах, достоверность полученного результата не дает 100% гарантии, тормозной эффективности АТС и его устойчивости при торможении на дороге. Оценка эффективности рабочей тормозной системы в дорожных условиях осуществляется по таким показателям как: установившееся замедление, время срабатывания тормозной системы и тормозной путь. Значимое влияние на показатели эффективности тормозной системы оказывают состояние элементов и механизмов самой системы, качество и состояние дорожного покрытия, а также характеристики и состояние эластичных шин. Первоочередным параметром, влияющим на

показатели тормозной эффективности АТС является – коэффициент сцепления.

При выполнении процедуры технического осмотра автомобиля, выполняется контроль состояния тормозной системы. От качества выполнения данной процедуры зависят жизни и здоровье водителей, пассажиров и других участников дорожного движения. Согласно «Техническому регламенту о безопасности колесных транспортных средств», при проведении процедуры технического осмотра АТС измеряется остаточная высота рисунка протектора беговой дорожки шины. Минимальные значения остаточной высоты рисунка протектора шины по категориям АТС приведены в таблице 1 [2]. В тоже время нет достоверных данных о влиянии величины износа рисунка протектора эластичной шины на реализованный коэффициент сцепления.

Таблица 1 – Значения величины остаточной высоты рисунка протектора по категориям АТС

Категория АТС	Минимальная остаточная высота рисунка протектора
L	0,8 мм
N2, N3, O3, O4	1,0 мм
M1, N1, O1, O2	1,6 мм
M2, M3	2,0 мм

Для поиска ответа на данный вопрос, было приобретено несколько комплектов шин модели BridgeStone Sneaker типоразмера 185/70 R14 с разной остаточной высотой рисунка протектора беговой дорожки шины (Рис. 1).

Ранее проведенные исследования по изучению влияния износа протектора беговой дорожки шины на величину создаваемых тормозных сил автомобилем Nissan Sunny FB15 на стенде СТМ-3500, выполненные на кафедре «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета позволили выявить снижение удельной тормозной силы на 35%, при увеличении износа протектора беговой дорожки шины от 10% до 90% для шин модели BridgeStone Sneaker типоразмера 185/70 R14 (Рис. 2 и 3) [3].



а)

б)

Рисунок 1 - Шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S:
а) шина с износом 10%; б) шина с износом 90%

Данные комплекты шин, представленные на рис. 1, поочередно устанавливались на автомобиль Nissan Sunny FB15, а также на АТС устанавливали прибор измеритель эффективности тормозных систем, методом дорожных испытаний «Эффект-02» фирмы МЕТА (Рис. 2).



а)

б)

Рисунок 2 - Прибор «Эффект-02»:
а) общий вид прибора; б) прибор, установленный на переднем стекле автомобиля

Прибор «Эффект-02» позволяет измерять параметры тормозной эффективности АТС, такие как:

- установившееся замедление $j_{уст}$;
- тормозной путь S_T ;
- время срабатывания тормозной системы $t_{ср}$;
- начальную скорость торможения V_0 .

Для работы с прибором была специально разработана программа, позволяющая в реальном времени выводить в СОМ-порт персонального компьютера значения установившегося замедления $j_{уст}$ в процессе дорожных испытаний тормозной системы (Рис.3) [8].

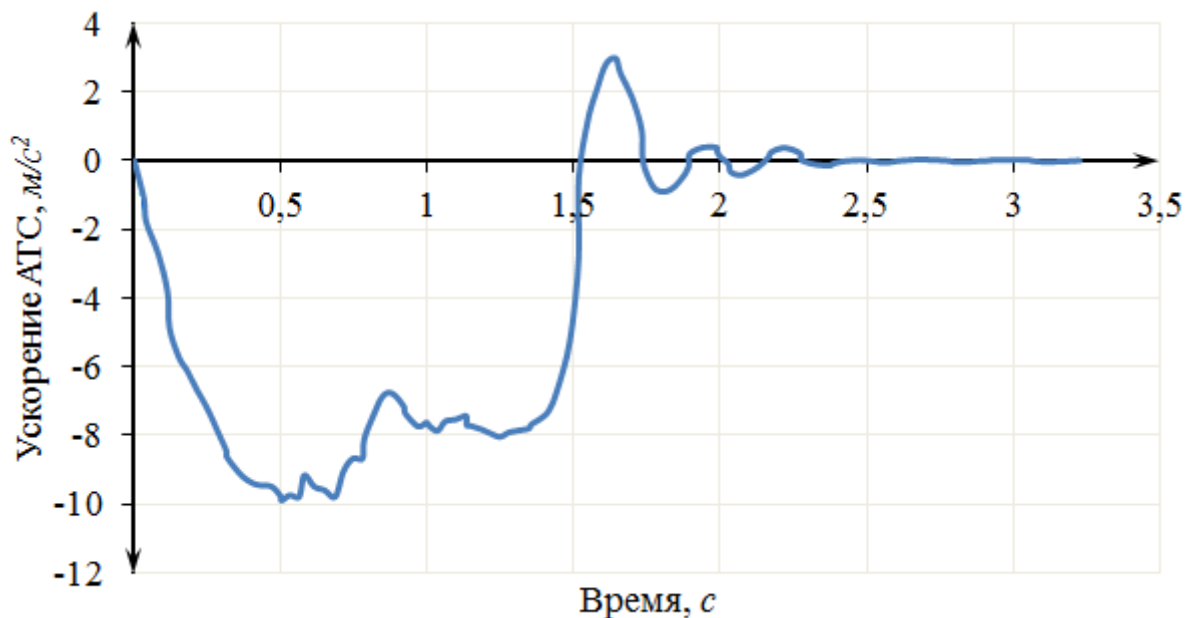


Рисунок 3 - График изменения установившегося замедления АТС в процессе экстренного торможения: масса АТС 1200 кг, температура окружающей среды 4°С, на автомобиле установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70R14 88S с износом 10%, система ABS отключена

Дорожные испытания проводились на ровной, чистой, сухой площадке с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием. Перед началом испытаний давление в шинах устанавливалось на уровне 0,21 МПа. Перед проведением испытаний на автомобиле отключали систему ABS. Испытания проводились следующим образом: автомобиль разгоняли до скорости в 45 км/ч, затем в трансмиссии автомобиля включалась нейтральная передача и во время выбега при снижении скорости движения до 40 км/ч выполняли экстренное торможение до полной остановки АТС. После выполнения экстренного торможения фиксировались значения параметров процесса торможения АТС, отображаемые на экране прибора «Эффект-02», а также сохранялись полученные значения установившегося замедления в реальном времени, отправленные на СОМ-порт персонального компьютера измерителем тормозной эффективности.

Проведенный поисковый эксперимент позволил получить следующие гистограммы распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС (Рис. 4 и 5).

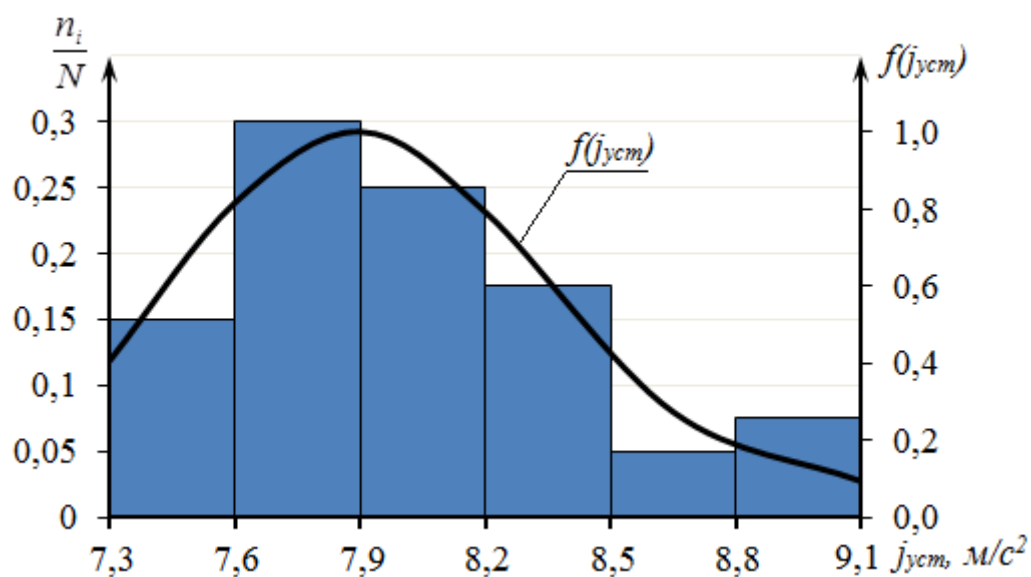


Рисунок 4 - Гистограмма распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС, на автомобиле установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 10%, масса АТС 1120 кг, температура окружающей среды 12°С.

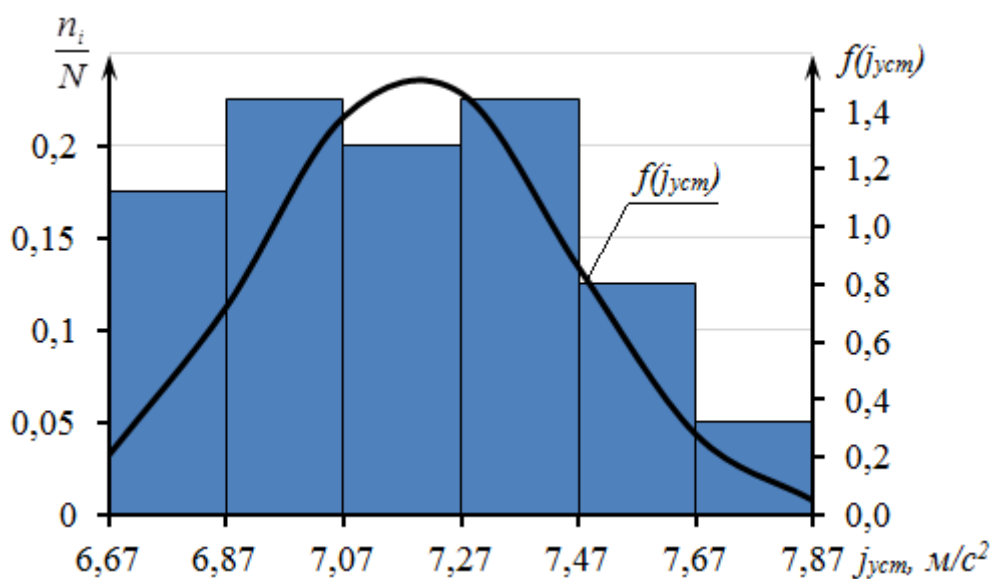


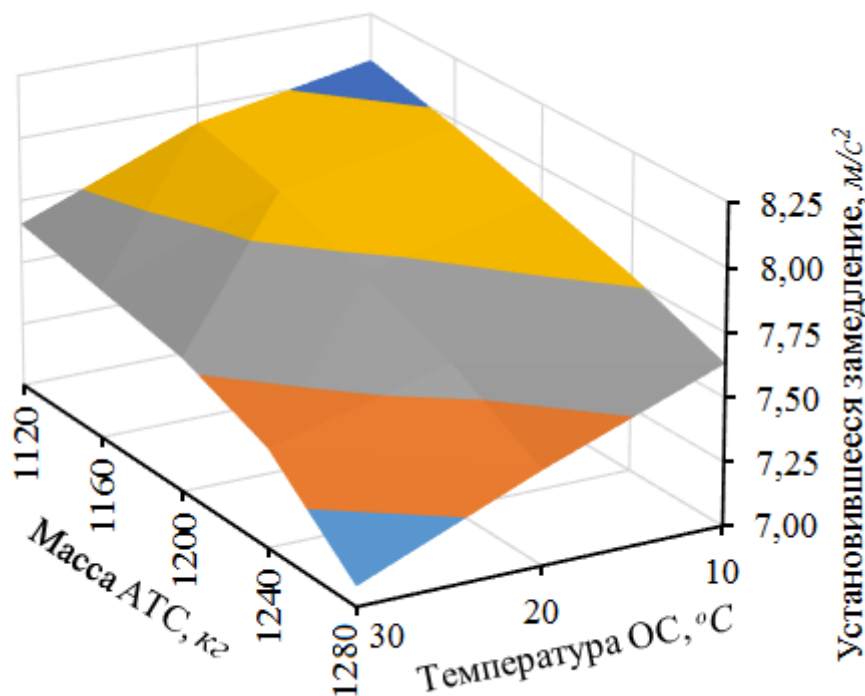
Рисунок 5 - Гистограмма распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС, на автомобиле установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 90%, масса АТС 1120 кг, температура окружающей среды 12°С.

Сравнивая полученные гистограммы видно, что при установке на автомобиль шин, имеющих износ рисунка протектора 90%, в сравнении с установкой шин, имеющих износ рисунка протектора 10%, величина установившегося замедления АТС снижается на 10,5% также, как и величина

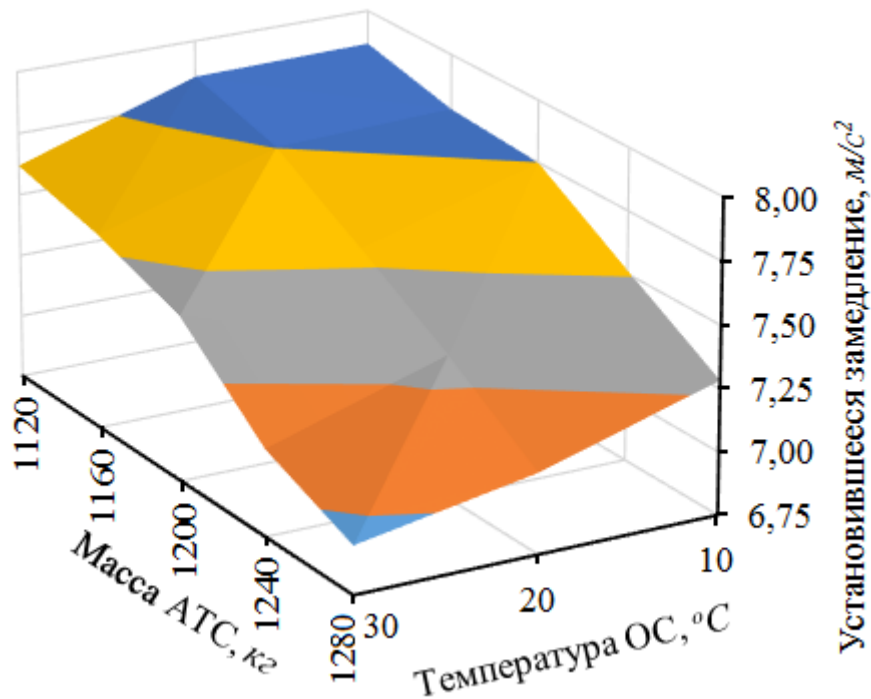
коэффициента сцепления. Математическое ожидание величины установившегося замедления при установке на АТС шин, имеющих износ рисунка протектора на уровне 10% составляет $8,04 \text{ м/с}^2$, а при установке шин с износом рисунка протектора на уровне 90% составляет $7,19 \text{ м/с}^2$, величина тормозного пути S_T при этом составила $7,8 \text{ м}$ и $8,55 \text{ м}$ соответственно.

Проанализировав полученные результаты было решено провести экспериментальные исследования варьируя массу АТС и температуру окружающей среды. Массу автомобиля варьировали в пределах от 1120 кг до 1280 кг с интервалом в 40 кг . По полученным результатам были построены аналогичные гистограммы распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС и дальнейшая их группировка по массе АТС, температуре окружающей среды и величине износа рисунка протектора беговой дорожки шины с дальнейшим построением графиков зависимостей. По результатам экспериментального исследования построены графики зависимости величины установившегося замедления $j_{уст}$ (Рис. 6) от массы АТС при некоторых значениях температуры окружающей среды, и его тормозного пути S_T (Рис. 7) от массы АТС.

Полученные данные свидетельствуют о снижении тормозной эффективности АТС при увеличении износа рисунка протектора беговой дорожки шины, а также коррелируют с полученными ранее результатами [4,5,6,7] и гармонично их дополняют.



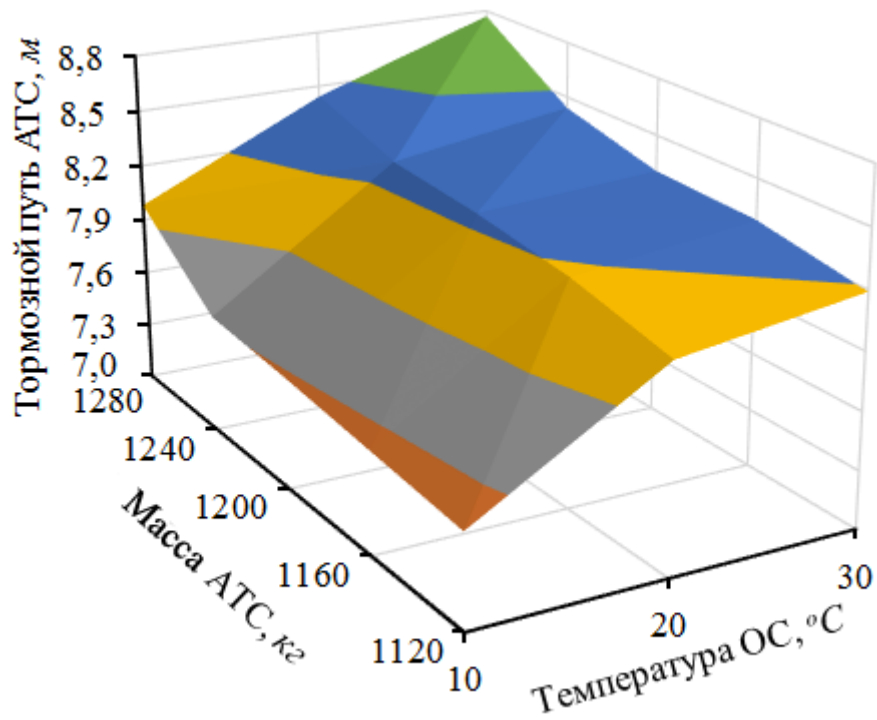
а)



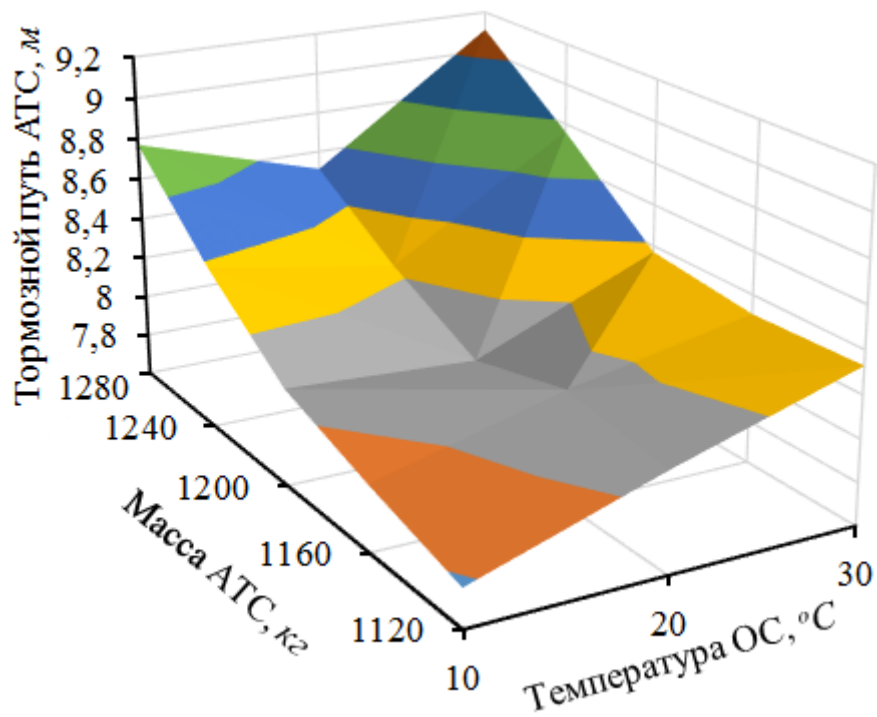
б)

Рисунок 8 - Графики зависимости установившегося замедления $j_{уст}$ автомобиля Nissan Sunny FB15 с шинами BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S, при изменении массы АТС m_a и варьировании температуры окружающей среды t_{oc} , начальная скорость торможения 40 км/ч:
 а) на автомобиле установлены шины с износом $\Delta_{пр}= 10\%$;
 б) на автомобиле установлены шины с износом $\Delta_{пр}= 70\%$

Анализируя полученные графики (Рис. 7) установлено, что при увеличении массы АТС m_a , от его снаряжённой массы в 1120 кг до предельно допустимой массы в 1280 кг, может создавать снижение величины установившегося замедления $j_{уст}$ при экстренном торможении на 10% от значения, полученного при снаряженной массе АТС. Увеличение температуры окружающей среды t_{oc} от 10°C до 30°C может вызывать снижение установившегося замедления $j_{уст}$ на 7,2%. Увеличение износа рисунка протектора $\Delta_{пр}$ от 10% до 70% создает снижение величины установившегося замедления $j_{уст}$ и соответственно коэффициента сцепления φ на 4,5%. Полученные результаты подтверждают и дополняют ранее выполненные исследования, представленные в данной работе.



а)



б)

Рисунок 9 - Графики зависимости тормозного пути S_T при экстренном торможении автомобиля Nissan Sunny FB15 с шинами BridgeStone Sneaker

185/70 R14 88S, при изменении массы АТС m_a и варьировании температуры окружающей среды t_{oc} , начальная скорость торможения 40 км/ч:

- а) на автомобиле установлены шины с износом $\Delta_{np}=10\%$;
- б) на автомобиле установлены шины с износом $\Delta_{np}=70\%$

Анализируя полученные графики (Рис. 8) установлено, что при увеличении массы m_a АТС, от его снаряжённой массы в 1120 кг до предельно допустимой массы в 1280 кг, тормозной путь S_T АТС при экстренном торможении увеличивается от 4,7% до 12,7% от значения, полученного при снаряжённой массе АТС. При увеличении температуры окружающей среды t_{oc} от 10°C до 30°C тормозной путь S_T АТС увеличивается от 9,5% до 10,7% при установке шин с износом беговой дорожки $\Delta_{np}=10\%$, а при установке шин с износом беговой дорожки $\Delta_{np}=70\%$ от 3,9% до 7,1%. Увеличение износа рисунка протектора беговой дорожки Δ_{np} от 10% до 70% может вызвать увеличение тормозного пути S_T АТС до 10%.

В ходе исследований установлено что, *при повышении износа рисунка протектора беговой дорожки шины, увеличении массы АТС и повышении температуры окружающей среды, снижается установившееся замедление АТС* и соответственно коэффициент сцепления эластичных шин с опорной поверхностью тоже снижается.

Полученные результаты дают возможность построить многофакторную регрессионную модель зависимости установившегося замедления АТС от величины износа рисунка протектора беговой дорожки шины, изменения массы АТС и температуры окружающей среды. Они могут быть использованы для уточнения как существующих математических моделей процесса торможения АТС, так и при разработке новых. Полученные результаты в совокупности с ранее полученными результатами [3,7] дают возможность провести анализ и разработать новые высокоинформативные методы контроля технического состояния тормозных систем АТС, а также по результатам стендовых испытаний прогнозировать поведение АТС на дороге.

Список использованной литературы

1. <http://stat.gibdd.ru/> - Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения.
2. Технический регламент таможенного союза №720 «О безопасности колесных транспортных средств».
3. Марков А.С., Бойко А.В., Яньков О.С. Исследование повторяемости результатов измерения тормозных сил на роликовом силовом стенде в зависимости от износа автомобильной шины // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й между-

нар. науч.-техн. конф. (Иркутск, 20–21 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2017. 452-458 с.

4. Пилюшина Г.А., Звонников П.В. Влияние условий эксплуатации автомобильных шин на коэффициент сцепления // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр.; под общ. ред. Е.А. Памфилова. Брянск, Изд-во БГИТА, 2015. Вып. 21. 122 с.

5. Марков А.С., Овчинникова Н.И. Исследование коэффициента трения эластичной автомобильной шины при изменении износа рисунка протектора // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 2. С. 181–189. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-2-181-189

6. Петров М.А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме. Омск: Зап. - Сиб. кн. изд-во, 1973. 224 с.

7. Федотов А.И., Марков А.С., Яньков О.С., Овчинникова Н.И. Влияние износа рисунка протектора беговой дорожки шины на характеристики ее сцепления с опорной поверхностью // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11. С. 216–225 DOI: 10.21285/1814-3520-2017-11-216-225.

8. Портнягин Е.М. Метод контроля тормозной эффективности и устойчивости автомобилей с ABS при их диагностировании на роликовых стендах: дисс. канд. техн. наук. Оренбург, 2009.

УДК 656/05

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРА ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ, НА МЕСТЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ, ДАННЫМ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ СЦЕПЛЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АВТОМОБИЛЯ С ПОЛНОСТЬЮ ЗАТОРМОЖЕННЫМИ КОЛЕСАМИ

С.П. Озорнин , В.Г. Масленников

Аннотация. Изложена методика оценки степени соответствия показаний прибора для оперативного измерения коэффициента сцепления на месте ДТП данным по коэффициенту сцепления, полученным при испытании реального автомобиля. Приведены полученные результаты экспериментов, выполненных на сухом асфальтобетонном покрытии с прибором ПОИКС и результаты экспериментов, проведенных на сухом асфальтобетоне с автомобилем ВАЗ-2108. Для установления степени соответствия показаний прибора данным по коэффициенту сцепления, полученным при испытании реального автомобиля, выполнен корреляционный анализ полученных значений показаний динамометра прибора и полученных значений показаний динамометра при перемещении автомобиля.

Ключевые слова: коэффициент сцепления шин с дорогой, прибор оперативного измерения коэффициента сцепления на месте ДТП.

Сергей Петрович Озорнин - профессор кафедры строительных и дорожных машин, доктор технических наук, профессор, Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30, тел.: 8(3022)417-316, E-mail: s.ozornin2013.s@ya.ru.

Василий Геннадьевич Масленников - старший преподаватель кафедры строительных и дорожных машин, Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30, тел.: 8-914-522-95-22.

Для оценки степени соответствия показаний прибора оперативного измерения коэффициента сцепления (ПОИКС) на месте ДТП (Патент на полезную модель RU 170733 U1 от 04.05.2017), величинам коэффициента сцепления, полученным при испытании реального автомобиля, предварительно выполнены экспериментальные исследования (с прибором и автомобилем) на одном и том же участке дороги. На **рис. 1** представлены: прибор ПОИКС, автомобиль тягач и исследуемый автомобиль ВАЗ-2108.

С прибором ПОИКС эксперименты проводятся следующим образом. Для определения коэффициента сцепления прибор необходимо переместить на расстояние около 1 м (**рис. 2**) и снять значения показаний динамометра на приборе. Это действие выполняется не менее трех раз с тем, чтобы исключить влияние случайных факторов и вывести средний результат [1].



Рисунок 1 - Прибор ПОИКС, автомобиль тягач и исследуемый автомобиль ВАЗ-2108



Рисунок 2 - Прибор ПОИКС переместили на один метр

В результате экспериментов, проведенных на сухом асфальтобетонном покрытии, получены три значения показаний динамометра на приборе, где установленный вес элемента протектора шины с грузом составляет 122,7 Н, а среднее значение показаний динамометра 98,2 Н (табл. 1).

Таблица 1 – Данные показаний прибора ПОИКС

№ эксперимента с прибором	1	2	3	n
Вес элемента протектора шины с грузом G_y [Н]	122,7	122,7	122,7	x
Показание динамометра P_d [Н]	100,5	97,4	96,8	y

Для определения коэффициента сцепления φ используется формула [2]

$$\varphi = \frac{P_d}{G_y} = \frac{98,2}{122,7} = 0,8, \quad (1)$$

где P_d – среднее значение показаний динамометра, Н;
 G_y – вес элемента протектора шины с грузом, Н.

С автомобилем эксперименты проводятся следующим образом. Автомобиль ВАЗ-2108 с полностью заторможенными колесами тянут на буксире, установив между тягачом и буксируемым автомобилем динамометр (рис. 3). Снимают значения показаний динамометра, проводя не менее

трех заездов с тем, чтобы исключить влияние случайных факторов и вывести средний результат [2].



Рисунок 3 - Автомобиль ВАЗ-2108 с полностью заторможенными колесами тянут на буксире, установив между тягачом и буксируемым автомобилем динамометр

В результате экспериментов, проведенных на сухом асфальтобетоне, получены три значения показаний динамометра с автомобилем ВАЗ-2108, при этом вес автомобиля 9800 Н был постоянный, а среднее значение показаний динамометра составило 8000 Н (табл. 2).

Таблица 2 – Данные испытаний автомобиля ВАЗ-2108

№ эксперимента с автомобилем ВАЗ-2108	1	2	3	n
Вес автомобиля ВАЗ-2108 G_a [Н]	9800	9800	9800	x
Показание динамометра P_d [Н]	8000	8000	8000	y

Для определения коэффициента сцепления φ используется формула [2]

$$\varphi = \frac{P_d}{G_a} = \frac{8000}{9800} = 0,816, \quad (2)$$

где P_d – среднее значение показаний динамометра, Н;
 G_a – вес автомобиля ВАЗ-2108, Н.

Значение коэффициента сцепления, полученное с помощью прибора ПОИКС, составило 0,8, а при испытании реального автомобиля 0,816.

Для установления степени соответствия показаний прибора данным по коэффициенту сцепления, полученным при испытании реального автомобиля, необходимо провести корреляционный анализ полученных значений показаний динамометра прибора и полученных значений показаний динамометра при перемещении автомобиля.

При сравнении полученных значений (таблицы 1 и 2) имеет место линейная вероятностная зависимость случайных величин – при возрастании одной случайной величины другая имеет тенденцию возрастать по линейному закону. Коэффициент корреляции характеризует степень тесноты связи линейной зависимости между случайными величинами. Если случайные величины X и Y связаны точной линейной функциональной зависимостью [3, 4]

$$y = b \cdot x + a . \quad (3)$$

Для оценки параметров a и b используем метод наименьших квадратов (МНК), поскольку он дает наилучшие оценки параметров уравнения регрессии.

Требование МНК [3, 4]

$$\sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i)]^2 = \min . \quad (4)$$

Система нормальных уравнений для определения параметров a и b [3, 4]

$$\begin{cases} a \cdot n + b \cdot \sum x = \sum y \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x \end{cases} \quad (5)$$

Для расчета параметров регрессии построена вспомогательная **таблица 3** [3, 4].

Таблица 3 – Данные для расчета параметров регрессии

№	x	y	x ²	y ²	x · y
1	122,7	100,5	15055,29	10100,25	12331,35
2	122,7	97,4	15055,29	9486,76	11950,98
3	122,7	96,8	15055,29	9370,24	11877,36
4	9800	8000	96040000	64000000	78400000
5	9800	8000	96040000	64000000	78400000
6	9800	8000	96040000	64000000	78400000
Σ	29768,1	24294,7	288165166	192028957,25	235236159,69

После подстановки числовых значений из таблицы 3, система уравнений примет вид [3, 4]

$$\begin{cases} 6a + 29768,1b = 24294,7 & (6) \\ 29768,1a + 288165166b = 235236159,69 & (7) \end{cases}$$

Умножив уравнение (6) системы на (-4961,35), получим систему, которую решим методом алгебраического сложения [3, 4].

$$\begin{cases} -29768,1a - 147689962,93b = -120534509,84 & (8) \\ 29768,1a + 288165166b = 235236159,69 \end{cases}$$

Получаем: $140475203,07b = 114701649,84$. Откуда $b = 0,8165$. Коэффициент «а» находим из уравнения (6)

$$6a + 29768,1b = 24294,7$$

$$6a + 29768,1 \cdot 0,8165 = 24294,7$$

$$6a = -10,95$$

$$a = -1,82$$

Полученные эмпирические коэффициенты регрессии $b = 0,8165$ и $a = -1,82$ позволили сформировать эмпирическое уравнение регрессии) [3, 4]

$$y = 0,8165x - 1,82. \quad (9)$$

Параметры уравнения регрессии. Выборочные средние [3, 4]

$$\bar{\tilde{o}} = \frac{\sum \tilde{o}_i}{n} = \frac{29768,1}{6} = 4961,35; \quad (10)$$

$$\bar{o} = \frac{\sum o_i}{n} = \frac{24294,7}{6} = 4049,1; \quad (11)$$

$$\overline{\tilde{o}o} = \frac{\sum \tilde{o}_i o_i}{n} = \frac{235236159,69}{6} = 39206026,6. \quad (12)$$

Выборочные дисперсии [3, 4]

$$S^2(\tilde{o}) = \frac{\sum \tilde{o}_i^2}{n} - \bar{\tilde{o}}^2 = \frac{288165166}{6} - 4961,35^2 = 23412533,84; \quad (13)$$

$$S^2(o) = \frac{\sum o_i^2}{n} - \bar{o}^2 = \frac{192028957,25}{6} - 4049,1^2 = 15609615,39. \quad (14)$$

Среднеквадратическое отклонение [3, 4]

$$S(\tilde{o}) = \sqrt{S^2(\tilde{o})} = \sqrt{23412533,84} = 4838,65; \quad (15)$$

$$S(o) = \sqrt{S^2(o)} = \sqrt{15609615,39} = 3950,9. \quad (16)$$

Коэффициент корреляции. Выборочный линейный коэффициент корреляции рассчитывается по формуле [3, 4]

$$r_{\tilde{o}o} = \frac{\overline{\tilde{o}o} - \bar{\tilde{o}} \cdot \bar{o}}{S(\tilde{o}) \cdot S(o)} = \frac{39206026,6 - 4961,35 \cdot 4049,1}{4838,65 \cdot 3950,9} = 1. \quad (17)$$

Связи между признаками могут быть слабыми и сильными (тесными). Их критерии оцениваются по шкале Чеддока [3, 4]

- 0,1 < r_{xy} < 0,3: слабая;
- 0,3 < r_{xy} < 0,5: умеренная;
- 0,5 < r_{xy} < 0,7: заметная;
- 0,7 < r_{xy} < 0,9: высокая;
- 0,9 < r_{xy} < 1: весьма высокая.

В нашем случае связь между показаниями динамометров (прибора и автомобиля) y и весом (элемента протектора шины с грузом и автомобиля ВАЗ-2108) x , весьма высокая и прямая.

Оценка полученного уравнения регрессии $y = 0,8165x - 1,82$. Подставив в уравнение регрессии соответствующие значения x , можно определить выровненные значения результативного показателя $y(x)$ для каждого наблюдения и рассчитать ошибку аппроксимации. Средняя ошибка аппроксимации – среднее отклонение расчетных значений от фактических [3, 4]

$$\bar{A} = \frac{\sum |\acute{o}_i - \acute{o}_\circ| : \acute{o}_i}{n} 100\% = \frac{0.04735879}{6} 100\% = 0,79\% . \quad (18)$$

В среднем, расчетные значения отклоняются от фактических (полученных на приборе и автомобиле) на 0,79 %, то есть, ошибка меньше 1 %.

Таким образом, применение данной методики позволяет определять степень соответствия показаний прибора ПОИКС (для оперативного измерения коэффициента на месте ДТП), данным по коэффициенту сцепления, полученным на реальном автомобиле.

Список использованной литературы

1. Масленников В.Г. Методика оперативного определения коэффициента сцепления шин АТС на месте дорожно-транспортного происшествия / В.Г. Масленников, Н.С. Замешаев / матер. I Всерос. заочной науч.-практ. конф. «Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация» (Чита 25 - 28 октября 2016 г.) / под общ. ред. С.П. Озорнина. – Чита: ЗабГУ, 2016. – С. 208 – 213.
2. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Б.Е. Боровский. – Л.: Лениздат, 1984. – 304 с.
3. Афанасьева Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента: учеб. пособие / Н.Ю. Афанасьева. – Москва: КНОРУС, 2013. – 330 с.
4. Данко П.Е. Высшая математика в упражнениях и задачах: учеб. пособие для вузов / П.Е. Данко, А.Г. Попов, Т.Я. Кожевникова, С.П. Данко. – 7-е изд., испр. – Москва: АСТ: Мир и Образование, 2014. – 816 с.

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) НА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОИСШЕСТВИЯ

А.Л. Бояршинов, И.И. Ноев, О.А. Ивачева

Аннотация. *В данной статье рассматриваются основные причины ДТП, а также выделены ДТП, в которых имеется влияние дорожных условий. Проведен факторный анализ причинно-следственных связей происшествий на автомобильном транспорте. Представлен анализ статистической информации по происшествиям, совершенные на автомобильном транспорте в Республике Саха (Якутия) в период с 2010 по 2015 годы.*

Ключевые слова: *автомобильный транспорт, дорожные условия, дорожно-транспортное происшествие, безопасность дорожного движения.*

Анатолий Леонидович Бояршинов - кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение» Автодорожного факультета СВФУ, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, зав. сектора эргономики северной техники ФИЦ ЯНЦ СО РАН. 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, E-mail: boyarshinov52@mail.ru.

Иван Иванович Ноев - кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение» Автодорожного факультета, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, E-mail: noev56@mail.ru.

Ольга Александровна Ивачева - старший преподаватель кафедры «Машиноведение» Автодорожного факультета СВФУ. Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, E-mail: kmvadf@mail.ru.

Транспортная безопасность достигается проведением единой государственной политики в области обеспечения транспортной безопасности, системой мер экономического, политического, организационного и иного характера в транспортной сфере.

Произведен анализ транспортных происшествий на основании официальной статистики Управления ГИБДД МВД РФ по РС (Я). Выявлены и исследованы очаги, причины аварийности и транспортные происшествия за исследуемый период 2010-2015 гг.

Особенность климата Республики Саха (Якутия) отражается на транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог, а также

условиях работы автомобильного транспорта. Кроме того, по этой же причине возможно снижение эффективности мероприятий по повышению безопасности движения.

Сеть автомобильных дорог на территории республики имеет протяжённость свыше 30 тыс. км, из которых более половины представлены временными (сезонными) дорогами – автозимниками. Она включает 21,8 тыс. км. (65%) дорог общего пользования, из них с твёрдым покрытием – 7,6 тыс. км.

В зимнее время большая часть автомобильных дорог республики покрыта снежным накатом, у которых покрытием является снег и лед. Сцепление колес с таким покрытием ниже, чем требуется по условиям обеспечения дорожного движения. К этому добавляется короткий световой день, в силу чего движение транспорта, в основном, осуществляется в темное время суток.

В сильные морозы на участках дорог, проходящих по склонам местности и у мостов и труб, опасность для движения представляют наледи – выход около дороги под давлением промерзающего грунта воды, скопившейся за лето в нижнем слое оттаявшего грунта у поверхности мерзлого слоя. Прорываясь на поверхность и быстро замерзая, вода образует наплывы льда, иногда толщиной в несколько метров и площадью в несколько сотен квадратных метров и более. Дорога активизирует образование наледей, так как грунт под ней промерзает быстрее, чем на прилегающей местности. На реках наледи возникают из-за уменьшения площади живого сечения водотоков при промерзании берегов и увеличении толщины льда, который на мелких местах может смерзаться с дном, образуя замкнутые объемы воды.

Преобладающий тип покрытия на автомобильных дорогах Республики является переходной тип покрытия. В дождливый период на поверхности дороги образуется тонкая скользкая пленка грязи, вызывающая заносы при торможении и сползание автомобиля с проезжей части. В жаркую сухую погоду за автомобилями образуется облако пыли, длина которого может достигать сотни метров. Особую проблему это создает при движении грузовых автомобилей, облака пыли поднимаются на высоту 8–11 м. В безветренную погоду от проезда одиночного автомобиля пыль остается во взвешенном состоянии до 1,5-2 мин. Пыль ограничивает фактическую видимость дороги и повышает опасность разъездов при встречном движении.

К числу вызванных неблагоприятными дорожными условиями относят только происшествия, связанные с явно бросающимися в глаза неисправностями дороги или дорожных сооружений – плохим состоянием обочин и мостов (10-12%), отсутствием ограждений, неровностью (25%) или очевидной скользкостью покрытий – гололедом (40%).

По данным А. П. Матросова [4, 1971 г.], дорожные условия являются причиной в 70% дорожно-транспортных происшествий и Научно-

исследовательского центра безопасности дорожного движения МВД не-удовлетворительное состояние улиц и дорог является прямой или сопутствующей причиной в 40-45% всех дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах.

Состояние погоды и атмосферные явления, также могут оказывать влияние на условия совершения ДТП: 76% ДТП были совершены в ясную погоду, 15% в условиях пасмурной погоды, 4% в туман, 2% при дожде, 3% в снегопад (рис. 1). Можно отметить влияние пасмурной погоды, в ее условиях было совершено 18% ДТП с погибшими и 4% ДТП с погибшими произошло в дождь (рис. 2). В случаях с ДТП с ранеными 76% занимает ясная погода, 15% пасмурная, 4% туман, 2% дождь и 3% снегопад (рис. 3).

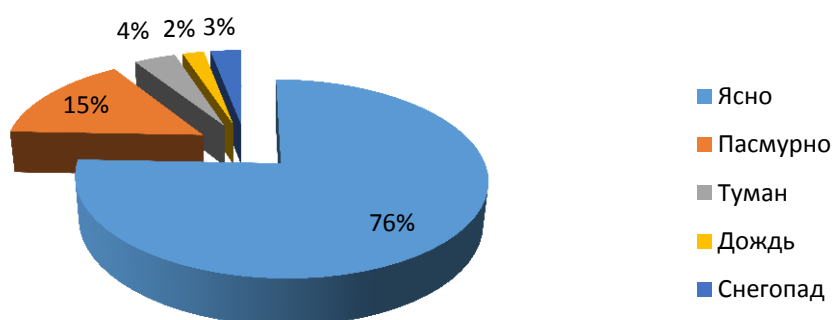


Рисунок 1 - Погодные условия в момент совершения ДТП

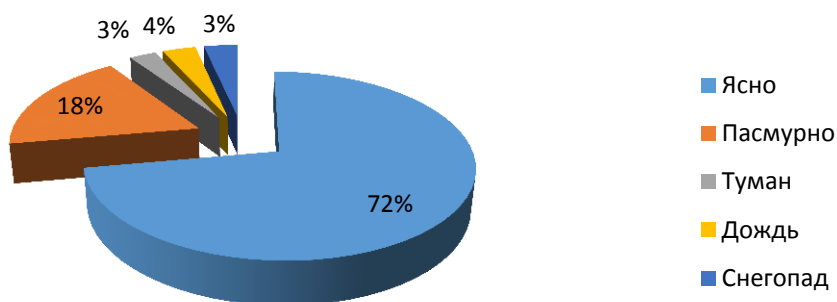


Рисунок 2 - Погодные условия в момент совершения ДТП с погибшими

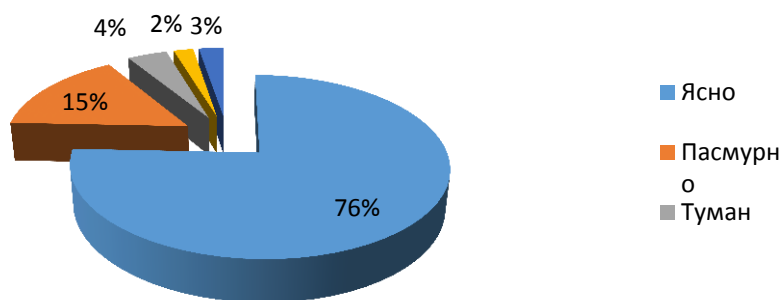


Рисунок 3 - Погодные условия в момент совершения ДТП с пострадавшими

Соотношение состояния покрытия при ДТП с ранеными соответствует распределению общего количества ДТП (рис. 4).

Из проведенного анализа, можно отметить, что повышение смертности в ДТП вызвало состояние покрытия с пониженными сцепными качествами – мокрое и в снежном накате.

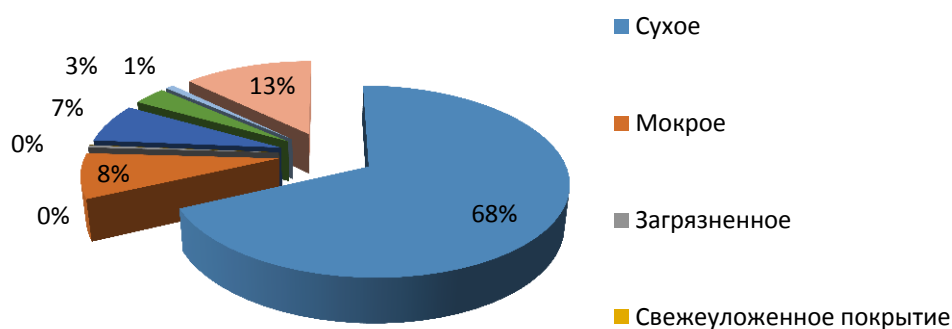


Рисунок 4 - Состояние покрытия при ДТП с ранеными

Анализируя дорожно-транспортные происшествия на автомобильном транспорте, и причин возникновения аварий, зависящих от определенных внешних и внутренних факторов, производилось ранжирование влияния на автомобильный транспорт. Всего для анализа и сравнения выбрано наиболее характерных 16 факторов табл.1

Таблица 1 - Ранжирование факторов влияния на автомобильный транспорт

№	Наименование фактора	Частота ответов, ед.	Доля, %
1	Несоблюдение ПДД	14	17%
2	Состояние автомобильных дорог	12	14%
3	Метеопогодные условия	8	10%
4	Техническое состояние ТС	6	7%
5	Человеческий фактор	5	6%
6	Низкая культура участников ДД	5	6%
7	Профессиональная подготовка кадров	5	6%
8	Неразвитость трансп. инфраструктуры	5	6%
9	Экономический аспект	4	5%
10	Политический	4	5%
11	Природно-климатические	3	4%
12	Дорожные условия	3	4%
13	Низкая правовая культура	3	4%
14	Коррупция	2	2%
15	Недостаточное финансирование	2	2%
16	Социальный	2	2%
		83	100%

Выделяем наиболее характерные Топ-10 факторов для наглядного сравнения и анализа на автомобильном транспорте в табл. 2 и на рис. 5.

Таблица 2 - Топ-10 факторов, имеющих наибольшее влияние на автомобильном транспорте

№	Наименование фактора	Доля, %
1	Несоблюдение ПДД	17%
2	Состояние автомобильных дорог	14%
3	Метеопогодные условия	10%
4	Техническое состояние ТС	7%
5	Человеческий фактор	6%
6	Низкая культура участников ДД	6%
7	Профессиональная подготовка кадров	6%
8	Неразвитость транспортной инфраструктуры	6%
9	Экономический аспект	5%
10	Политический	5%

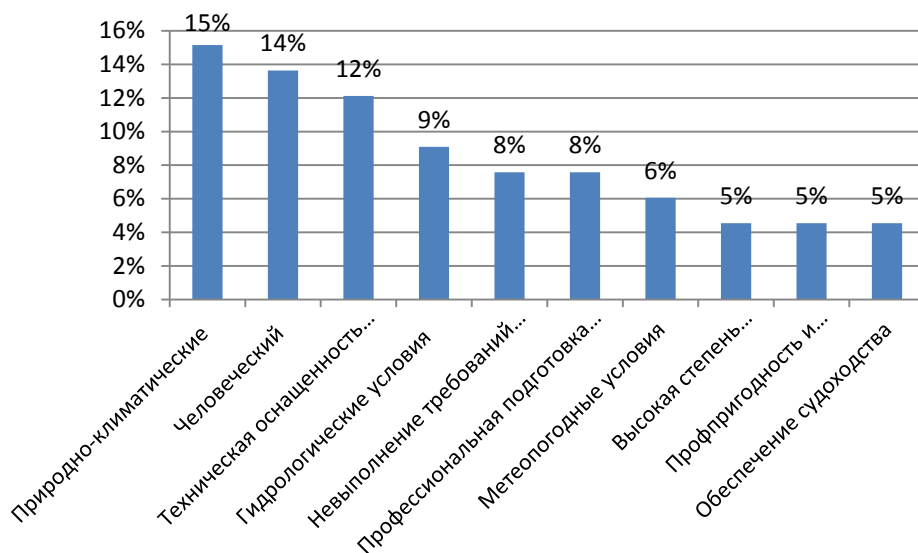


Рисунок 5 - Ранжирование факторов влияния

Осуществлен сбор исходных данных и проведен анализ происшествий на наземном автомобильном транспорте. На основе обобщения полученной информации проведен анализ происшествий на автомобильном транспорте, в частности.

За исследуемый период максимальная численность населения была достигнута в 2011 году и составила 959 030 человек, по данным на 2015 год на территории Республики Саха (Якутия) проживает 956 896 человек. Уровень автомобилизации при этом, в 2010 году составлял 142,4 маш./1000 чел., а к 2015 году уровень автомобилизации вырос на 98% и составил 282,2 маш./1000 чел., доля в количестве общего грузооборота за рассматриваемый период не снижалась ниже 70%, и в 2015 году показатель доли грузоперевозок, приходящихся на автомобильный транспорт составил 81%.

Следуя за увеличением количества автотранспортных средств, наблюдается и рост количества ДТП. За период с 2010 по 2015 годы суммарно произошло 5849 ДТП с пострадавшими, при этом погибло 825 человек и было ранено 7389 человек. В течение года, наибольшее количество наблюдается во второй половине лета. Анализ причин возникновения выявил, что основными виновниками были водители транспортных средств, по их вине произошло 86,74% ДТП. Наибольшее количество ДТП произошло в населенных пунктах, по этим показателям лидирует город Якутск, при этом 35,8% от общего числа за период, совершены на автомобильных дорогах различной принадлежности, наиболее аварийными стали автодороги федерального значения на которых в 1001 ДТП погибло 254 и ранено 1533 человека.

1320 ДТП, что составляет 23% всех за рассматриваемый период, произошли при наличии неудовлетворительных дорожных условий, при

этом погибло 196 и ранено 1591 человек. При этом в 73 случаях гибели и 714 случаях ранения людей фиксировалось неудовлетворительное состояние проезжей части, при гибели 36 и ранении 201 человека фиксировалось отсутствие освещения, 25 человек погибло и 301 было ранено при отсутствии горизонтальной разметки, 16 погибших и 100 раненых при отсутствии дорожных знаков, в случае гибели 44 и ранении 262 человек имели место другие условия.

Из вышеописанного, можно сделать вывод, что имеется влияние дорожных условий на тяжесть последствий ДТП. Однако при осмотре места совершения ДТП, не всегда возможно объективно оценить все условия, а также степень их влияния на вероятность совершения ДТП, а также тяжесть из последствий.

В связи с этим, необходимо провести более детальные исследования в этой области, для определения всех влияющих на вероятность совершения ДТП факторов, а также степень тяжести последствий ДТП.

Список использованной литературы

1. Аналитические данные Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Саха (Якутия).

2. Бояршинов А.Л. База данных по ДТП ФИЦ ЯНЦ СО РАН на основе «Аналитические материалы по линии ГИБДД МВД по Республике Саха (Якутия) за 2010 – 2018 гг».

3. Матросов А.П., Кольцов Г.И., Косенко И.Г. Дороги и безопасность движения автотранспорта. Ростов-на-Дону, 1972. – 78 с.

4. Бояршинов А.Л., Романов В.В. Криминологическая характеристика дорожно-транспортных происшествий по г.Якутску РС (Я) за 2007 – 2016гг. // Труды Оренбургского института (филиала) МГЮИ. 2018. № 3. С.113-117.

УДК 658.286(571.56-25)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН И ТЕХНИКИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ТОСЭР «КАНГАЛАССЫ»

Д.В. Филиппов, И.И. Ноев

Аннотация. В данной статье рассматривается инвестиционный проект создания универсального испытательного полигона автомобильных шин и транспортных систем в экстремальных природно-климатических условиях эксплуатации. Планируется проведение исследо-

ваний надежности транспортной техники и оборудования в Якутии, в самой холодной обитаемой части планеты.

Ключевые слова: *испытательный полигон, низкие температуры, треки, транспорт, техника.*

Дмитрий Васильевич Филиппов - кандидат экономических наук, декан Автодорожного факультета, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, E-mail: fil_dv@mail.ru.

Иван Иванович Ноев - кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение» Автодорожного факультета, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, E-mail: noev56@mail.ru.

Автомобильная промышленность и компании, производящие транспортную технику проводят испытания своей продукции, прежде чем начать производство. В зависимости от этапа разработки новые модели проходят проверку всего планируемого жизненного цикла, в том числе в экстремальных климатических условиях, чтобы подтвердить или опровергнуть то или иное техническое заявление [1].

Развитие производства автомобилей и его компонентов (шин, агрегатов трансмиссии, тормозных систем) стало строго регламентироваться технико-эксплуатационными требованиями определяющими совершенство конструкций по динамическим, экономическим, эргономическим и другим показателям. Наряду с этим в основу конструкции автомобиля положены требования рационализма и создания перспективных моделей [2].

Для усовершенствования технических характеристик транспортных систем необходимы полигонные испытания максимально приближенные к естественным условиям эксплуатации. В настоящее время в связи с активным освоением новых территорий Северо-Востока России, а также арктической и субарктической зоны актуальным становится эксплуатационная надежность транспортной техники, технологий и их систем [3, 4].

Стремление участия высших учебных заведений и профильных научно-исследовательских центров в процесс технологического развития хозяйствующих субъектов, а также регионов попадающих в зоне районирования Арктики может быть достигнуто путем внедрения инновационных мероприятий проводимых специализированными тестовыми испытательными полигонами, находящимися в экстремально низких климатических условиях и в зоне криолитозоны.

В 2017 году на базе Автодорожного факультета СВФУ принято решение о создании инновационного проекта строительства универсального испытательного полигона автомобильных шин и транспортной техники в

городе Якутске. Для этого проекта было образовано малое инновационное предприятие ООО «Испытательный полигон СВФУ». Основной целью проекта стало строительство универсального испытательного полигона на территории опережающего социально-экономического развития (ТОР) «Индустриальный парк «Кангалассы».

ТОР «Индустриальный парк «Кангалассы» представляет собой многопрофильную производственную и бизнес-площадку. Корпорация развития Дальнего Востока совместно с Правительством Республики Саха (Якутия) и администрацией городского округа «город Якутск» ведут активные работы по созданию инфраструктуры и развитию производственных предприятий на своих площадках.

Важно отметить, что в свое время Главой окружной администрацией города Якутска А.С. Николаевым было принято решение о выделении земельного участка под строительство нового испытательного полигона СВФУ в районе с. Капитоновка площадью 72 га. Ректором СВФУ, главой ОА «город Якутск», директором ООО «Индустриальный парк «Кангалассы» утвержден План мероприятий (Дорожная карта) по реализации проекта строительства Испытательного полигона автомобильных шин в ТОСЭР «Кангалассы» на 2017-2020 годы от 11.05.2017 г. Получено свидетельство, удостоверяющее регистрацию юридического лица в качестве резидента территории опережающего социально-экономического развития от Акционерного общества «Корпорация развития Дальнего Востока» от 03.04.2018 г., также имеется Соглашение №1/Р-152 об осуществлении деятельности на территории опережающего социально-экономического развития с Акционерным обществом «Корпорация развития Дальнего Востока».

Представляем места расположения объектов комплекса испытательного полигона:

- площадка 1 «Полигон» – испытательный полигон с техническим центром;
- площадка 2 «Капитоновка» – гараж спецтехники, центр сервисного обслуживания клиентов Рис. 1.

Поселок Кангалассы находится в северной части административной территории города на расстоянии 43,6 км., время в пути от центра города – 50 минут. Имеется речной причал для судов класса «река-море», пригодный для переработки грузов производственного назначения, в том числе, сырья и готовой продукции. В 25-35 км. расположены Международный аэропорт «Туймаада» и Якутский речной порт. В 10 км проходит автомобильная дорога «Якутск-Намцы», поселок соединен с городом Якутском регулярным автобусным сообщением.

При реализации проекта с получением статуса резидента был предоставлен земельный участок площадью 0,5 га для строительства объектов испытательного комплекса: «Центр сервисного обслуживания техники» и

«Гараж спецтехники» в целях осуществления научной, учебной и производственной деятельности (площадка 2 «Капитоновка»).



Рисунок 1 - Планируемое размещение испытательного полигона в районе пос. Кангалассы (площадка «Полигон»)

Строительство тестовых треков ведется на земельном участке площадью 72 га, предоставленном Окружной администрацией ГО «город Якутск» находящемся в непосредственной близости от «Индустриального парка».

Инициатором проекта были проведены земельно-кадастровые работы (топосъемка, формирование земельного участка, внесение в кадастровый план, корректировка категории земель). На сегодняшний день земельный участок имеет следующие характеристики:

- Кадастровый номер: 14:35:000000:3908;
- Категория земель: земли поселений (земли населенных пунктов) под обеспечение научной деятельности;
- Площадь: 722857 кв. м.

Испытательный полигон представляет собой автомобильную трассу, включающую в себя разнообразные испытательные треки, с различными типами дорожных покрытий, уклонами и поворотами.

Состав объектов испытательного комплекса:

- испытательный полигон (площадка 1 «Полигон»);
- гараж спецтехники (площадка 2 «Капитоновка»);
- технический центр (площадка 1 «Полигон»);
- центр сервисного обслуживания клиентов (площадка 2 «Капитоновка»).

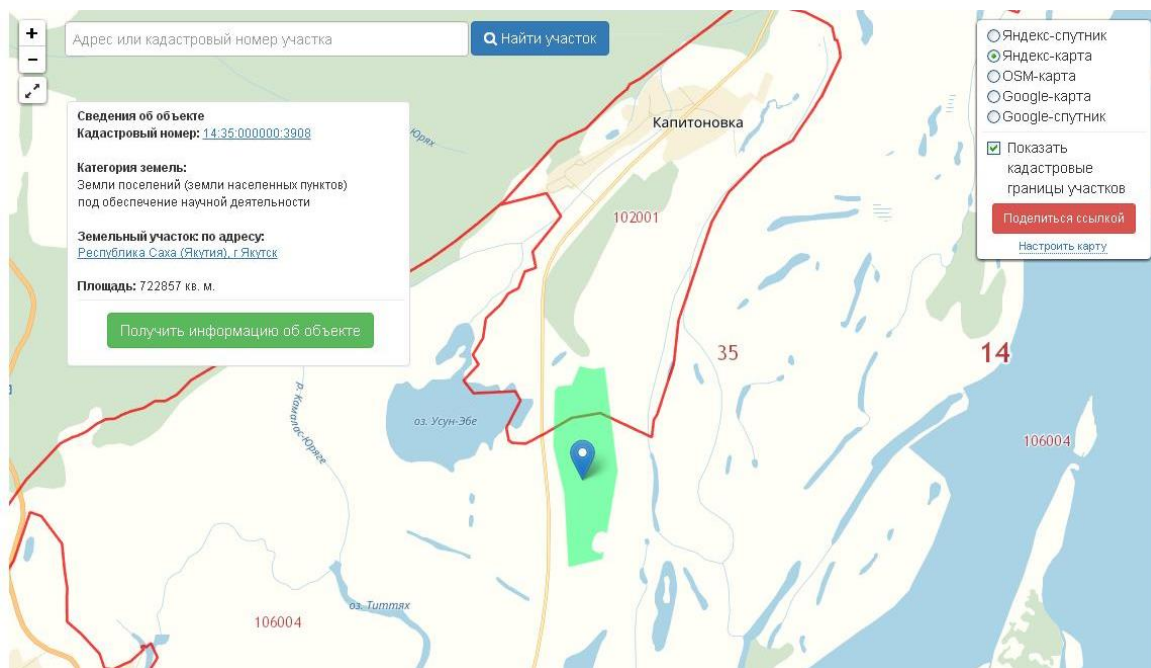


Рисунок 2 - Сведения о земельном участке (площадка «Полигон»)

Таблица 1 - Техничко-экономические показатели: центр сервисного обслуживания техники и гараж спецтехники (площадка 2 «Капитоновка»)

№	Показатель	Значение
1	Площадь застройки	578,22 кв. м
2	Отсыпка под зданием	196,7 кв. м
Гараж спецтехники		
3	Строительный объем	1804,02 куб. м
4	Общая площадь	306,96 кв. м
5	Площадь застройки	309,97 кв. м
Центр сервисного обслуживания клиентов		
6	Строительный объем	1207,13 куб. м
7	Общая площадь	232,60 кв. м
8	Площадь застройки	268,25 кв. м

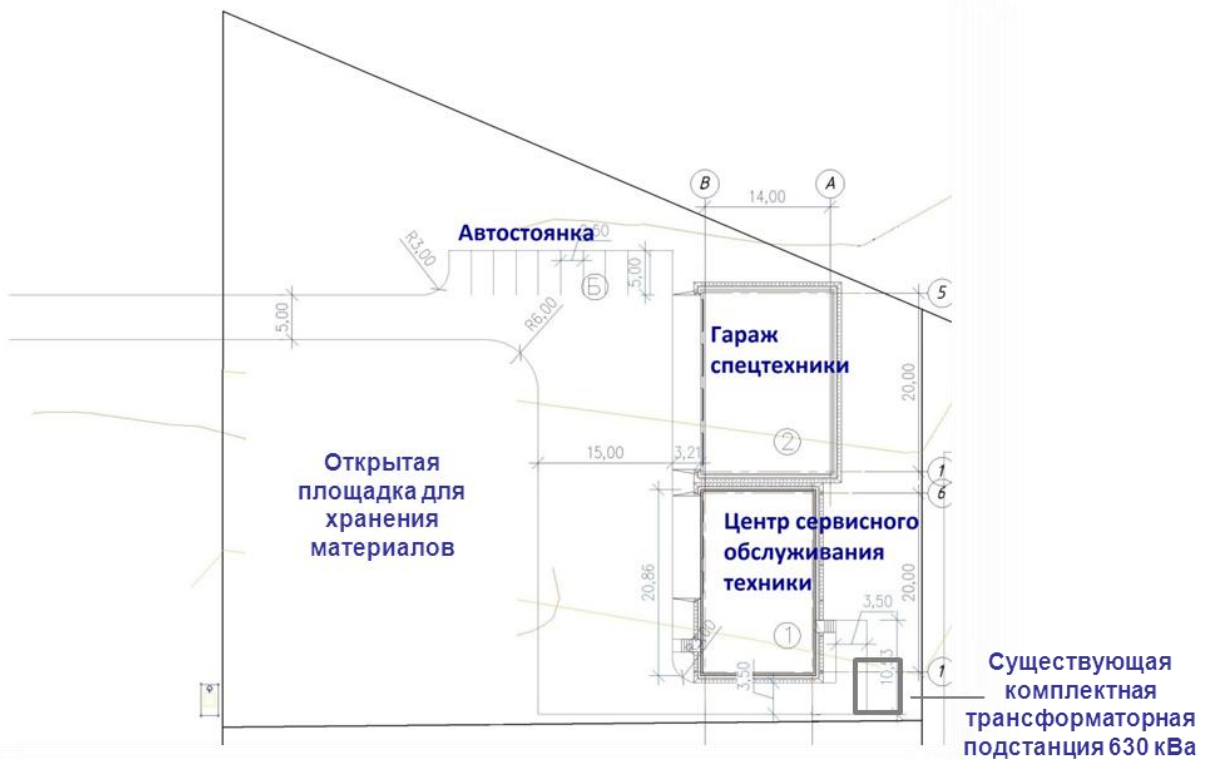


Рисунок 3 - Экспликация зданий и сооружений на площадке 2 «Капитоновка»

Таблица 2 - Техничко-экономические показатели: технический центр (площадка 1 «Полигон»)

№	Показатель	Значение
1	Площадь застройки	194,1 кв. м
2	Площадь проездов и разворотных площадок	786,5 кв. м
3	Протяженность ограждения	171,0 п. м
4	Количество ворот	2 шт.
5	Строительный объем	460,06 куб. м
6	Общая площадь здания	126,1 кв. м
7	Полезная площадь	111,12 кв. м
8	Расчетная площадь	96,85 кв. м

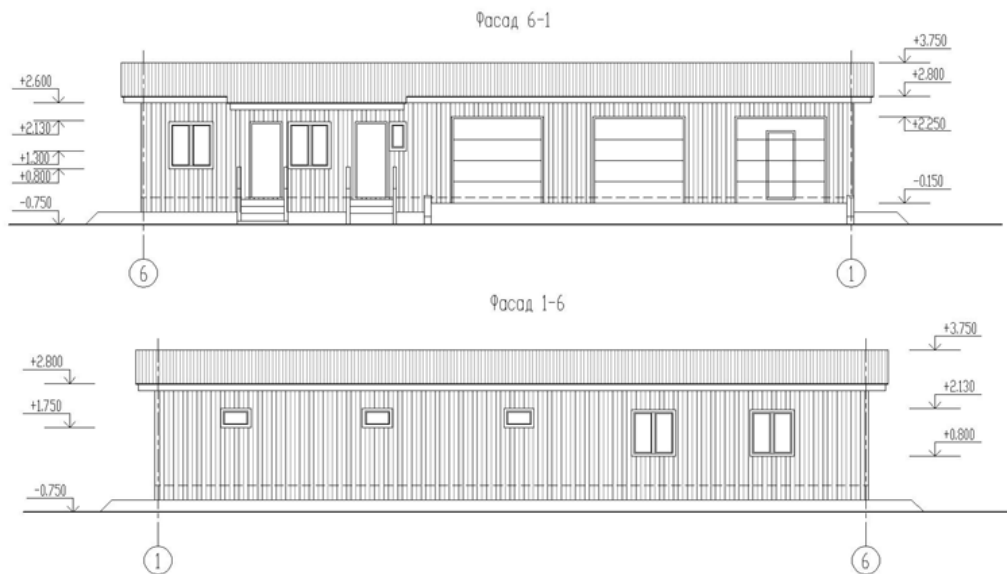


Рисунок 4 - Фасад технического центра

Работы по строительству испытательного полигона включают:

- разбивку и планировку трассы;
- выемку, транспортировку, разработку и уплотнение грунта;
- устройство дорожной одежды из ПГС;
- устройство ограждения, установку дорожных знаков и металлостоек;
- Полигон в стандартном исполнении включает 6 различных треков: 80х30 м, 600х30 м (ледовый), 1000х70 (скоростной), 1842х5 м, 1690х5 м, 830х5 м.

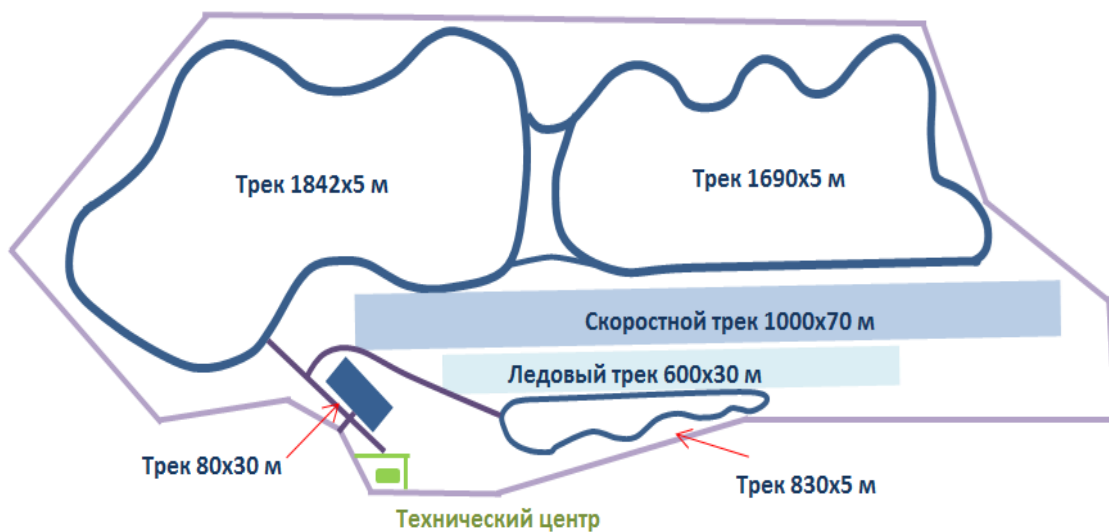


Рисунок 5 - Схема испытательного полигона

Предполагаемая площадь испытательного полигона с техническим центром на территории земель, выделенных администрацией Якутска (площадка «Полигон») – 722857 кв.м.

Основные технические параметры для проектируемого участка дороги приняты по СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги. Планировка и застройка дорог местного значения»:

- расчетная скорость движения – 40-60 км/час;
- ширина полосы движения – 5 м;
- число полос движения – 1;
- тип дорожной одежды – облегченный;
- вид покрытия проезжей части – ПГС (песчано-гравийная смесь).

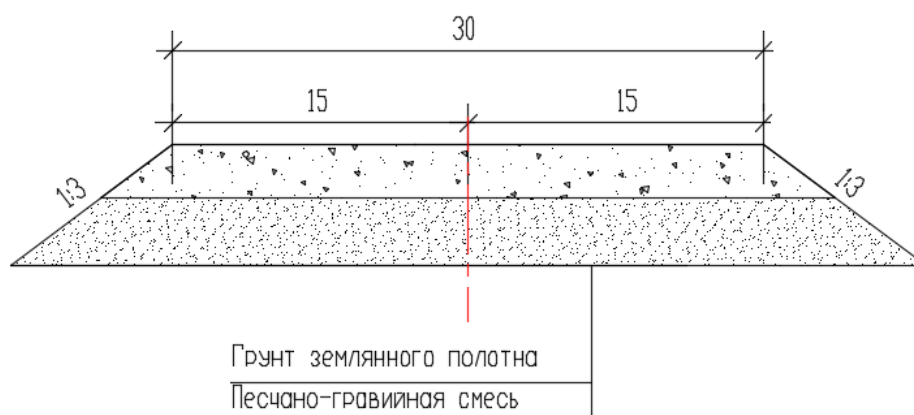


Рисунок 6 - Типовой поперечный профиль дорожного полотна

По состоянию на 01.03.2019 г. проведены большие организационно-подготовительные и строительные работы, в частности:

Организационно-подготовительные: проведено маркетинговое исследование рынка зимних автомобильных шин в РФ, сравнительный анализ климатических условий, осуществлена космическая и топографическая съемка земельного участка (72 га), разработан бизнес план проекта, проведены комплексные инженерные изыскания (инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-экологические) площадки «Капитоновка», разработана проектно-сметная документация проекта.

Общестроительные: завершены общестроительные работы на объекте «Центр сервисного обслуживания техники», смонтированы наружные сети газо и водоснабжения, завершается комплекс отделочных, электротехнических и сантехнических работ, монтаж пожарной сигнализации.

Дорожно-строительные: на объекте «Полигон» отработано 3000 куб. м грунта и песка, 1500 куб. м снега. Построено 4 испытательных трека: 1 – прямой разгонный снеговой 400х30, 2 – криволинейный снеговой 1700х5, 3 – прямой ледовый 100х30, 4 – криволинейный ледовый 850х5.

Комплекс выполненных работ позволил приступить к экстремальным тестам шин уже в первый зимний сезон 2019 года.

Программа годовых работ включает два испытательных цикла весной и осенью продолжительностью 2 недели. В течение 2012-2018 гг. проведено 11 комплексных испытаний автомобильных шин. Январские испытания 2019 года – двенадцатые по счету.

Таким образом, географическое расположение универсального испытательного полигона позволяет тестировать ходовые испытания автомобильных шин и транспортной техники на разных типах заснеженного и ледового полотна в естественных условиях низких температур, также поддерживать внедрение инновационных технологий, которые будут способствовать повышению уровня безопасности на дорогах.

Список использованной литературы

1. Васильев, Н.П. Реализация ТОСЭР - новый импульс в развитии экономики Республики Саха (Якутия) // Социально-экономическое развитие региона : сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. Якутск, 2015. С. 41-44.

2. Испытания колёсных транспортных средств: учеб. пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов. М. : МАДИ, 2018. 124 с.

3. Лазарев, Ю.Г. Разработка типовых решений устройства, оснащения и организации опытно-экспериментальных полигонов / Ю.Г. Лазарев, Е.Е. Медрес, Е.В. Голов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 173-181.

4. Пузанков, А.Г. Автомобили. Основы теории расчета с анализом устройства механизмов и физической сущности их отказов. М.: ИД Альянс, 2013. 560 с.

УДК 629.33-52

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НЕКОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ

С.Р. Кристальный, Н.В. Попов

***Аннотация.** Статья посвящена необходимости введения в Российской Федерации независимой системы рейтинговой оценки безопасности автомобилей RuNCAP. Введение этой системы позволит более полно учитывать российские условия эксплуатации при выставлении рейтинговых оценок пассивной и активной безопасности. RuNCAP будет способствовать более широкому внедрению интеллектуальных систем помощи водителю.*

телю, а также повышению эффективности их действия. Разработку RuNCAP предлагается вести с учетом анализа особенностей статистики ДТП для Российской Федерации. Также в статье представлена стратегия развития RuNCAP на ближайшие годы.

Ключевые слова: RuNCAP, независимая оценка, автоматическое торможение, полигонные испытания.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Николай Викторович Попов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Автомобиль – источник повышенной опасности. Поэтому он подлежит обязательной сертификации. В разных странах сертификация проводится по-разному, но основной принцип остается один: сертификация задает **минимальные** требования к безопасности конструкции и включает в себя проверки автомобилей на соответствие международным и национальным нормативным документам.

Кроме обязательной сертификации с 1997 года появились системы независимой рейтинговой оценки безопасности автомобилей. В первую очередь они стали проверять и оценивать достигнутый уровень пассивной безопасности. С появлением электронных систем оптимизации сцепления шин с опорной поверхностью, таких как антиблокировочная система тормозов (АБС), система электронного контроля устойчивости (ЭКУ), включая противобуксовочную систему (ПБС) и т.п., начали учитывать аспекты активной безопасности автомобилей в их общей рейтинговой оценке.

Наиболее известными системами рейтинговой оценки безопасности являются Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme - Европейская программа оценки новых автомобилей[1]), ANCAP (программа оценки новых автомобилей, продаваемых в Австралии и Новой Зеландии), Latin NCAP (программа оценки новых автомобилей, продаваемых в странах Латинской Америки и Карибского бассейна), ASEAN NCAP (программа оценки новых автомобилей для стран Юго-Восточная Азии), JNCAP (Японская программа оценки новых автомобилей), Global NCAP (международная платформа для сотрудничества между новыми программами оценки автомобилей). Очевидно, что в мире нет единой системы рейтинговой оценки. Национальные и региональные рейтинги имеют опреде-

ленное сходство, но, в то же время, являются сугубо индивидуальными, подходящими для соответствующего рынка.

Помимо систем оценки безопасности существуют также комплексные системы оценки потребительских свойств автомобилей, применяемые, в частности, журналистами популярных автомобильных изданий. Однако полученные результаты существенно зависят от условий проведения тестов, методов, методик, применяемых критериев сравнения.

Для разных стран эти условия, методики и критерии могут существенно отличаться. В частности, условия испытаний для Индии и России явно не могут быть одинаковы. Наиболее популярная европейская система рейтинговой оценки безопасности новых автомобилей Euro NCAP[1] также не может быть применена в России или может быть применена с большим количеством оговорок.

Попытки создать отечественные методики и методы испытаний предпринимались уже давно. В частности, известны попытки создания методик издания «Авторевю» для определения уровня пассивной безопасности автомобилей (ARCAP) [2], ресурса, расхода топлива и других параметров.

В ноябре 2018 года было подписано соглашение между ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), ООО «Авторевю» и ФГБОУВО МАДИ о создании консорциума по формированию рабочей группы для разработки отечественной системы рейтинговой оценки безопасности автомобилей. Новая структура, получившая название RuNCAP, должна будет устранить недостатки, присущие имеющимся системам оценки, а также учитывать российские особенности эксплуатации и факторы, интересующие российского потребителя.

При этом европейский и американский опыт подобных испытаний ни в коем случае не будет отрицаться, а будет использоваться в полном объеме с учётом корректировки условий и устранения выявленных недостатков.

Развитие RuNCAP предполагается начать с систем, характеризующих безопасность автомобиля, не претендуя на первом этапе на оценку его потребительских качеств.

Будет проведена работа по новой расстановке акцентов и учёту весомости элементов, влияющих на общую картину безопасности, характерных именно для России. В частности будет обращено особое внимание на функционирование тех или иных элементов безопасности в темное время суток, при отрицательных температурах воздуха, на неосвещенных дорогах, в грязь, дождь, снегопад, туман и т.д.

При этом недопустимо жертвовать объективностью и достоверностью этих оценок. И в этом заключается основная сложность создания методик испытаний. Стремление к абсолютной объективности приводит к за-

тратам на развитие испытательной и метрологической базы. Развитие RuNCAP потребует пересмотра и существенного расширения испытательной базы центра испытаний НАМИ.

Россия имеет совершенно свою статистику ДТП, совсем не такую как в Европе или в США. Исходя из статистики ДТП, которая начала публиковаться на сайте www.stat.gibdd.ru [3], будут разработаны методики и условия проведения испытаний, характерные именно для России, а, возможно, и для разных ее регионов в отдельности. Пример анализа такой статистики, проведенный по специально разработанной методике на репрезентативной выборке, представлен на рис. 1. Можно отметить, что сравнительно большое число ДТП с пострадавшими и погибшими происходит в тяжелых дорожно-климатических условиях.



Рисунок 1 - Анализ статистики ДТП на территории Российской Федерации в 2018 году (тип ДТП – наезд на неподвижное препятствие)

Первым плодом деятельности рабочей группы RuNCAP стало появление методики определения эффективности действия систем автоматического экстренного торможения (САЭТ)[4]. Эффективность действия САЭТ проверяется в дневное и ночное время с помощью специальной цели, имитирующей заднюю часть автомобиля. Результат выполнения испытаний

оценивается в зачетных баллах. С данной методикой подробно можно ознакомиться на сайте Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ).

В дальнейшем система рейтинговой оценки RuNCAP будет дополнена учётом эффективности действия САЭТ по другим типам целей (пешеходы, велосипедисты), а также, в более отдалённой перспективе, в тяжёлых дорожных условиях (покрытие с низким коэффициентом сцепления, дождь, снег, грязь, туман, ослепление встречным светом фар и т.п.). В дальнейшем планируется оценивать эффективность действия систем помощи при парковке, систем адаптивного круиз-контроля и т.д.

Также в структуру RuNCAP будет введён краш-тест (серия краш-тестов), параметры которого в настоящее время обсуждаются и согласуются заинтересованными сторонами. Условия проведения краш-тестов выбираются с учётом статистических данных, публикуемых ГИБДД в открытых источниках. Также для работы привлекаются дополнительные, специально собираемые статистические данные для формирования и обоснования параметров выполнения тестов на пассивную безопасность.

В отличие от системы сертификации система рейтинговой оценки RuNCAP показывает не только то, что автомобиль преодолел минимальную планку по безопасности конструкции. Она позволит сравнивать реальный достигнутый уровень безопасности различных автомобилей. В перспективе с помощью RuNCAP возможна также оценка и потребительских свойств транспортных средств.

С развитием конструкции автомобиля RuNCAP будет развиваться совершенно гармонично вместе с развитием всей автомобильной индустрии и науки. С появлением новых систем помощи водителю, а также беспилотных технологий, будет совершенствоваться и система независимой рейтинговой оценки. Также по мере изменения дорожной обстановки будут смещаться акценты в оценке безопасности, меняться весомость тех или иных элементов. RuNCAP станет «живой» системой, которая будет постоянно меняться.

Для запуска этой машины нужны существенные инвестиции. Наиболее вероятным источником этих инвестиций может быть государство, так как широкое применение RuNCAP отвечает целям и задачам государства. Однако нельзя не отметить противоречие, которое заключается в отсутствии независимости оценки из-за участия государства в управлении RuNCAP. Здесь на первый план выходит роль профессиональных ассоциаций, и, в частности, Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ). На первых порах RuNCAP будет существовать как комитет при ААИ, который будет утвержден в июне на 107-й конференции ААИ.

Первые программы испытаний RuNCAP опубликованы, и всем предлагается участвовать в их обсуждении и изменении. Первые испытания САЭТ с выставлением рейтинговой оценки по RuNCAP планируются на

май 2019 г. Производители, учитывающие условия испытаний RuNCAP, естественно будут иметь преимущества.

Автопроизводители и импортёры могут выступать против RuNCAP, потому что это заставит их проводить дополнительные испытания и нести соответственно дополнительную финансовую нагрузку. Эти затраты, в свою очередь, неизбежно будут трансформированы в увеличение цены (себестоимости) автомобиля.

Однако мы призываем автопроизводителей ознакомиться с программами и методиками, и принять участие в их конструктивном обсуждении. Широкое конструктивное обсуждение RuNCAP даст возможность его разработчикам принять во внимание мнение производителей, своевременно устранять возможные ошибки и неточности.

Также производители могли бы поделиться опытом в проведении своих оценок безопасности и потребительских свойств автомобилей в рамках конференций ААИ.

Развитие RuNCAP потребует расширения испытательной базы, в том числе для оценки «беспилотников», систем ADAS, новых систем пассивной безопасности. И главной технической службой для этого будет центр испытаний НАМИ.

Заключение

Создание RuNCAP свершившийся факт, и остается только вопрос: в какой форме будет происходить его развитие. RuNCAP позволит получить объективные рейтинги безопасности автомобилей, создаст условия для выхода на новый уровень развития маркетинга автомобильной индустрии. Таким образом, RuNCAP будет претендовать на свою роль в распределении и саморегулировании рынка некоммерческих автомобилей. Развитие RuNCAP однозначно стоит планируемых затрат.

Список использованной литературы

1. About Euro NCAP – URL: <https://www.euroncap.com/en/about-euroncap/>.
2. ARCAP, Autoreview Car Assessment Program – URL: <https://autoreview.ru/arcap/about>.
3. Показатели состояния безопасности дорожного движения – URL: <http://stat.gibdd.ru>.
4. Методика RuNCAP – URL: <http://www.autoengineer.org/runcap1/metodika.html>.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

А.П. Сырбаков, С.В. Речкин, П.М. Бугаев, Н.Н. Бережнов

Аннотация. *Отражено влияние климатических факторов на работоспособность топливоподающей системы мобильных машин в условиях межсезонной эксплуатации, оснащенных дизельными двигателями. Для оценки внешних факторов на изменение температурного состояния топлива в системе питания трактора МТЗ-80, предложен мобильный измерительный комплекс на базе микроконтроллера STM-32Fс возможностью записи измеряемых показателей на съемный носитель. Исследована интенсивность изменения температурного состояния топлива в основных элементах топливоподающей системы дизельного двигателя, в зависимости от внешних факторов.*

Ключевые слова: *отрицательные температуры, темп охлаждения, система питания, измерительный комплекс.*

Андрей Павлович Сырбаков - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и тракторы», Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: (383) 267-38-11, факс: 264-26-00, E-mail: rector@nsau.edu.ru.

Сергей Васильевич Речкин - ст. преподаватель кафедры «Автомобили и тракторы», Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: (383) 267-38-11, факс: 264-26-00, e-mail: rector@nsau.edu.ru.

Павел Михайлович Бугаев - магистрант, Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: (383) 267-38-11, факс: 264-26-00, E-mail: rector@nsau.edu.ru.

Бережнов Николай Николаевич - к.т.н., доцент, доцент кафедры «Агроинженерии», Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, 650056, Кемерово, ул. Марковцева, 5, тел.: 8(3842) 73-43-59, факс: 8 (3842) 73-40-23, E-mail: ksai@ksai.ru.

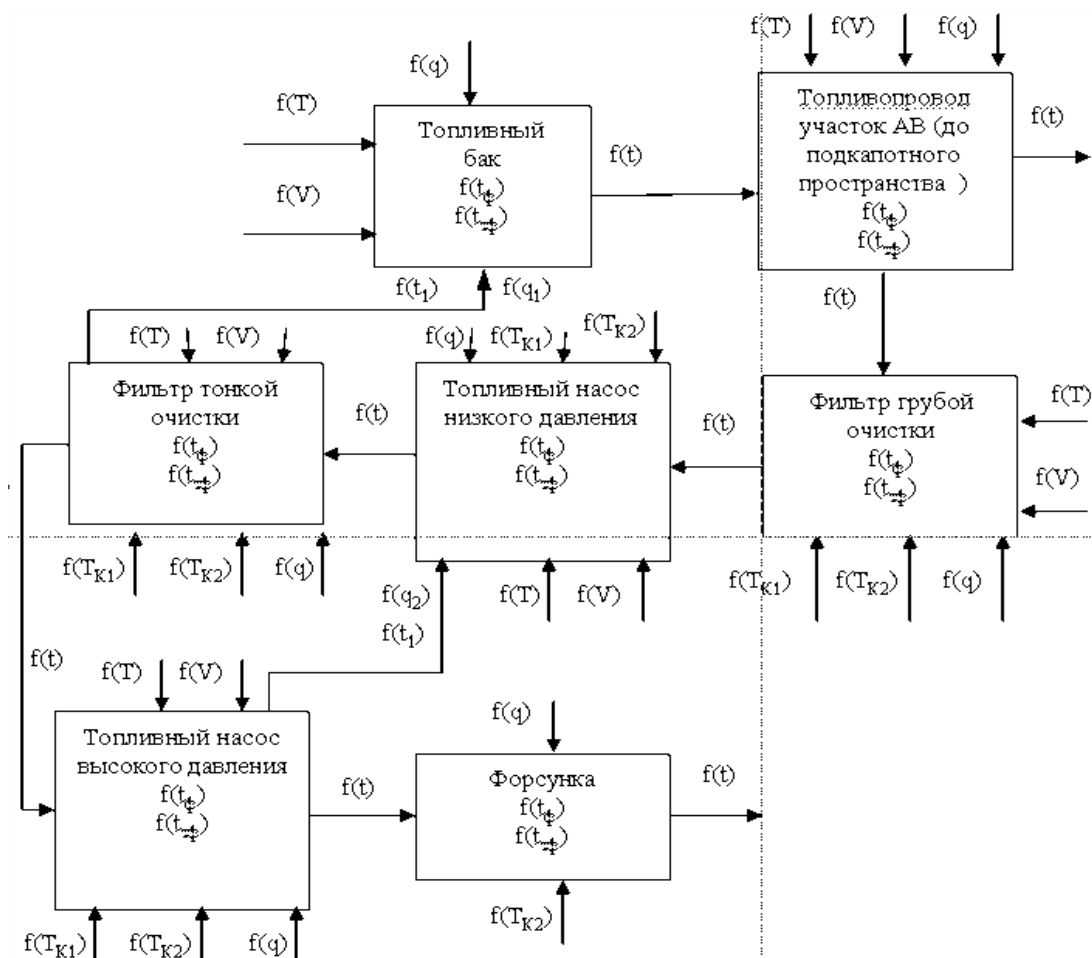
В процессе эксплуатации мобильных машин в зимний период, важное значение имеет работоспособность системы питания дизельных двигателей. Особенно остро данная проблема проявляется в межсезонный период эксплуатации, из-за несвоевременной замены на заправочных станциях

летних сортов топлива на зимние, в связи с тем, что каждая топливная компания индивидуально в каждом регионе устанавливает сроки перехода на зимнее топливо, руководствуясь не только на климатические условия региона, но и на организационные моменты связанные с поставками топлива. В результате данных воздействий возникает ситуация, когда с понижением температуры окружающей среды (сентябрь, октябрь), топливо заправляемое в баки машин не соответствует климатическим условиям эксплуатации, что увеличивает вероятность отказов топливоподающей системы дизельного двигателя, по причине снижения эффективности работы фильтрующих элементов системы питания. Поэтому предлагается с целью объективной оценки влияния внешних факторов на работоспособность топливоподающей системы дизельных машин в условиях пониженных температур, провести научные изыскания.

Хотелось отметить, что автотракторные дизельные двигатели оснащены системой питания, тепловой режим которой не регулируется и определяется воздействием множества факторов (окружающей средой, тепловым состоянием моторной установки, скоростью потока топлива через элементы системы питания и т.д.) [2]. Частичный разогрев топлива в топливоподающей системе (линия низкого давления: фильтр тонкой очистки, фильтр грубой очистки, топливные насосы низкого и высокого давления) происходит в основном за счет температурного поля создаваемого в подкапотном пространстве, который в свою очередь определяется температурным режимом двигателя и степени утепления подкапотного пространства (рис. 1).

Поэтому работоспособность системы питания во многом определяется воздействием окружающей среды на составляющие топливной системы незащищенные от воздействия окружающей среды (топливного бака, питающего топливопровода,). Именно в этих элементах системы питания происходит наибольшее количество рабочих отказов при отрицательных температурах [1].

Тепловые процессы, протекающие в топливоподающей системе дизельных двигателей, относятся к нестационарным, и зависят как от внешних факторов - климатических условий окружающей среды, так и от внутренних – технологических нагрузок, режима и вида выполняемых работ[3]. В связи с этим предлагается для оценки влияния комплекса факторов (климатических, конструктивных, эксплуатационных) на изменение тепловых процессов протекающие в питающей линии системы питания, провести полевые исследования на мобильных машинах оснащенных дизельным двигателем, (на примере тракторе МТЗ-80) с применением измерительного оборудования.

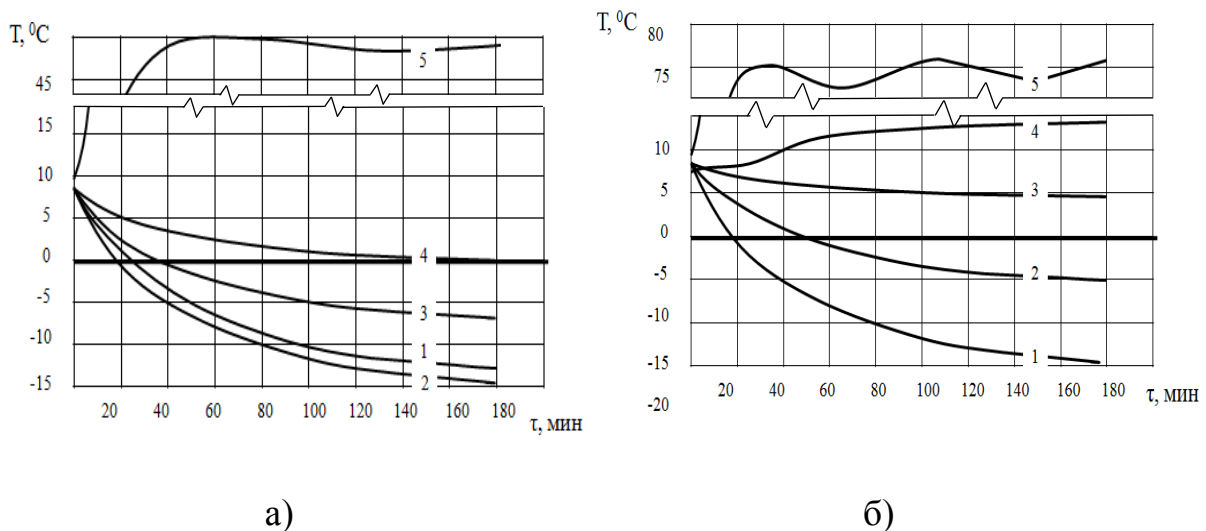


$f(T)$ – Внешнее воздействие температуры окружающей среды;
 $f(V)$ – скорость и направление ветра относительно продольной оси автомобиля; $f(t_\phi)$ – физические свойства топлива (вязкость, плотность);
 $f(t_{\tau\phi})$ – теплофизические свойства топлива (удельная теплоемкость и теплопроводность); $f(t)$ – температура топлива; $f(q)$ – цикловая подача топлива;
 $f(q_1)$, $f(q_2)$ – цикловая подача излишков топлива;
 $f(q_2)$ $f(T_{K1})$ – конвективное воздействие (нагретый воздух);
 $f(T_{K1})$ – кондуктивное воздействие (соприкосновение с нагретыми элементами двигателя).

Рисунок 1 - Схема термодинамического состояния топлива в конструктивных элементах системы питания дизельного двигателя (на примере трактора МТЗ-80)

Для регистрации температуры дизельного топлива и охлаждающей жидкости двигателя, в процессе работы трактора, использовался мобильный измерительный комплекс на базе микроконтроллера STM-32F, цифровых датчиков температуры D18B20 и расходомера жидкости. Измеритель-

ный комплекс располагается непосредственно на тракторе с автономным питанием, информация с цифровых датчиков записывалась непосредственно на внешнюю память микроконтроллера (съёмную карту памяти micro-CD), с последующим анализом записанных данных с применением персонального компьютера в стационарных условиях. В процессе полевого эксперимента трактор МТЗ-80 использовался в рабочем режиме при выполнении вспомогательных работ связанной с транспортировкой и погрузкой навалочных грузов. Исследования проводились в условиях отрицательных температур окружающей среды как с применением утеплительного капота двигателя, так и без утепления. Трактор в межсменный период находился в отапливаемом боксе. Температура окружающей среды находилась в интервале $-17 \dots -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



1 - Топливный бак; 2 - фильтр грубой очистки; 3 - фильтр тонкой очистки; 4 - топливный насос высокого давления; 5 - температура охлаждающей жидкости двигателя.

Рисунок 2 - Зависимость температуры топлива в элементах системы питания от времени работы трактора МТЗ-80:

а - без утеплительного капота двигателя ($T_{\text{ос}} = -18^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{бака}} = 60 \text{ л}$);
 б - с утеплительным капотом ($T_{\text{ос}} = -21^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{бака}} = 60 \text{ л}$)

Полученные результаты полевых исследований (рис. 2) частично подтвердили теоретические предпосылки о влиянии температурного режима двигателя и степени утепления подкапотного пространства на температуру топлива в основных элементах топливоподающей системы дизельного двигателя.

Эксплуатация трактора без утеплительного капота (рис. 2а) не позволяет обеспечивать необходимый температурный режим двигателя, что со-

ответственно снижает технико-экономические показатели двигателя и минимально воздействует на изменение температуры топлива в системе питания. Теплопередача от нагретых частей двигателя к основным элементам топливоподающей системы двигателя, находящихся в подкапотном пространстве, возможна только за счет кондуктивного теплообмена, и определяется в основном площадью контакта соприкасаемых элементов и их местом установки относительно нагретых областей ДВС. Так результирующая температура топлива в головке топливного насоса составила в районе 0°C , а в топливных фильтрах опускалась до отрицательных показателей, а темп остывания топлива в основном определялся начальными значениями температуры в баке, жесткостью климата, конструктивными особенностями и местом расположения относительно нагретых частей двигателя.

Использование утеплительного капота (рис. 2б) двигателя увеличивает температурное поле в подкапотном пространстве, что положительно влияет на рабочую температуру двигателя (зона оптимальных температур) и в тоже время позволяет поддерживать положительную температуру топлива в системе питания на линии низкого давления расположенной в подкапотном пространстве.

При температуре окружающей среды минус 17°C и соответственно температуре охлаждающей жидкости $65...68^{\circ}\text{C}$, температура в фильтре тонкой очистки (ФТО) поддерживается в районе $5...7^{\circ}\text{C}$, в фильтре грубой очистки результирующая температура лишь незначительно опускается ниже 0°C , а головке топливного насоса поддерживается на уровне $12...18^{\circ}\text{C}$.

Как уже было отмечено выше, самыми незащищенными элементами топливоподающей системы являются бак и питающий топливопровод соединяющий бак с ФТО. Температура топлива в данных элементах лишь незначительно отличается от окружающей среды, и в основном определяется теплоаккумулирующими свойствами дизельного топлива, активной площади топливного бака подверженной воздействию окружающей среды, протяженностью и теплофизическими свойствами питающего топливопровода.

Поэтому с целью обеспечения работоспособности топливоподающей системы в условиях отрицательных температур, необходимо обеспечить подвижность топлива в первую очередь в заборном штуцере топливного бака и в питающем топливопроводе различными доступными способами и методами.

Выводы

1. В процессе эксплуатации дизельной техники в осенне-зимний период, наблюдается снижение работоспособность топливоподающей систе-

мы из-за несвоевременного перехода заправочных станций на зимнее топливо соответствующей температурным условиям эксплуатации.

2. Мобильные машины с дизельными двигателями оснащаются системой питания, тепловой режим которого не регулируется.

3. При условии отсутствия на дизельном двигателе утеплительного капота, при начальной температуре дизельного топлива $8 \dots 10^{\circ}\text{C}$ в системе питания (трактора МТЗ-80) и температуры окружающей среды $-15 \dots -18^{\circ}\text{C}$, аккумулированной теплоты летнего топлива достаточно для нормальной работы ДВС в течение $1 \dots 1,5$ часа.

4. Применение утеплительного капота на двигателе позволяет не только поддерживать рабочий температурный режим двигателя, но и обеспечивает эффективный температурный напор внутри подкапотного пространства, достаточный для частичного разогрева топлива в элементах питания находящихся под капотом.

5. Наиболее незащищенными элементами системы питания от воздействия низких температур являются топливный бак, питающий топливопровод, что указывает на необходимость применения в данных элементах различных технологических и конструктивных решений для обеспечения бесперебойной подачи топлива.

Список использованной литературы

1. Крохта Г.М. Особенности эксплуатации тракторов в условиях отрицательных температур: монография / Г.М. Крохта -Новосиб. Гос. Аграр. Ун-т, Инженер. Ин-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – 376 с.

2. Резник Л.Г. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха. Учебное пособие / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков - Тюмень, ТГУ, 2005. - 105 с.

3. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации: Монография / А.Н. Карташев, Г.М. Кухаренок, А.В. Гордеенко, Д.С. Разинкевич: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Мн.: Изд. ООО «Красико-Принт», 2005. – 180 с.

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ (САЭТ)

А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, М.А. Топорков

Аннотация. *В статье описываются особенности функционирования систем автоматического экстренного торможения (САЭТ) на поверхностях с низким коэффициентом сцепления. Кратко рассматриваются существующие методики оценки эффективности действия САЭТ. Делается предположение о возможном снижении их эффективности действия в подобных условиях. Предлагается способ повышения эффективности действия САЭТ, основанный на предварительном прогнозировании коэффициента сцепления колес с опорной поверхностью при помощи механизма нечеткой логики и его дальнейшее уточнение с помощью «контрольного торможения».*

Ключевые слова: *системы автоматического экстренного торможения (САЭТ), системы помощи водителю, коэффициент сцепления, активная безопасность автомобиля.*

Андрей Михайлович Иванов - д.т.н., заведующий кафедрой «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Николай Викторович Попов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Максим Алексеевич Топорков - аспирант кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Введение

В результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежегодно во всем мире погибает 1,2 млн. человек и более 50 тыс. получают травмы

различной степени тяжести. Доля смертельных случаев в результате ДТП составляет 2,2% от общего количества смертей в мире[2].

В период с 2008 по 2017 г. на территории Российской Федерации (РФ) произошло 1,9 млн. ДТП (рис. 1) [1]. В них погибло более 259 тыс. человек и более 1,8 млн. получили ранения. Если в 2008 г. произошло 218322 ДТП, то к 2017 г. этот показатель составил 169432, что говорит о снижении аварийности на 22,4%. Количество погибших в результате ДТП в 2008 и 2017 годах составило 29930 и 19008 соответственно, что составило 36,5%. Несмотря на общую тенденцию по снижению количества ДТП и числа погибших, смертность в результате автомобильных аварий по отношению к общей смертности в РФ остается очень высокой: 10,5% в 2008 г. и около 9% в 2017г.[1]. Данные показатели существенно выше общемировых.

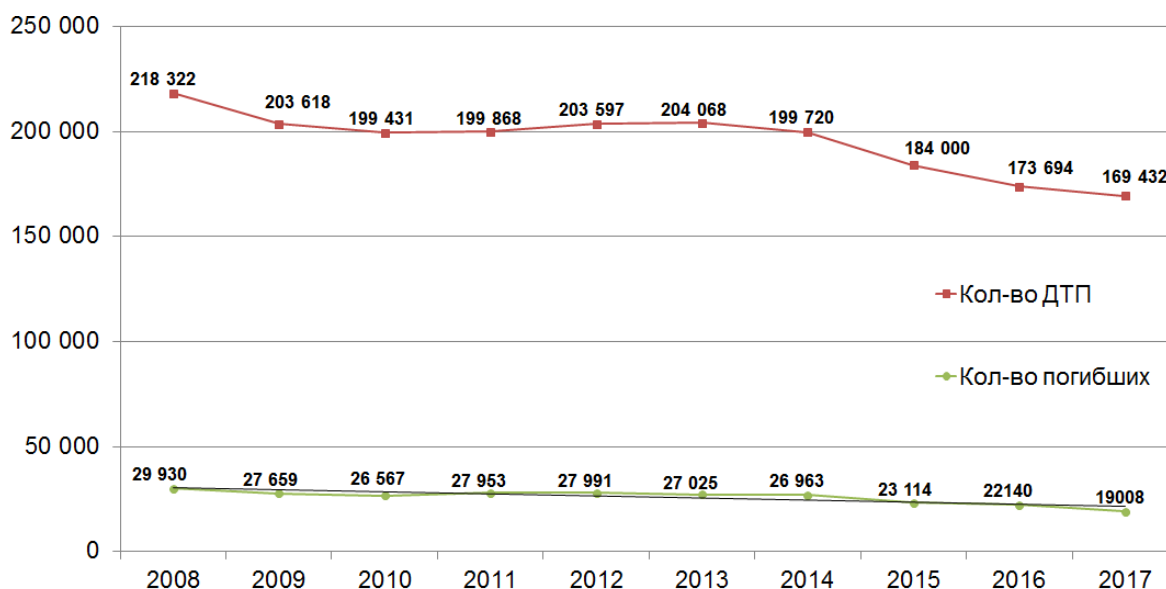


Рисунок 1 - Статистика ДТП на территории РФ в период с 2008 по 2017 г. [1]

Основной причиной ДТП является нарушение правил дорожного движения (ПДД) водителями (порядка 84,7% от всех случаев на территории РФ за 2017 г.). Таким образом, основной причиной возникновения ДТП является «человеческий фактор»: игнорирование ПДД водителями, неправильная оценка текущей дорожной обстановки, отвлечение внимания на посторонние раздражители и т.д. Рассматривая систему «Водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС), можно выделить водителя в качестве ключевого элемента данной системы, который находится во взаимодействии с другими ее компонентами[3]. Исследования в области функционирования ВАДС и влияния ее элементов на уровень БДД, показывают, что в 57% случаев причиной ДТП является человек (водитель). В 27% случаев

причиной ДТП является проблема взаимодействия человека и дороги. В 6% случаев – проблема взаимодействия человека и автомобиля, а в 3% причиной стала проблема сложного взаимодействия человека, автомобиля и дороги[4].

В качестве решения проблемы предложено уменьшить нагрузку на водителя, как в области оценки дорожной обстановки, так и в части его функций управления транспортным средством (ТС). На данный момент сложилась тенденция к дальнейшей передаче функций управления автомобилем от водителя к соответствующим системам.

В настоящее время группа систем, облегчающих управление ТС и повышающих его активную безопасность, объединена под общим названием «AdvancedDrivingAssistance» (ADAS) – «Системы помощи водителю».

Наиболее распространённым видом дорожно-транспортных происшествий являются столкновения и наезды на пешеходов: 46% и 36% соответственно [1]. По результатам исследований, проводимых в рамках Европейской программы оценки новых автомобилей (EuroNCAP) на долю столкновений приходится до 1700 погибших в год в результате ДТП.



Рисунок 2 - Основные виды ДТП, совершенных на территории РФ за 2017 г. [1]

Внедрение систем активного экстренного торможения (САЭТ) является одним из наиболее перспективных путей повышения безопасности движения, поскольку позволит уменьшить аварийность на 38%. Также важен и экономический эффект внедрения данных систем – с уменьшением количества ДТП уменьшится и общий размер страховых выплат.

Основная функция САЭТ – предупреждение водителя и предотвращение столкновения с другим ТС, неподвижным предметом, пешеходом, велосипедистом. Преимущества подобных систем очевидны. Однако возникает вопрос об их эффективности функционирования. На данный момент уже существует несколько методик определения эффективности действия САЭТ, но ни одна из этих методик пока не введена в систему сертифици-

фикации. В РФ работы в данном направлении уже ведутся. Основной недостаток существующих методик определения эффективности действия САЭТ заключается в условиях проведения испытаний, приближенных к «идеальным» – положительная температура воздуха, отсутствие атмосферных осадков, сухое покрытие с высоким коэффициентом сцепления. Эффективность САЭТ может быть завышенной и в реальных условиях эксплуатации ТС, система может оказаться неэффективной, что особенно актуально для РФ.

Методики оценки эффективности действия САЭТ

На данный момент, в мире существует несколько методик по определению эффективности действия САЭТ:

1. Методика Европейской программы по оценке новых автомобилей – EuroNCAP[5];
2. Стандарт ISO 22839:2013[6];
3. Стандарт ISO 15623:2013 [7];
4. Правила ООН №131 [8].

Методика EuroNCAP [5] предусматривает оценку САЭТ по нескольким критериям. Определяется эффективность функции автономного торможения (АЕВ), эффективность функции предупреждения о столкновении (FCW) и человеко-машинный интерфейс (НМИ). Итоговая оценка представляет сумму баллов, начисленных по результатам испытаний отдельных функций САЭТ. Для тестирования функций АЕВ и FCW предусмотрен набор тестовых сценариев. Также предусмотрено применение специального автомобиля-цели (рис. 3).



Рисунок 3 - Автомобиль-цель, предусмотренная методикой EuroNCAP [5]

Испытания по методике EuroNCAP должны проводиться при температуре окружающего воздуха, лежащей в диапазоне: 5 – 40° С на покры-

тии, обеспечивающем минимальный пиковый коэффициент торможения (ПКТ) равный 0,9. Осадки должны отсутствовать. Скорость ветра – менее 10 м/с.

Стандарты ISO 22839:2013 и ISO 15623:2013 устанавливают требования к САЭТ в области эксплуатационных требований и методики испытаний систем предупреждения о возможном столкновении (FVCWS) и систему уменьшения тяжести последствий от столкновения с впереди идущим транспортным средством (FVCMS) соответственно. В данных документах описана методика тестирования данных функций, в частности проверка на устойчивость к ложным срабатываниям.

Испытательные заезды, согласно данным стандартам, могут проводиться при температуре окружающего воздуха: от -20 °С до 40 °С на сухом асфальтобетонном покрытии.

Правила ООН №131 содержат единообразные предписания, касательно систем автоматического экстренного торможения САЭТ (в ранней редакции ОСЭТ), установленных на механических ТС категорий М2, М3, N2 и N3, эксплуатируемых главным образом на магистралях.

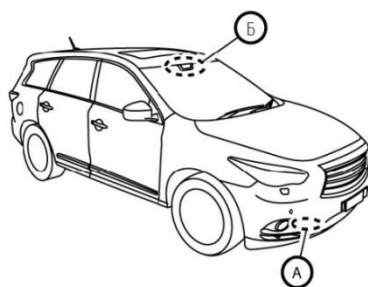
Условия проведения испытаний по данным Правилам сходны с вышеописанными документами. Испытания проводятся на гладкой, сухой, бетонной или асфальтовой поверхности, обеспечивающей оптимальное сцепление. Температура окружающей среды должна составлять от 0 °С до 45 °С.

Все вышеупомянутые методики предусматривают проверку эффективности действия САЭТ при хороших погодных условиях и на покрытиях с высоким коэффициентом сцепления, что не совсем точно отражает реальные условия эксплуатации, особенно в РФ.

Методика экспериментальной оценки эффективности действия САЭТ на поверхностях с низким коэффициентом сцепления

Группой исследователей МАДИ была создана методика экспериментальной оценки эффективности действия САЭТ. Данная методика предусматривает 14 испытательных сценариев, с применением различных типов «целей» и проводимых на поверхностях с различным коэффициентом сцепления. В качестве «целей» были использованы: мягкая стена, макет мотоцикла, велосипед, автомобиль, надувной манекен.

В качестве объекта испытаний был задействован автомобиль Infiniti QX 60 (рис. 4), оборудованный системой Forward Emergency Braking (FEB) - система экстренного торможения при опасности фронтального столкновения с функцией обнаружения пешеходов [11]



А – Радар, Б – камера.

Рисунок 4 - Средства «технического зрения» системы FEB [11]

В результате испытаний САЭТ оценивались:

- развиваемое САЭТ замедление в режиме автоматического торможения;
- величина дистанции до препятствия, на которой подается сигнал предупреждения о столкновении, в зависимости от относительной скорости движения транспортных средств;
- своевременность предупреждения водителя о возможном столкновении;
- реакция САЭТ объекта испытаний на различные типы целей (мягкая стена, велосипед, макет мотоцикла и автомобиль);
- зависимость дистанции срабатывания САЭТ объекта от состояния и типа покрытия.

В результате обработки полученных экспериментальных данных был определен параметр Timetocollision (ТТС) – время до столкновения для различных значений коэффициента сцепления и скорости объекта испытаний. В результате анализа экспериментальных данных был сделан вывод о низкой эффективности САЭТ объекта испытаний на поверхностях с коэффициентом сцепления ниже 0,4.

Пути повышения эффективности действия САЭТ

В качестве одного из возможных путей повышения эффективности действия САЭТ в области адаптации к внешним условиям, предлагается прогнозировать коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью [10].

Для реализации механизма прогнозирования применен аппарат нечеткой логики, в котором задействованы два входа: температура воздуха и интенсивность осадков. В качестве алгоритма нечеткого вывода использован широко распространенный алгоритм Мамдани. Результат реализации данного алгоритма в программном комплексе Matlab представлен в виде поверхности (рис.5).

Поскольку полученная зависимость коэффициента сцепления от внешних условий – лишь прогноз, сделанный с определенной вероятно-

стью, необходимо применение механизма, позволяющего дополнительно уточнить значение коэффициента сцепления. В качестве такого механизма предложено использовать контрольное торможение – кратковременное затормаживание до блокировки колес менее нагруженной оси ТС (рис. 6).

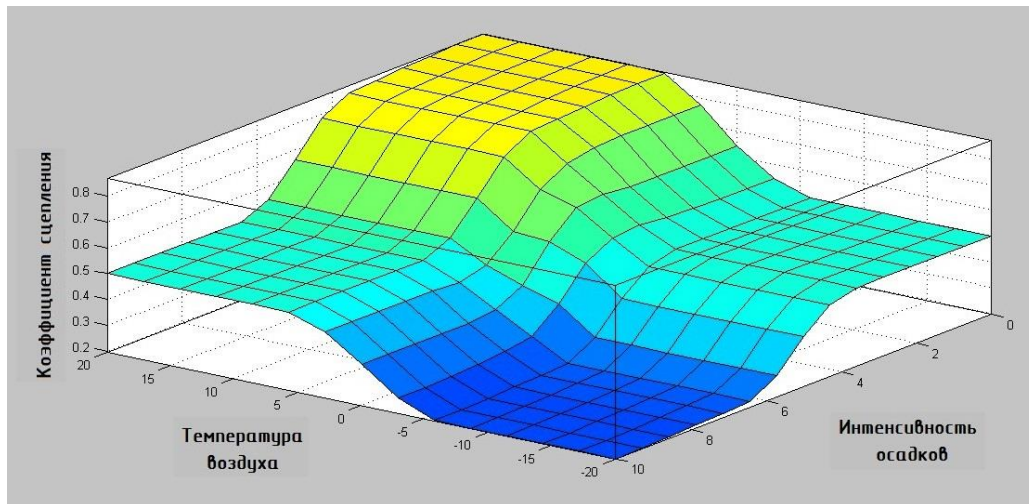


Рисунок 5 - Прогноз зависимости коэффициента сцепления от интенсивности осадков и температуры воздуха

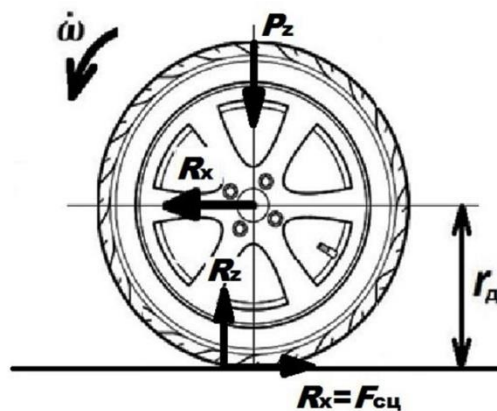


Рисунок 6 - Схема сил, действующих на колесо в тормозном режиме качения

Значение коэффициента сцепления будет определяться по величине силы сцепления колеса с дорогой ($F_{сц}$), которая может быть рассчитана по угловому ускорению колеса

$$\dot{\omega} = \frac{F_{сц} \cdot r_{к}}{J_{к}} = \frac{(\varphi_x \cdot R_z) \cdot r_{к}}{J_{к}}, \quad (1)$$

где $\dot{\omega}$ – угловое ускорение колеса;

J_K – момент инерции колеса;
 R_D – динамический радиус колеса в тормозном режиме;
 R_Z – вертикальная нагрузка на колесо;
 $F_{сц}$ – сила сцепления колеса с дорогой.

Далее, из формулы (1) можно выразить силу сцепления колеса с дорогой ($F_{сц}$)

$$(\varphi_x \cdot R_Z) = \frac{\dot{\omega} \cdot J_K}{r_K}. \quad (2)$$

Момент выполнения контрольного торможения выбирается на основе прогноза коэффициента сцепления. Также контрольное торможение выполняет функцию предупреждения водителя о возможном столкновении. Следует заметить, что данный механизм уточнения, как и алгоритм прогнозирования требует экспериментальной проверки и, возможно, корректировки параметров выполнения манёвра.

Заключение

Выдвинута и экспериментально доказана гипотеза о недостаточной эффективности действия САЭТ на поверхностях с низким коэффициентом сцепления. В качестве меры, позволяющей расширить диапазон эффективной работы САЭТ, предложен алгоритм, включающий в себя этап предварительного прогнозирования коэффициента сцепления с помощью аппарата нечеткой логики, а также этап уточнения прогноза с применением контрольного торможения. Впоследствии данный алгоритм может дополнить алгоритм функционирования САЭТ.

Список использованной литературы

1. Статистика дорожно-транспортных происшествий за 2008-2017 год <https://гибдд.рф> (дата обращения: 14.09.2018).
2. Доклад ВОЗ о состоянии безопасности дорожного движения в мире. – URL: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1 (дата обращения 15.10.2018).
3. Романов А.Н. Автотранспортная психология Учеб.пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Академия, 2002. — 224 с.
4. Курьянова О.Е. Повышение безопасности дорожного движения методами совершенствования системы подготовки водителей транспортных средств / О.Е. Курьянова // Автотранспортное предприятие. - 2014. - № 6. - С. 12-16
5. European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). Test protocol – AEB systems. Version 2.0.1. November 2017. – URL:

<https://cdn.euroncap.com/media/32282/euro-ncap-assessment-protocol-ppv902.pdf> (дата обращения 11.10.2018).

6. ISO 22839:2013 Intelligent transport systems – Forward vehicle collision mitigation systems – Operation, performance, and verification requirements. – URL: <https://www.iso.org/ru/standard/45339.html> (дата обращения 11.10.2018).

7. ISO 15623:2013 Intelligent transport systems - Forward vehicle collision warning systems - Performance requirements and test procedures. – URL: <https://www.iso.org/standard/56655.html> (дата обращения 11.10.2018).

8. Правила ООН № 131. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств в отношении систем автоматического экстренного торможения (САЭТ). – URL: <https://library.fsetan.ru/doc/pravila-eek-oon-n-131-edinoobraznyie-predpisaniya-kasayuschiesya-ofitsialnogo-utverzhdeniya-mehanicheskikh-transportnyih-sredstv-v-otnoshenii-operezhayuschih-sistem-ekstrennogo-tormozheniya-ose/> (дата обращения 30.09.2018).

9. Иванов А.М. Использование прогнозирования коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью для повышения эффективности действия опережающих систем экстренного торможения /А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, М. А. Топорков // Автомобильная промышленность : ежемес. науч.-техн. журн. - 2018. - N 2. - С. 17-21.

10. Иванов А.М. Использование прогнозирования коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью для повышения эффективности действия опережающих систем экстренного торможения /А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, М. А. Топорков // Автомобильная промышленность : ежемес. науч.-техн. журн. - 2018. - N 2. - С. 17-21.

11. Руководство по эксплуатации автомобиля Infiniti QX 60. – URL: <https://www.infiniti.ru/content/dam/Infiniti/Russia/manuals/qx60.pdf> (дата обращения 11.05.2018).

УДК 629.113.001

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН К СОЗДАНИЮ БОКОВЫХ РЕАКЦИЙ НА ДОРОГАХ, ПОКРЫТЫХ ХИМИЧЕСКИМИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

А. И. Федотов, С.М.Гергенов, Н.Ю. Кузнецов

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния химических противогололедных материалов на способность шин к созданию боковых реакций, влияющих на устойчивость и управляемость АТС. В данной работе были использованы стендовые и дорожные методы испытаний шин при ее качении по опорным поверхностям, покрытым химиче-

скими противогололедными материалами. В статье приведена методика исследования по определению стационарных и нестационарных характеристик увода эластичных шин, при их качении по опорным поверхностям, покрытым химическими противогололедными материалами. Эксперименты были получены в стендовых условиях на специальном шинном тестере, разработанном учеными кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального технического университета, а также в дорожных условиях, на шинном тестере, разработанном учеными кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального технического университета и кафедры «Автомобили» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. Результаты экспериментов представлены в виде графиков. Полученные результаты позволяют утверждать, что на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами (ХПГМ) способность шин к созданию боковых реакций резко снижается, что приводит к снижению управляемости и устойчивости АТС на зимних дорогах.

Ключевые слова: шинный тестер, шина, боковая реакция, нормальная реакция, угол увода, нестационарные динамические характеристики, химические противогололедные материалы.

Александр Иванович Федотов - д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», тел.: 8-3952-40-58-53, E-mail: fai@istu.edu, Иркутский национальный исследовательский технический университет, кафедра Автомобильного транспорта, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Сергей Митрофанович Гергенов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел.: +7-902-564-15-51, E-mail: gergenovsm@gmail.com, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, кафедра «Автомобили», Машиностроительный факультет, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40 «В», стр. 1, E-mail: vsgutu-ka@mail.ru.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: Kuznetsov92@mail.ru, Иркутский национальный исследовательский технический университет, кафедра Автомобильного транспорта, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Введение

Автомобиль был и остается самым опасным видом транспорта современности. Опасность автомобиля заключается в том, что этот материальный объект, имея массу до 50 т и более, двигаясь с высокими скоростя-

ми, удерживается на дороге только за счет сил трения колес о её поверхность [5, 1, 11].

Более половины ДТП в России происходит по причине потери автомобилями устойчивости движения и управляемости. Эти важнейшие, с точки зрения обеспечения безопасности АТС свойства, определяются стабильностью контакта их шин с дорогой [10, 11].

Стабильность сцепления шин АТС с дорогой зависит от многих факторов. В том числе от типа и состояния его шин, технического состояния подвески, вида и состояния дорожного покрытия [2, 3, 7, 8, 9, 11]. В частности, отмечается значительное снижение бокового сцепления шин с дорогами, покрытыми ХППМ [1, 6, 7].

Колесо с эластичной шиной, на которое действует боковая сила F_y , будет сохранять устойчивое движение до тех пор, пока выполняется условие вида [11]

$$R_y \leq \sqrt{R_z^2 \varphi^2 - R_x^2}, \quad (1)$$

где R_z – нормальная реакция в пятне контакта шины автомобильного колеса с опорной поверхностью дороги;

φ – коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью дороги;

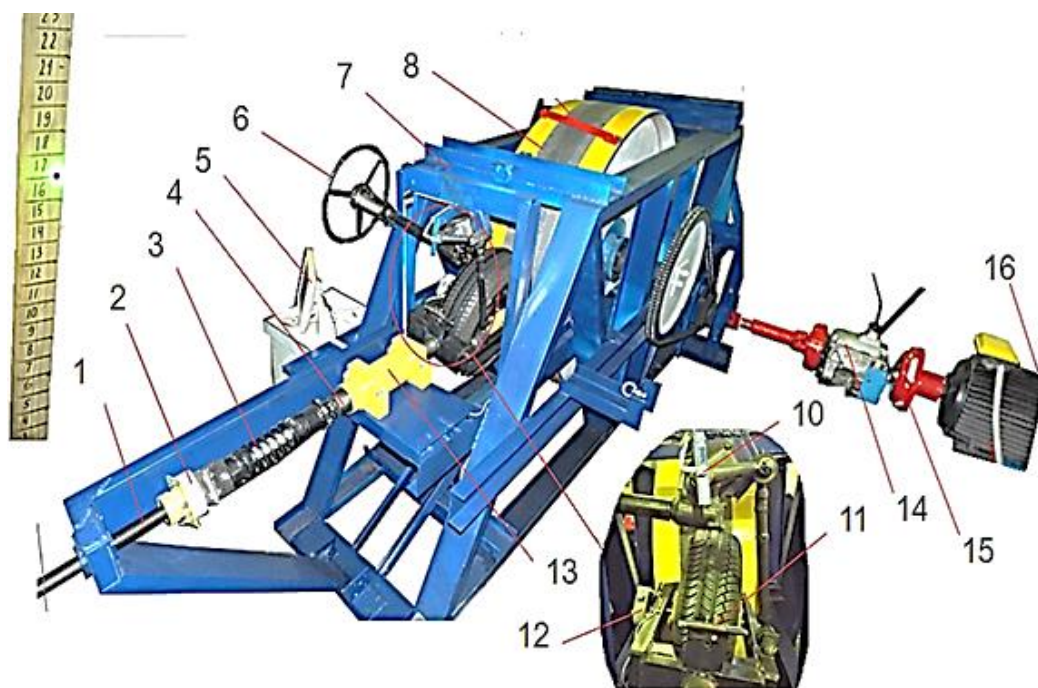
R_y – боковая реакция;

R_z – нормальная реакция.

Параметры, входящие в уравнение (1) можно определить, как экспериментально, так и аналитически [11]. Любое действие на АТС боковых сил обязательно сопровождается качением колес с боковыми углами увода шин. Исследование характеристик увода шин позволят качественно и количественно установить закономерности их взаимодействия с дорогами, покрытыми химическими противогололедными материалами.

С этой целью на базе шинного тестера имеющего систему измерения силовых и кинематических параметров [4], были проведены экспериментальные исследования характеристик увода шин на поверхности, имеющие высокий коэффициент сцепления. Общий вид шинного тестера представлен на рисунке 1.

Экспериментальные исследования характеристик увода шин на поверхности, имеющие высокий коэффициент сцепления были проведены с целью анализа потенциальных сцепных свойств шин при движении колеса с углами увода. На первом этапе, на шинном тестере исследовали как стационарные, так и нестационарные- динамические характеристики эластичных шин.



1 – Нагружающий винт с опорой датчика нормальной нагрузки с подшипником, 2 – датчик измерения нормальной нагрузки ДСТ 9035, 3 – узел пружины с испытуемым амортизатором, 4 – вал вилки, 5 – ПК, 6 – рулевое колесо, 7 – рама станда, 8 – беговой барабан со специальным полимерным покрытием, 10 – датчик регистрации угла поворота колеса, 11 – лазер, 12 – датчик измерения нормальной нагрузки ДСТ 9035, 13 – гильза, 14 – КПП, 15 – сцепление, 16 – электродвигатель.

Рисунок 1 - Общий вид станда для исследования стационарных и нестационарных динамических характеристик эластичных шин, при движении с углами увода

Методы

В процессе стандового эксперимента вначале определяли стационарные характеристики эластичной шины, а затем нестационарные характеристики при неустановившемся угле увода с вариацией скоростей качения колеса по опорной поверхности бегового барабана станда. Такой подход позволил определить *критические углы увода*, при которых происходил срыв пятна контакта шины с опорной поверхностью.

Методика проведения эксперимента по определению стационарных характеристик шин в режиме увода включала:

➤ запускали электродвигатель 16 при выключенном сцеплении 15 (рис. 1);

- при помощи рычага селектора коробки перемены передач (КПП) 14 включали первую передачу и медленно включали сцепление, подводя крутящий момент через КПП и цепную передачу, к беговому барабану стенда;
- путем вращения винта 1 на нагружали колесо нормальной нагрузкой 3000 Н, в результате колесо с испытуемой шиной тоже начинало вращаться вместе с беговым барабаном.
- в течение 15-20 прогревали шину до рабочей температуры методом качения;
- при помощи рулевого механизма дискретно (*с дискретностью 1 градус*) устанавливали углы увода шины автомобильного колеса, доводя угол увода до 17 градусов;
- измеренные сигналы силовых и кинематических параметров процесса регистрировали при помощи программы ZETlab и сохраняли результаты измерений на жестком диске компьютера;
- изменяли нагрузку на колесо и варьируя скоростью, получали результаты измерения параметров взаимодействия шин с опорной поверхностью бегового барабана;
- обработку результатов эксперимента выполняли при помощи программы «Microsoft Excel», получая реальные значения измеренных физических величин;
- по полученным результатам строили графики исследуемых зависимостей;
- выявляли критические углы увода, как значения этого угла при максимальном значении боковой реакции.

Методика проведения эксперимента по определению нестационарных характеристик шин в режиме увода отличалась от приведенной выше методики тем, что в процессе качения нагруженного колеса его угол увода меняли непрерывно от нуля до 17 градусов, а затем обратно от 17 градусов до нуля.

В качестве примера на рис. 2 приведены как стационарные, так и нестационарные характеристики шин модели Michelin 195/65 R15, нагруженных нормальной нагрузкой 2500Н и 3000Н при скоростях 24 и 44 км/час.

Полученные характеристики бокового сцепления показывают, что на покрытиях с высоким сцеплением ($\varphi_{\max} = 0,8 \div 0,9$) значения *критических углов увода* находятся в диапазоне углов 9-13,5 градусов. При этом *снижение фрикционных свойств шины* при больших углах увода (*больше критического*) незначительно и находится на уровне 2-7%.

Значения критических углов увода были сведены в таблицу 1.

Проведение дорожного эксперимента по определению стационарных характеристик шин на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами, выполняли с использованием дорожного шинного тестера [7], разработанного учеными ИРНТУ (г. Иркутск) и ВСГУТУ (г.

Улан-Удэ). Внешний вид шинного тестера для экспериментального исследования сцепных свойств автомобильных шинс дорогой, представлен на рис. 3.

Методика проведения эксперимента по определению стационарных характеристик шин на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами, включала:

➤ последовательно нагружали каждое колесо тестера нормальной нагрузкой 2880 Н, 2320Н и 1800Н, посредством крепления грузов к консолям тестера;

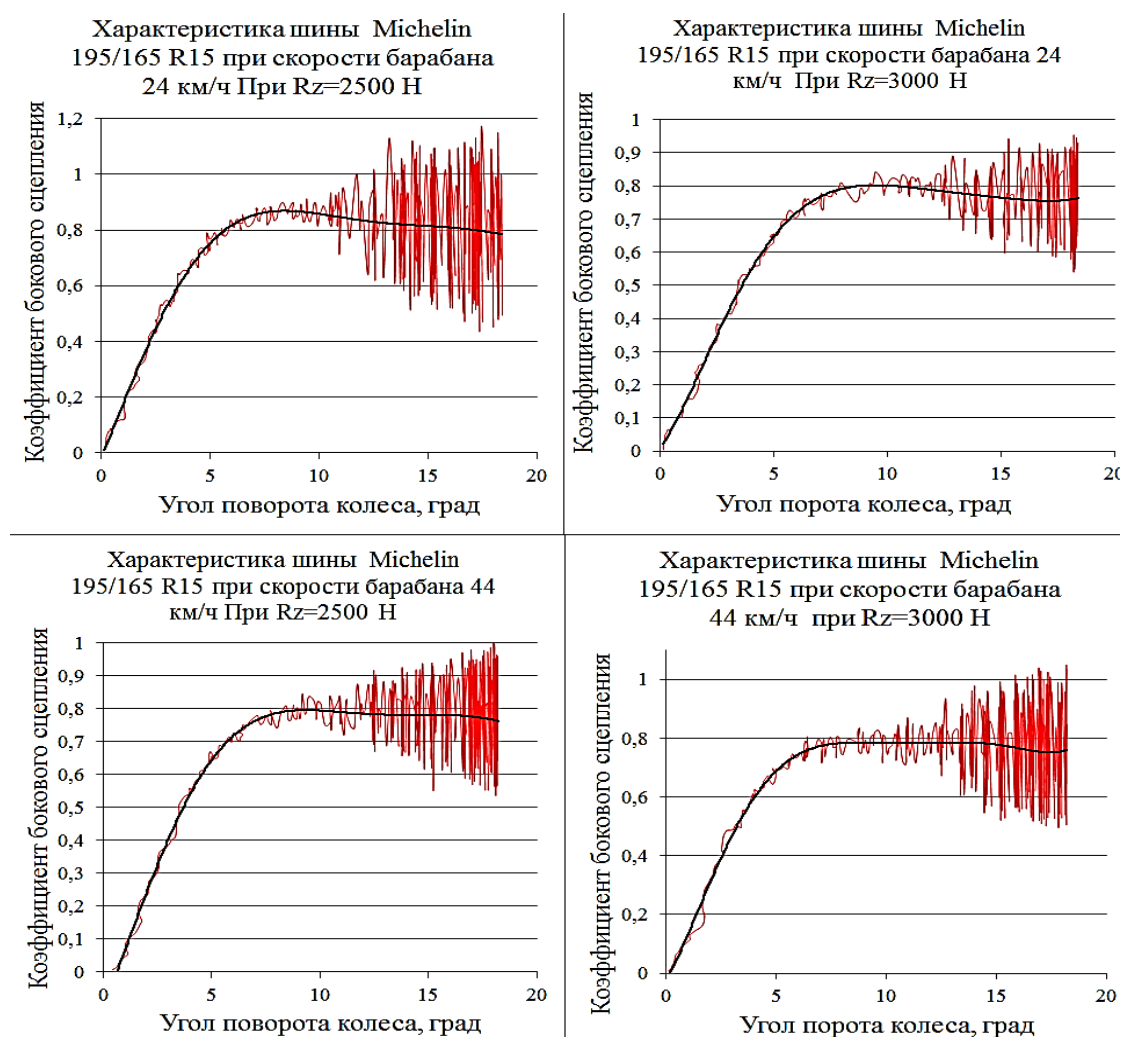


Рисунок 2 - Нестационарные и стационарные характеристики неустановившегося увода шины MICHELIN 195/65 R15, давление в шине $P=0,21$ МПа

Таблица 1 – Значения критических углов

Нормальная реакция, Н	Окружная скорость колеса, км/ч	Критический угол увода, градус
1500	14,4	13,5
2000		12,4
2500		11,3
3000		9,7
1500	24,4	11,3
2000		9,5
2500		8,8
3000		8,2
1500	44,3	9,7
2000		9,2
2500		8,8
3000		7,9



Рисунок 3 - Внешний вид шинного тестера для экспериментального исследования сцепных свойств автомобильных шин с дорогой

- при помощи винтового механизма тестера дискретно (*с дискретностью 1 градус*) изменяли углы увода шин обоих автомобильных колес, доводя их величину до 12 градусов;
- при каждом фиксированном значении угла увода выполняли измерение силовых и кинематических параметров шин при помощи про-

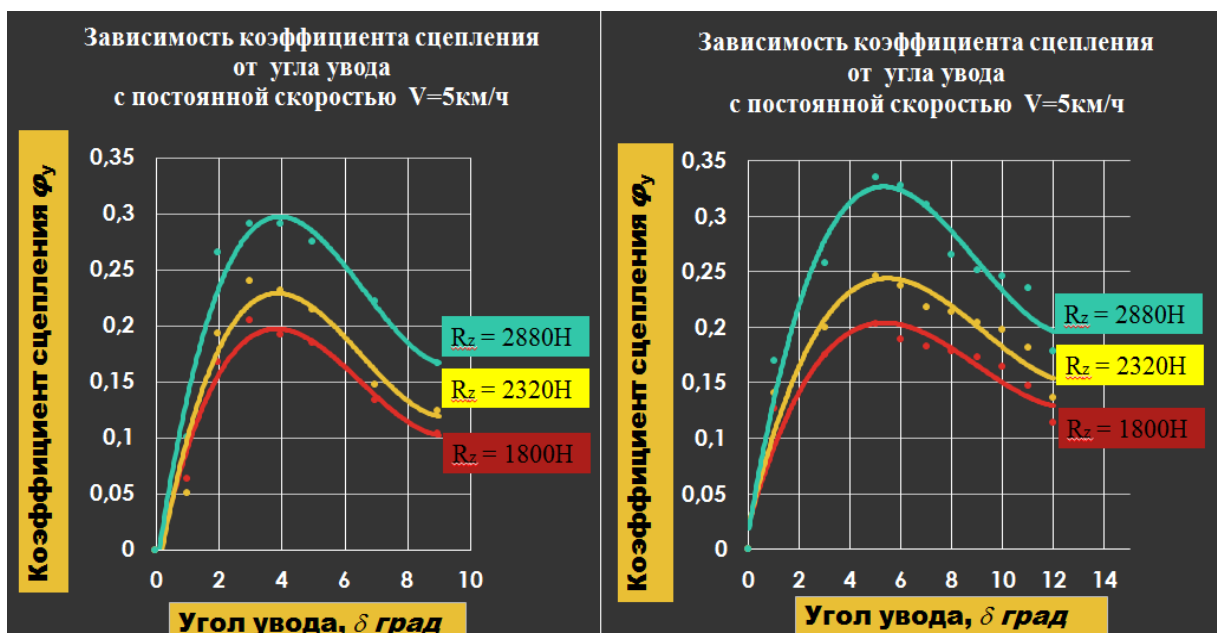
граммы ZETlab и сохраняли результаты измерений на жестком диске компьютера;

- изменяли нагрузку на колесо и, скорость;
- повторяли измерения параметров исследуемого процесса;
- обработку результатов эксперимента выполняли при помощи программы «Microsoft Excel», получая реальные значения измеренных параметров;
- по полученным результатам строили графики исследуемых зависимостей;
- выявляли критические углы увода, как значения этого угла при максимальном значении боковой реакции.

В процессе исследования были получены зависимости коэффициента бокового сцепления шин модели Michelin 195/65 R15, на дороге покрытой сэндвичем с ХПГМ (рис. 4 и 5, а) и рыхлым снегом (рис. 4 и 5, б).

Представленные на рис. 4 и 5 графики убедительно показывают, что способность шин к созданию боковых реакций, на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами, значительно снижается.

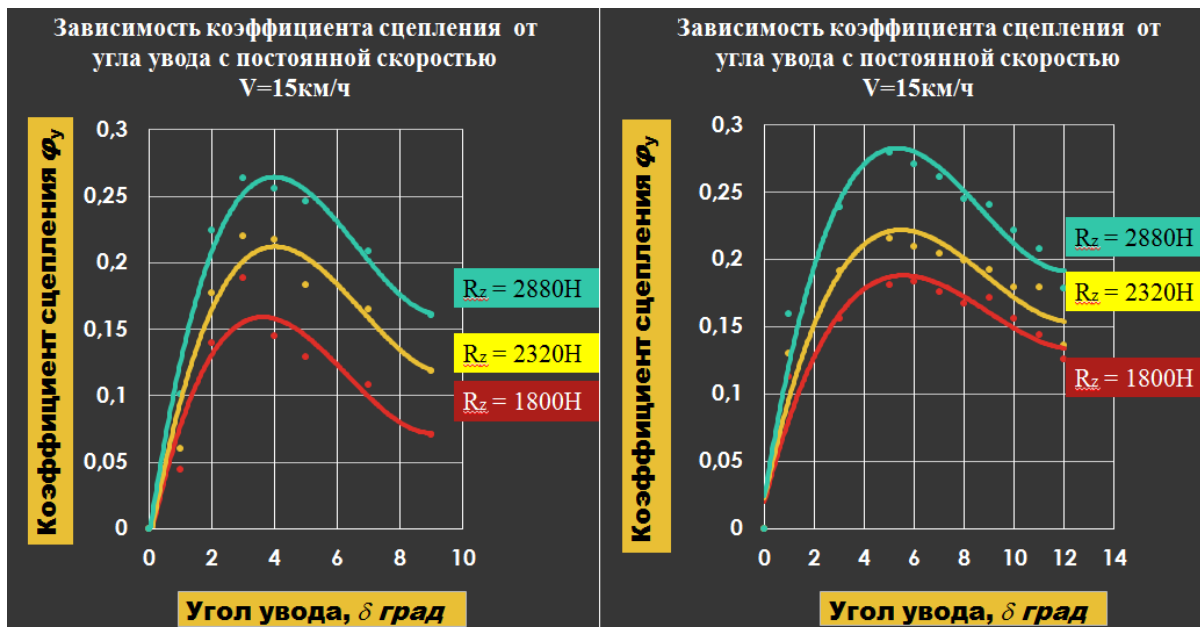
В отличие от характеристик взаимодействия шин с опорными поверхностями, имеющими высокие значения коэффициента сцепления ($\varphi_{y\max} = 0,8 \div 0,9$), характеристики шин на зимнем сэндвиче, и на рыхлом снегу имеют значительные качественные и количественные отличия.



а)

б)

Рисунок 4 - Графики зависимости бокового коэффициента сцепления φ_y шин модели Michelin 195/65 R15 на дороге при скорости 5 км/час:
а- покрытой сэндвичем с ХПГМ; б - покрытой рыхлым снегом



а)

б)

Рисунок 5 - Графики зависимости бокового коэффициента сцепления φ_y шин модели Michelin 195/65 R15 на дороге при скорости 15 км/час:
а - покрытой сэндвичем с ХПГМ; б - покрытой рыхлым снегом

Выводы

Сравнение результатов дорожного эксперимента с результатами стендовых исследований (рис. 2) позволяет утверждать следующее:

- На дорогах с низкими коэффициентами сцепления ($\varphi_{y\max} = 0,15 \div 0,33$), критические углы увода шин уменьшаются до значений 4 – 5 градусов. Что в сравнении с результатами стендовых испытаний на поверхностях с высоким сцеплением ($\varphi_{y\max} = 0,8 \div 0,9$) составляет снижение этого параметра примерно в 2,5 раза;

- На дорогах с низкими коэффициентами сцепления ($\varphi_{y\max} = 0,15 \div 0,33$), фрикционные свойства шин при углах увода больших критического, снижаются очень значительно. Это снижение составляет 32-57%, что очень сильно снижает способность шин к созданию боковых реакций;

Сравнительный анализ результатов исследования способности шин к созданию боковых реакций на дороге, покрытой сэндвичем с ХПГМ, представленных на (рис. 4 и 5, а) с результатами исследования, проведенными на рыхлом снегу (рис. 4 и 5, б) показывают:

- На дороге, покрытой сэндвичем с ХПГМ (рис. 4 и 5, а) максимальные значения коэффициентов сцепления $\varphi_{y\max}$ на 10-12% ниже, чем на рыхлом снегу (рис. 4 и 5, б);

- На дороге, покрытой сэндвичем с ХПГМ (рис. 4 и 5, а) снижение коэффициентов сцепления φ_y в зоне «закритических» углов увода в сред-

нем на 24% ниже, чем их снижение φ_y в зоне «закритических» углов увода на рыхлым снегу (рис. 4 и 5, б).

Результаты исследования убедительно доказывают, что применение на зимних дорогах химических противогололедных материалов значительно снижает способность шин к созданию боковых реакций, а следовательно негативно влияет на устойчивость и управляемость АТС.

Список использованной литературы

1. Федотов А.И., Гергенов С.М. О влиянии химических противогололедных материалов на движение и эксплуатационные свойства колёсных транспортных средств (в качестве обсуждения) Журнал автомобильных инженеров. 2015. № 4 (93). С. 38-41.

2. Mr. Sudarshan Martande, Mr. Y. N. Jangale, Mr. N.S. Motgi. Design and Analysis of Shock Absorber // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM). 2013 г. С. 195-199.

3. SobczakPaweł., Procedure of linear decimation in car suspension diagnosis // Журнал Transport problems, Издательство: PolitechnikaSlaska. 2009 г. С. 105-112.

4. А.И. Федотов, Н.Ю. Кузнецов, А.В. Лысенко, Д.А. Тихов-Тинников Шинный тестер для исследования характеристик эластичных шин при движении колеса с уводом. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 2 (109). С. 123 – 126.

5. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Тормозное управление автомобиля. — М.: Транспорт, 1976. — 193 с.

6. Гергенов С.М., Корчагин В.А., Дарханов Ж.В. Исследования сцепных свойств автомобильных шин. Ползуновский альманах. 2015. № 2. С. 91-95.

7. Дарханов Ж.В., Гергенов С.М., Федотов А.И. Шинный тестер для экспериментального исследования сцепных свойств автомобильных шин с дорогой, покрытой химическими противогололедными материалами. В сборнике: Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации Материалы 99-й Международной научно-технической конференции. Иркутский национальный исследовательский технический университет; под общей редакцией А.И.Федотова. 2017. С. 150-159.

8. Степанов И.С., Покровский Ю.Ю., Ломакин В.В., Москалева Ю.Г. Влияние элементов системы «водитель – автомобиль – дорога – среда и безопасность дорожного движения». Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение». Москва 2011. С 3-4.

9. Федотов А.И., Д.А. Тихов-Тинников, А.В. Лысенко Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации ме-

тодом движения по поперечному уклону. Журнал Автомобильных инженеров №6 2015 г., С 51-53.

УДК 621.873.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ

А.А. Хахов, Н.Н. Панасенко

***Аннотация.** В статье изложены принципы построения расчетных моделей стреловых самоходных кранов в транспортном состоянии. Описан алгоритм динамического анализа автомобильных кранов с телескопическими стрелами методом конечных элементов. Представлено матричное дифференциальное уравнение вынужденных колебаний металлоконструкций кранов. Сформированы матрица жесткости, матрица масс и матрица демпфирования конструкционной системы крана. Рассмотрен один из способов описания возмущающего воздействия продольного профиля дороги на металлоконструкции автомобильных кранов.*

Ключевые слова: автомобильный кран, профиль дороги, метод конечных элементов, матричное уравнение движения, расчетно-динамическая модель.

Алексей Алексеевич Хахов - доцент кафедры «Механика и инженерная графика», Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16, тел.: (8512) 61-41-19, факс 61-43-66; E-mail: astu@astu.org.

Николай Никитович Панасенко - профессор кафедры «Техника и технологии наземного транспорта», докт. техн. наук, профессор, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16, тел.: (8512) 61-41-19, факс 61-43-66, E-mail: astu@astu.org.

Стреловой самоходный кран - [кран стрелового типа](#), который может быть снабжен башенно-стреловым оборудованием и может перемещаться с грузом или без груза, не требуя специальных путей, и устойчивость которого обеспечивается за счет силы тяжести [1]. Из всей группы стреловых самоходных кранов наибольшую численность составляют автомобильные краны. Автомобильные краны собираются на базе шасси серийно выпуска-

емых грузовых автомобилей. На шасси автомобиля устанавливается опорная рама с передними и задними выносными опорами для обеспечения устойчивости при работе крана с грузом и повышения грузоподъемности. На опорную раму устанавливается поворотная рама со стреловой системой. В настоящее время широкое распространение получили автомобильные краны с жестким подвесом стрелы. В состав стрелового оборудования таких кранов входит система телескопических секций стрелы из тонкостенных стержней замкнутого профиля с гидравлическим приводом механизмов.

Автомобильные краны предназначены для механизации погрузочно-разгрузочных и монтажных работ на рассредоточенных объектах, поэтому эксплуатируются в самых разнообразных дорожных условиях. При этом оценить комплексно все многообразие воздействий чрезвычайно сложно, особенно, если принять во внимание, что в зависимости от сезона и специфики региона однотипные дороги могут иметь различные характеристики. При создании и эксплуатации колесной техники оценку проводят не по комплексному воздействию, а по отдельным его составляющим. Основными из них являются: сопротивление движению, сцепление движителя с опорной поверхностью, профиль дорожной поверхности (сечение рельефа дороги в направлении движения автомобильного крана). Профиль дороги делится на три составляющие - макропрофиль, микропрофиль и шероховатость, что обусловлено различным воздействием на колесную машину. Шероховатости (длина волны менее 10 см) сглаживаются шинами и не вызывают ощутимых колебаний, но влияют на работу шины (сцепление, шум и т.д.). Макропрофиль, состоящий из длинных плавных неровностей (длина волны 100 м и более), практически не вызывает колебаний автомобильного крана, но заметно влияет на ее тягово-динамические показатели. Микропрофиль состоит из неровностей (длина волны от 10 см до 100 м), оказывающих определяющее влияние на многие эксплуатационные свойства автомобильных кранов (надежность, устойчивость, плавность хода, быстроходность). Именно микропрофиль дороги определяет нагруженность металлоконструкций автомобильных кранов в транспортном состоянии [2].

При проектировании автокранов на предприятиях расчет крановых металлоконструкций выполняется в соответствии с требованиями РД 24.225.03-90 «Краны стреловые самоходные. Металлические конструкции. Нормы расчета», РД НИИКраностроения-08-07 «Методические рекомендации. Краны стреловые самоходные. Металлические конструкции. Нормы расчета». Расчетные нагрузки автомобильных кранов формируются согласно ГОСТ 32579.1-2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок».

К сожалению, нормативные документы не предусматривают расчет автокранов в транспортном состоянии. Тем не менее, большая часть уста-

лостных трещин в металлоконструкциях автокранов появляется в результате передвижения кранов по бездорожью.

В развитие норм расчета металлических конструкций автомобильных кранов учеными Астраханского государственного технического университета проводятся исследования движения автомобильных кранов в транспортном состоянии. Объектом исследования принят автомобильный кран КС-35715 производства ООО «Ивановский машиностроительный завод АВТОКРАН» (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Автомобильный кран КС-35715 производства ООО «ИМЗ АВТОКРАН»

Автомобильный кран является континуальной системой с непрерывно распределенными параметрами масс и жесткостей и бесконечным числом степеней свободы. Дискретизация конструкции позволяет построить модель исходной системы путем приведения ее к совокупности отдельных элементов с дискретно-континуальными параметрами масс и жесткостей, связанных между собой в точках – узлах. Перемещения узлов принимаются за обобщенные координаты системы и характеризуют перемещения системы в целом. Полученная таким образом модель имеет конечное число степеней свободы. Основная цель динамического анализа заключается в определении характера изменения во времени перемещений системы под действием заданной переменной нагрузки и оценки напряженно-деформированного состояния металлоконструкций. В расчетной практике задача сводится к анализу временных функций изменения состояния выбранных элементов системы. Математическое моделирование динамических процессов в системе позволяет определить взаимосвязанность коле-

баний в крановой системе с вертикальными колебаниями подрессоренной массы на упругих элементах подвески и шинах.

Математическая модель учитывает нелинейные характеристики упругих связей канатов, рессор шасси автомобиля, шин, гидроцилиндра подъема (опускания) стрелы, виброизоляторов кабины, резиновых элементов крановой системы, возмущающее воздействие дороги, микропрофиль которой описывается детерминированной функцией.

Матричное уравнение движения системы с n степенями свободы имеет вид [3]

$$[M]\{\ddot{V}\} + [C]\{\dot{V}\} + [K]\{V\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[M]$ - матрица масс системы, характеризующая действие сил инерции;

$[C]$ - матрица демпфирования, характеризующая рассеивание (диссипацию) энергии;

$[K]$ - матрица жесткости системы, характеризующая действие упругих восстанавливающих сил;

$\{V\}$, $\{\dot{V}\}$, $\{\ddot{V}\}$ - векторы обобщенных перемещений, скоростей и ускорений системы соответственно, характеризующие смещения, скорости и ускорения узлов моделируемой системы в общей системе координат;

$\{P\}$ - вектор внешних (статических и динамических) нагрузок на систему.

Уравнение (1) можно записать в виде

$$[M]\{\ddot{V}\} + [C]\{\dot{V}\} + [K]\{V\} = \{P_c\} - [M]\{\ddot{A}(t)\}, \quad (2)$$

где $\{P_c\}$ - вектор статических нагрузок;

$\{\ddot{A}(t)\}$ - вектор вертикальной составляющей ускорений узлов контакта шин шасси автомобиля с дорожным полотном.

Следуя постановке конечно-элементной задачи, основным этапом расчета сложных пространственных стержневых систем произвольного вида, составленных из тонкостенных стержней, методом конечных элементов в перемещениях является формирование матрицы жесткости отдельного стержня, находящегося в условиях пространственного деформирования в местной системе координат. Стержень считаем конечным элементом с четырнадцатью степенями свободы, пространственное положение которого определяется вектором обобщенных координат его узлов.

Определение потенциальной энергии деформации стержневых конечных элементов позволило сформировать матрицу жесткости тонко-

стенного стержня замкнутого профиля в местной системе координат $oxuz$ при пространственном деформировании, блочно записанную моделью (3), блоки которой приведены в формулах (4) – (6).

$$[K]_{14 \times 14}^{jk} = \begin{bmatrix} [K]_{7 \times 7}^{jj} & [K]_{7 \times 7}^{jk} \\ [K]_{7 \times 7}^{kj} & [K]_{7 \times 7}^{kk} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

$$[K]_{7 \times 7}^{jj} = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ_x}{L^3} & 0 & -\frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & \frac{4EJ_x}{L} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EJ_y}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{6GJ_z}{5L} + \frac{3D}{L^2} \right) & \left(-\frac{11GJ_z}{10} - \frac{3D}{2L} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(-\frac{11GJ_z}{10} - \frac{3D}{2L} \right) & \left(\frac{17GJ_z \cdot L}{15} + D \right) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$[K]_{7 \times 7}^{kk} = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ_x}{L^3} & 0 & \frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & \frac{4EJ_x}{L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EJ_y}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{6GJ_z}{5L} + \frac{3D}{L^2} \right) & \left(\frac{GJ_z}{10} + \frac{3D}{2L} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{GJ_z}{10} + \frac{3D}{2L} \right) & \left(\frac{2 \cdot GJ_z \cdot L}{15} + D \right) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$[K]_{7 \times 7}^{jk} = \begin{bmatrix} -\frac{12EJ_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EJ_x}{L^3} & 0 & -\frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EJ_x}{L^2} & 0 & \frac{2EJ_x}{L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EJ_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EJ_y}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(-\frac{6GJ_z}{5L} - \frac{3D}{L^2}\right) & \left(-\frac{GJ_z}{10} - \frac{3D}{2L}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{11 \cdot GJ_z}{10} + \frac{3D}{2L}\right) & \left(-\frac{GJ_z \cdot L}{30} + \frac{D}{2}\right) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где L – длина конечного элемента, м;
 E, G – модули упругости материала первого и второго рода, Па;
 J_x, J_y, J_z – соответственно осевые моменты инерции конечного элемента относительно осей x и y , крутильный момент инерции, м^4 ;
 A – площадь поперечного сечения, м^2 .

$$D = \frac{4EJ_{\omega} (J_p^2 + J_z^2 - 2J_z J_p)}{L J_p^2 \mu^4}, \quad (7)$$

где J_{ω} – секториальный момент инерции стержневого КЭ замкнутого профиля, м^4 ;
 J_p – момент инерции чистого кручения, м^4 ;
 μ – коэффициент формы сечения.

$$\mu = 1 - \frac{J_z}{J_p}. \quad (8)$$

Матрица распределенных масс пространственного тонкостенного стержня имеет вид

$$[M]_{14 \times 14} = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & \cdots & \cdots & m_{1,14} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & \cdots & \cdots & m_{2,14} \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & \cdots & \cdots & m_{3,14} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ m_{s,1} & \cdots & \cdots & \cdots & m_{s,t} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ m_{14,1} & m_{14,2} & m_{14,3} & \cdots & \cdots & m_{14,14} \end{bmatrix}_{14 \times 14}. \quad (9)$$

В матрице масс (9) инерционные коэффициенты определяются по формуле

$$m_{s,t} = \frac{\partial^2 T}{\partial \dot{q}_s \partial \dot{q}_t}, \quad (10)$$

где T – функционал кинетической энергии деформации тонкостенного стержня замкнутого профиля;

q_s, q_t – узловые перемещения, соответствующие их степеням свободы s и t .

Пространственные перемещения конструкции крана следует рассматривать как последовательность переходных состояний, которые характеризуются случайно распределенными участками возрастания и убывания амплитуд, поэтому их механизм рассеяния энергии не вполне аналогичен явлениям, изучаемым при циклическом нагружении. В терминах метода конечных элементов учет демпфирующих характеристик конструкции учитывается матрицей демпфирования $[C]$, которую формируют пропорционально матрицам масс и жесткостей

$$[C] = \alpha_{[M]}[M] + \alpha_{[K]}[K]. \quad (11)$$

В (11) коэффициенты пропорциональности определяются по формулам

$$\alpha_{[M]} = \frac{\delta_{3,1} \omega_0}{\pi}; \quad (12)$$

$$\alpha_{[K]} = \frac{\delta_{3,1}}{\pi \omega_0}, \quad (13)$$

где $\delta_{3,1}$ – логарифмический декремент низшей формы колебаний конструкционной системы крана;

ω_0 – собственная частота низшей формы колебаний конструкционной системы крана.

На основе дискретизации конструкционной системы крана, принятой по его паспортным характеристикам, разработана расчетно-динамическая модель крана КС-35715 в транспортном состоянии, для чего методом суперпозиции построены матрица жесткости и масс полной системы n -го порядка

$$[K]_{n \times n} = \sum_{jk=1}^{jk=s} \left([T]_{14 \times 14}^T [K]_{14 \times 14}^{jk} [T]_{14 \times 14} \right), \quad (14)$$

МСК

где $[T]_{14 \times 14}$ - матрица преобразования координат.

Для матрицы масс $[M]_{n \times n}$ индекс K заменяется на M .

На рис. 2 изображена скелетная схема расчетно-динамической конечно-элементной модели автомобильного крана КС-35715 в транспортном состоянии. Количество узлов модели $u=180$, количество конечных элементов 274, число степеней свободы $7 \times u=1260$.

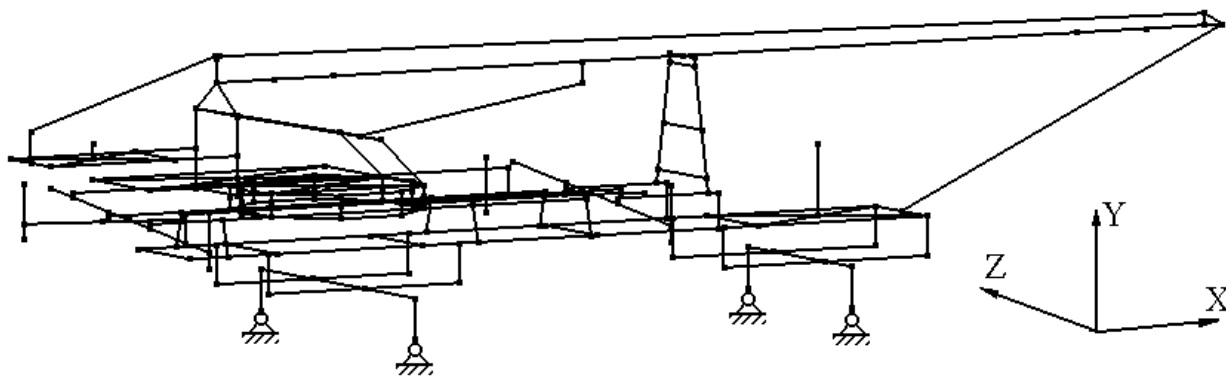


Рисунок 2 - Конечно-элементная расчетно-динамическая модель автомобильного крана КС-35715

Теперь становится очевидным, что параметры расчетно-динамической модели крана $[M]$ и $[K]$ порядка $n \times n$ в конечно-элементной интерпретации, построенные методом суперпозиции, позволяют сформировать уравнение движения (2), а его численное интегрирование, например

методом Ньюмарка-бета, позволяет оценить напряженно-деформированное состояние крана при движении по неровностям любого профиля дороги, представленного в (2) вектором $\{\ddot{A}(t)\}$.

В заключении еще раз укажем, что результаты исследования проведены в развитие ГОСТ 32579.1-2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок», а оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций дает возможность определить ресурсные характеристики автомобильных кранов, к которым относят нормативный срок службы, частоту отказов, наработку на отказ, интенсивность отказов, что соответствует ТР ТС 018/2011 «Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств».

Список использованной литературы

1. ГОСТ 27555-87 Краны грузоподъемные. Термины и определения.–Введен 01.01.89. – М.: Госстандарт, 2004. – 26 с.
2. Афанасьев Б.А. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2т. Т1. Учебник для вузов/ Под ред. А.А. Полунгяна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 488с.
3. Панасенко Н.Н. Строительная механика сварных пространственных металлоконструкций. Специальные главы: учебное пособие/ Н.Н. Панасенко, Н.А. Дербенев, В.В. Смирнов, А.В. Синельщиков, В.П. Юзиков; под общ. ред. проф., д-ра тех. наук Н.Н. Панасенко. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2017. – 492с.
4. ГОСТ 32579.1-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. – Введен 06.01.2015г. – М.: Стандартиформ, 2015. – 30с.
5. ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств. М.: Утв. решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. №877, 2011. – 63с.

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ,
ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И
ГОРНЫХ МАШИН В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

УДК [656.13.073:338.47/.565]:[625.7:551. 582](571.1/.5+470.1/.2)

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

А.Я. Абубакаров, Н.В. Дульгер

***Аннотация.** В статье на основе анализа литературных источников и собственного опыта эксплуатации колесных транспортных средств в условиях Сибири и районов Крайнего Севера даются рекомендации для тех, кто собирается на автомобиле в Сибирь, которые могут повысить безопасность перевозок грузов и пассажиров. Кроме того, отмечается, что Россия не в полной мере использует свои транзитные возможности, несмотря на огромный ее транзитный потенциал и очевидные экономические выгоды для страны транзитера. Если Россия не сможет ликвидировать те узкие места или административные препятствия, то в Европу из Юго-Восточной Азии существуют альтернативные сухопутные коридоры в обход России.*

Ключевые слова: *эксплуатации колесных транспортных средств в Сибири.*

Абдуллахи Ярагиевич Абубакаров - к.п.н., доцент кафедры, ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16, тел/факс: 61-43-66; E-mail: astu@astu.org.

Надежда Валерьевна Дульгер - к.т.н., доцент кафедры, ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16.

Развитие транспортной системы и ее безопасность имеет важнейшее значение для развития Сибири, районов Крайнего Севера и нашей страны в условиях роста перевозок, в том числе - транзитных.

Целый ряд стран превратили транзит в существенные статьи доходов своих бюджетов. В Голландии доля доходов от транзита в общем объёме экспорта услуг составляет более 40 процентов [1,2,3,4,6,7].

Глава постоянного представительства МСАТ в странах СНГ И. Рунов, выступая еще на 5-й Международной конференции IRU «Государственно-частное партнерство в развитии транзита и логистики Великого шелкового пути: от теории к практике» говорил "Уже сейчас очевидно, что будущий грузопоток подобно электротоку пойдет по тем маршрутам и странам, которые смогут создать наиболее благоприятный режим для транзита, смогут ликвидировать те узкие места или административные препятствия, которые сегодня уже имеются в изобилии» [2].

Можно выделить следующие предпосылки развития перевозок между Азией и Европой через территорию России [1,2,3,4,6,7]:

1. Стремительный рост торговли и инвестиций в экономику Китая, превращение Китая в крупнейшего торгового партнера Европы и США, который привёл к инфраструктурным проблемам морского транспорта (нехватка перерабатывающих мощностей, глубоководных портов и пропускной способности каналов и задержки в морских торговых портах). По некоторым оценкам, среднее время ожидания контейнеровоза в порту Лос-Анжелеса составляет 7 суток.

2. Повышение удельного веса контейнеропригодных грузов в экспорте Китая до 60%, создание широкой грузовой базы "автотранспортабельных" грузов.

3. Важнейшим фактором, способствующим развитию международных перевозок, является геополитическое положение России между двумя мировыми экономическими центрами – Европой и Азией. Россия объективно является естественным мостом, обеспечивающим транзитные связи на этом направлении. Эти транзитные пути проходят через Сибирь.

4. Возникновение рыночной ниши для автомобильного транспорта при осуществлении перевозок грузов между Европой и Азией. Основные критерии - скорость, сохранность, доставка от двери до двери по приемлемой цене.

5. Развитие сети автомобильных дорог, стыковка европейской и азиатской автодорожных сетей, наличие полноценных автодорожных маршрутов Европа-Азия, не требующих на современном этапе серьезных инвестиций.

6. Международные автоперевозки из Азиатско-Тихоокеанского региона в Европу придаст дополнительный импульс экономическому развитию регионов, прилегающих к транзитному пути, приведет к созданию дополнительных рабочих мест, развитию логистических центров, улучшению уже существующей инфраструктуры; обеспечит доход государству, не расходуя невозполнимых природных ресурсов в виде оплаты транспортных и сопутствующих услуг, т.е. может стать катализатором роста экономики государства. Доходы от транзита пополнят бюджеты всех уровней.

7. Доставка товаров в Европу через Россию будет осуществлена быстрее, так как этот маршрут почти в два раза короче, чем по маршруту,

не пролегающему через Россию. Транзит по российской территории - это транзит по единой территории, на которой действуют единые законы, в том числе таможенное законодательство, тогда как конкурентам приходится искать консенсус между интересами различных суверенных государств, что приводит к большим потерям времени на таможнях.

8. Транзит - это стабилизирующий фактор. Какие бы политические, экономические изменения не происходили, избранный, развитый и закрепленный на практике транспортный транзитный маршрут остается долговременным стабилизирующим фактором. Страны-соседи попадают в определенную зависимость от страны – транзитера, которая может в ряде случаев диктовать соседям свои экономические, и даже политические условия. Таким зависимым стало положение России по отношению к Украине.

Следует учитывать, что транзитным ресурсом обладают и другие страны, соседи России и в Европе из стран Юго-Восточной Азии существуют альтернативные сухопутные коридоры в обход России.

Использование транзитного потенциала Российской Федерации может стать не только приоритетом развития транспортной системы, но и самостоятельной точкой роста экономики, стать альтернативой или дополнением нефтегазовых доходов. Увеличение объема транзитных перевозок на 20 - 25 млн. тонн может принести Российской Федерации доходов дополнительно около 6 млрд. долларов. [1,2].

Российский рынок автотранспортных услуг является сегодня привлекательным для иностранных автоперевозчиков. Но пока мощный транзитный потенциал России используется слабо.

Многие автоперевозчики не имеют знаний об особенностях эксплуатации автомобилей в условиях Сибири, об опасностях и поломках, которые могут быть. Если в условиях Сибири в учебных заведениях, готовящих автотранспортных специалистов, есть дисциплины, посвященные эксплуатации автомобилей в условиях Сибири или Крайнего Севера и приравненной к ним местности, то в других регионах (например, в Астраханской области, на Северном Кавказе таких дисциплин нет). Поэтому необходим сайт, где можно получить информацию об особенностях эксплуатации автотранспорта в условиях Сибири, об ограничениях на маршруте движения, различные памятки для водителей, советы для автовладельца и т.д.

Учитывая свой опыт работы в Сибири могу предложить следующие мероприятия для тех, кто собирается на автомобиле в Сибирь и, которые могут повысить безопасность перевозок:

1. Подготовьте автомобиль к дальней поездке. Проведите его внепланового техническое обслуживание. Утеплите двигатель, радиатор (или возьмите собой чехлы для них) и т.д. Проконтролируйте также состояние запасного колеса. Обычно в Сибири снег выпадает в сентябре-октябре, который на юге России выпадает только в декабре-январе месяце. Поэтому,

необходимо пользоваться зимними шинами. отправляться в путь на летней резине не следует.

2. Необходимо иметь запас. Необходимо взять с собой: провода «прикуривателя», ножовку, домкрат, буксирный трос, индивидуальный комплект ключей и запасных принадлежностей (прежде всего – расходных материалов, вроде свечей, бензонасоса или ремней, шлангов), автомобильные лампы освещения и переносной фонарь с запасными батарейками, теплые перчатки и обувь, тряпка (ветошь), емкость с водой, топор, средства для размораживания замков, запас низкозамерзающей жидкости для омывателя ветрового стекла, компрессор для накачки шин и средство для ремонта бескамерных шин. Мобильный телефон, зарядку к нему и запасной аккумулятор. Нелишним будет взять с собой небольшой мешочек песка или щебня (для грузовых автомобилей). Проверьте автомобильную аптечку и включите в нее средства от обмороживания.

3. Проложите маршрут заранее. Стоит учитывать и качество дорог, наличие вдоль трассы сервисов, населенных пунктов, заправочных станций. Ехать лучше всего по главным дорогам и не сворачивать на второстепенные, которые реже зимой убираются и имеют худшую проходимость.

4. Возьмите с собой микроволновку или чайник для автомобилей, которых можно подключить к прикуривателю.

5. Собираясь в дорогу, проследите за тем, чтобы в бак было залито достаточное количество топлива (для дизелей – зимнее или арктическое). Зимой в пути можно попасть в самые неожиданные ситуации. Чтобы не замёрзнуть, вам придётся пользоваться печкой, значит, двигатель будет запущен, что повлечёт за собой повышенный расход топлива.

6. Положите в багажник лопату, специальные пластины, препятствующие скольжению (можно приобрести в автомагазинах). Их обычно подкладывают под колёса там, где снег укатан в лёд и протектор шин не может как следует сцепиться с дорогой.

7. Не ограничивайтесь использованием навигатора, возьмите в машину и атлас автомобильных дорог. Практика показывает, что иногда старые путеводители оказываются намного эффективнее современных технических новинок. На всякий случай возьмите в дорогу запас пресной воды и еды.

8. Перед поездкой о состоянии федеральных автодорог можно узнать на официальном сайте ФКУ «Сибуправтодор», которое является представителем Федерального дорожного агентства Министерства транспорта России в Западной Сибири.

9. С собой должны быть средства, с помощью которых на случай непредвиденной остановки можно было бы развести костер (например, паяльную лампу с крышкой и т.д.).

10. При температуре окружающего воздуха ниже -40 градусов следует избегать стоянок вне отапливаемых помещений. Часто бывает, что те,

кто не имеет опыта эксплуатации автомобилей в условиях Севера, после отдыха на стоянках не могут начать движения из-за замерзания пластичных смазок и загустевания масла в двигателе, в коробке передач и в ведущих мостах. Поэтому. Необходимо организовать обогреваемые стоянки автомобилей (например, арочные стоянки с возможностью размещения в них водителей и пассажиров).

11. Опасность представляют остановки и стоянки вне специально предусмотренных для этого местах. Нередки случаи, когда водитель совершает остановку и съезжает на обочину автомобиль правыми колесами проваливается в рыхлый снег, потому что водитель не видит границу проезжей части и обочины и, вытащить автомобиль трудно. Попутного транспорта бывает редко. Вот пригодился и запас топлива.

Список использованной литературы

1. Байкальский Экономический форум. "Круглый стол" №2. Развитие коммуникационных транспортных систем Сибири и Дальнего Востока Россия в XXI веке как транспортный мост между Европой, Азией и Америкой /Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. - 2001. - № 5 (136). - стр. 5

2. mintrans.ru/news/detail.php-5-я Международная конференция IRU «Государственно-частное партнерство в развитии транзита и логистики Великого шелкового пути: от теории к практике» 20 Февраля 2007г

3. tour52.ru/Vidy-otdyha/avto...avtoputeshestvie_po...

4. windigo.ru/stories/1219-travel-in-winter

5. Советы МЧС для дальних зимних поездок на автомобиле. 54.mchs.gov.ru/Пресс-центр/Новости/item/3272340

6. pandia.ru/text/80/075/45850.php

7. Федеральная целевая программа "Развитие транспортной системы России (2010-2020 годы)"Постановление Правительства Российской Федерации от 5 декабря 2001 года N 848

УДК 629.33

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЛИНЫ ПЯТНА КОНТАКТА ЛЕГКОВЫХ И ГРУЗОВЫХ ШИН С ДОРОЖНЫМ ПОКРЫТИЕМ

**Е.В. Балакина, В.Н. Задворнов, Д.С. Сарбаев,
И.В. Сергиенко, Ю.Н. Козлов**

Аннотация. В задачах моделирования устойчивости движения, управляемости и тормозной динамики автомобилей и автобусов требуется информация о длине пятна контакта используемой шины с дорож-

ным покрытием. Ее значение обычно рассчитывают из геометрических соображений (по формуле Хедэкеля). При этом экспериментальные значения этой величины оказываются меньше расчетных вследствие особенностей деформации шины. Для учета этого уменьшения длины пятна контакта авторы разработали общую методику определения уточняющего коэффициента. Ранее подобную методику они разработали для легковой радиальной низкопрофильной шины. Теперь она справедлива для всех легковых и грузовых шин. Это позволит более корректно рассчитывать длину пятна контакта шины с дорогой. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00011.

Ключевые слова: шина автомобиля, автобуса или прицепа; пятно контакта с дорожным покрытием; методика расчета длины пятна контакта; коэффициент учета уменьшения длины пятна контакта для легковых и грузовых шин.

Екатерина Викторовна Балакина - доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», ФГБОУ Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел.: 8-902-311-78-47, E-mail: fahrgestell2011@yandex.ru.

Виктор Николаевич Задворнов - кандидат технических наук, филиал ДИНО ГУ «Дубна», Российская Федерация, 141801, г. Дмитров (Московская область, Дмитровский район), мкр-н. ДЗФС, 23, тел.: 8-916-501-52-99, E-mail: v-zadvornov@yandex.ru.

Дмитрий Сергеевич Сарбаев - аспирант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», ФГБОУ Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел.: 8-905-482-20-52, E-mail: sards93@gmail.com.

Иван Васильевич Сергиенко - аспирант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», ФГБОУ Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел.: 8-927-523-50-73, E-mail: sergienko-1993@mail.ru.

Юрий Николаевич Козлов - кандидат технических наук, НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Российская Федерация, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, 2, тел.: 89163279723, E-mail: Y.Kozlov@mail.ru.

При моделировании свойств устойчивости движения, управляемости и тормозной динамики автомобилей и автобусов приходится иметь дело с моделированием длины пятна контакта колеса с дорогой [1-26]. Схема взаимосвязи этих эксплуатационных свойств с длиной пятна контакта приведена на рисунке 1.

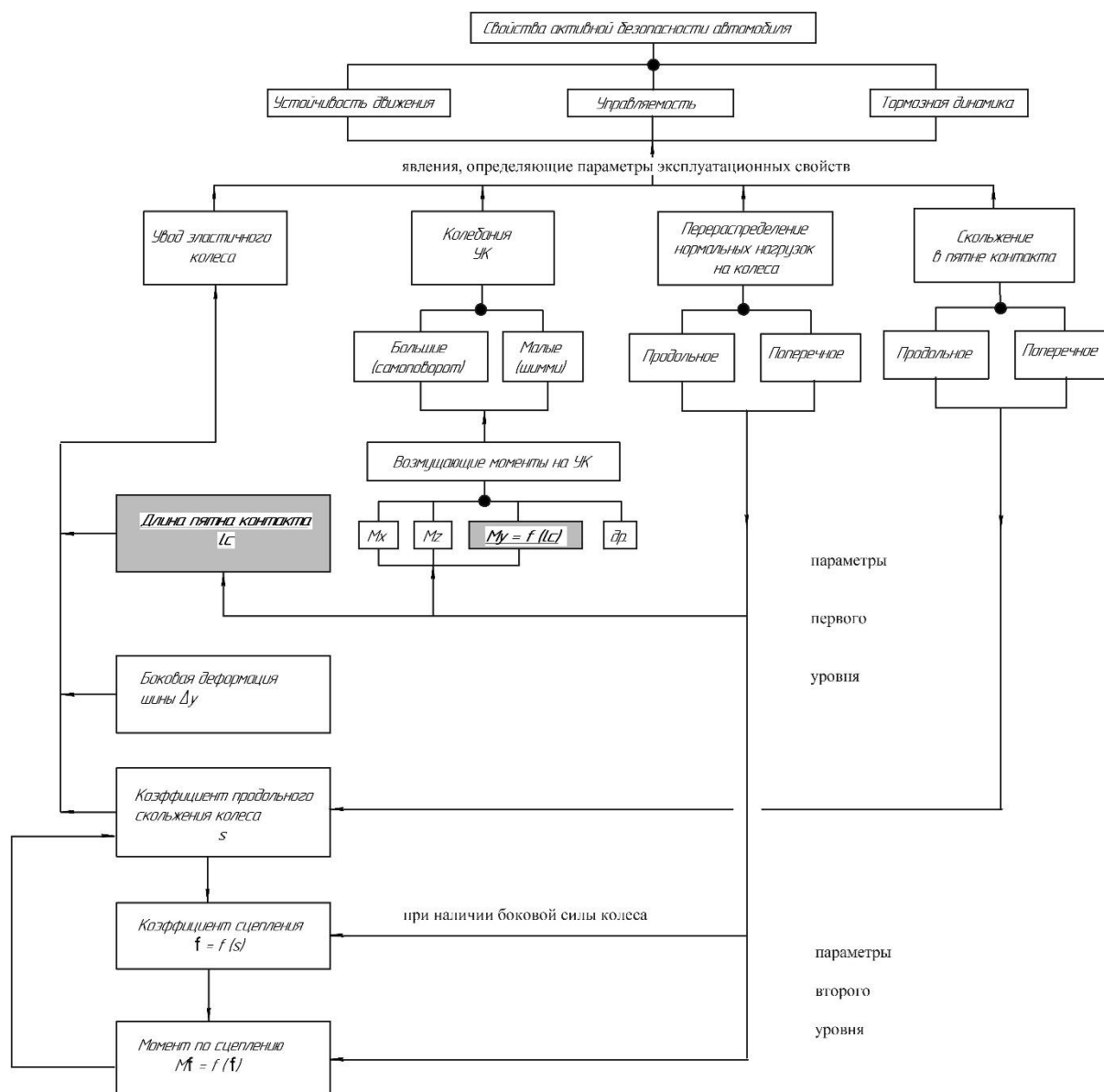


Рисунок 1 - Схема взаимосвязи свойств активной безопасности автомобиля с длиной пятна контакта шины с дорожным покрытием

Корректный расчет ее величины определяет, в том числе, достоверность расчета параметров явлений увода и колебаний управляемых колес.

Длину пятна контакта обычно вычисляют из геометрических соображений, используя схему рисунка 2, по простой зависимости, которую принято называть формулой Хедэкеля [7].

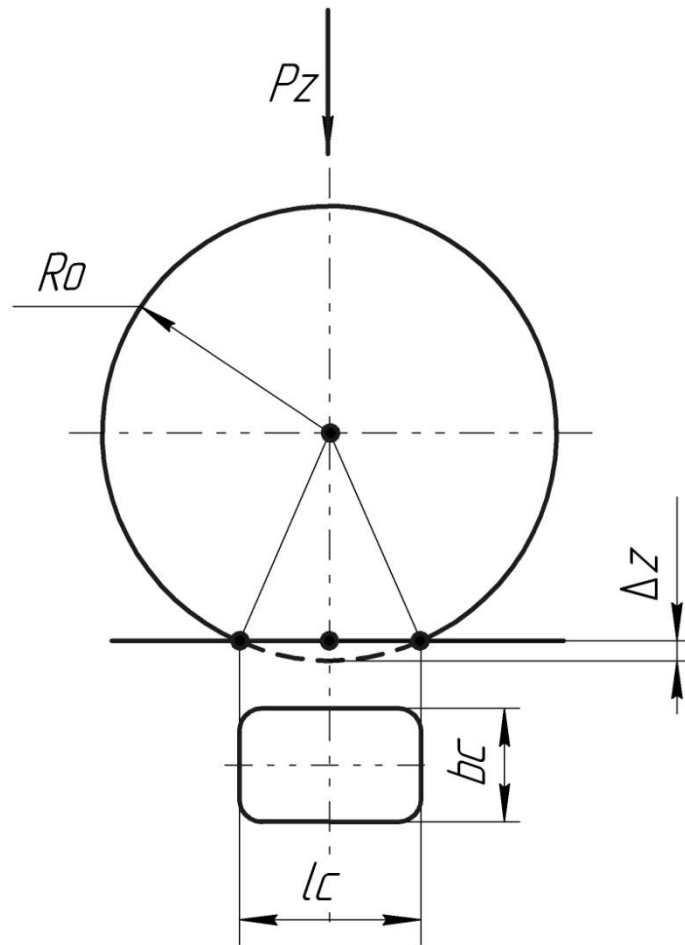


Рисунок 2 - Схема расчета длины пятна контакта по формуле Хедэкеля

На рисунке приняты следующие обозначения: P_z – нормальная нагрузка колеса, Н; Δz – радиальный прогиб шины, мм; R_0 – свободный радиус колеса, мм; l_c – длина пятна контакта, мм; b_c – ширина пятна контакта, мм.

По формуле Хедэкеля

$$l_{c0} = 2\sqrt{R_0^2 - (R_0 - \Delta z)^2} = 2\sqrt{\Delta z(2R_0 - \Delta z)}, \quad (1)$$

где l_{c0} – расчетная длина пятна контакта по формуле Хедэкеля, м

R_0 – свободный радиус шины, мм;

Δz – радиальный прогиб шины, мм

$$\Delta z = \frac{P_z}{C_{tz}}, \quad (2)$$

где P_z – нормальная нагрузка колеса, Н;
 C_{tz} – радиальная жесткость шины, Н/мм.

Для вычисления радиальной жесткости шин с участием автора Балакиной Е.В. ранее были получены универсальные зависимости [9].

Однако, справедливость формулы Хедэкеля, полученной из геометрических соображений, требует дополнительного исследования.

Для этого авторами разработана методика. Ее суть в том, что длины пятна контакта измерены экспериментально для большого числа шин, затем они рассчитаны по формуле Хедэкеля. Результаты сравнения проанализированы и определен поправочный коэффициент, на который следует умножать расчетные длины пятна контакта для получения уточненных результатов, приближенных к экспериментальным. Это дает возможность точно определять длины пятен контакта шины с дорогой расчетным путем, без использования трудоемких экспериментов.

Экспериментальная длина пятна контакта l_{ce} несколько меньше расчетной l_{c0} . Это связано с особенностями деформаций протектора в зонах над пятном контакта. Величина этого отличия определяется конструкцией шины. Поэтому вторичный расчет длины пятна контакта заключается в учете указанного ее уменьшения. Это можно сделать следующим образом

$$l_c = K_h \cdot l_{c0}, \quad (3)$$

где K_h – коэффициент учета уменьшения длины пятна контакта ($K_h = l_{ce} / l_{c0}$).

Таким образом, длину пятна контакта шины с дорогой можно вычислить по итоговой зависимости (4)

$$l_c = 2K_h \sqrt{\Delta z (2R_0 - \Delta z)}. \quad (4)$$

В НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» измерены значения радиальной жесткости C_{tz} и длины пятна контакта l_{ce} легковых и грузовых шин разных моделей и конструкций (по 47 каждой) при заданных нормальных нагрузках колеса P_z . Фотография экспериментального стенда показана на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 3 - Фотография экспериментального стенда для определения характеристик шин

По экспериментальным данным рассчитаны деформации шин Δz по формуле (2). Для получения поправочного коэффициента K_h экспериментальные значения l_{ce} разделены на соответствующие расчетные l_{c0} . Результаты приведены на рисунке 4.

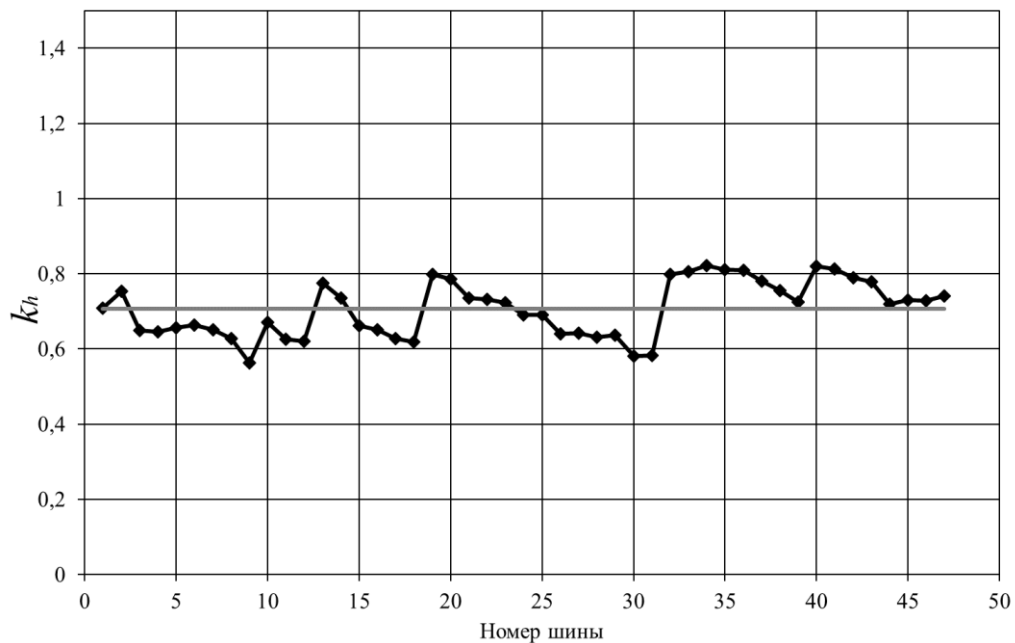


Рисунок 4 - Результаты расчета поправочного коэффициента к формуле Хедэкеля

Из рисунка 4 следует, что $K_h \approx 0,7$ для всех шин, кроме легковых радиальных низкопрофильных.

Таким образом, почти для всех шин $l_c \approx 1,4\sqrt{\Delta z(2R_0 - \Delta z)}$.

Ранее было установлено [3], что для легковых радиальных низкопрофильных шин $l_c \approx 1,2\sqrt{\Delta z(2R_0 - \Delta z)}$.

Список использованной литературы

1. Балабин, И.В. Автомобильные и тракторные колеса и шины / И.В. Балабин, В.А. Путин, И.С. Чабунин. – МГТУ «МАМИ», 2012. – 920 с.
2. Балакина Е.В. Коэффициент сцепления шины с дорожным покрытием / Е.В. Балакина, А.В. Кочетков. – Москва: «Инновационное машиностроение», 2017. – 292 с.
3. Балакина, Е.В. Методика расчета длины пятна контакта легковых радиальных низкопрофильных шин / Е.В. Балакина, Д. С. Сарбаев // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 12 – С. 31-33.
4. Балакина Е.В. Определение взаимного расположения сил, реакций и зон трения в пятне контакта эластичного колеса с твердой поверхностью / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов // Трение и износ. – 2015. – т.36, № 1. – С. 36-40.
5. Балакина, Е.В. Расчет геометрического положения и размеров зон трения покоя и скольжения в пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью / Е.В. Балакина // Трение и износ. – 2017. – т. 38, № 2. – С. 136-143.
6. Балакина, Е.В. Устойчивость движения колесных машин / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов. – Волгоград : РПК «Политехник». 2011. – 464 с.
7. Бухин Б. Л. Введение в механику пневматических шин. – М.: Химия, 1988. – 223 с.
8. Кнороз, В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров и др. / под ред. В.И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 240 с.
9. Сальников, В.И. Расчетно-экспериментальные универсальные зависимости для определения радиальной жесткости шин / В.И. Сальников, А.А. Барашков, В.Н. Задворнов, Е.В. Балакина // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 7. – с. 13-14.
10. Balakina, E.V. (2017) Forms of σ -diagrams of an automobile tire / E.V. Balakina // International Scientific Conference «Baltrib'2017», Aleksandras Stulginskis University Akademija, Kaunas, Lithuania, 16-17 November 2017. – 2017. – pp. 118-124.
11. Balakina, E.V. (2018) Modeling of the motion of automobile elastic wheel in realtime for creation of wheeled vehicles motion control electronic sys-

tems / E.V. Balakina, N.M. Zotov, A.P. Fedin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 315 (2018) 012004 doi:10.1088/1757-899X/315/1/012004.

12. Balakina, E. V. (2019) Qualitative Research of Combined Friction in Contact of Elastic Wheel with Solid Surface [Электронный ресурс] / Е. В. Балакина, Д. С. Сарбаев // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2018) (Moscow, Russia, 15-18 May, 2018) / ed. by A. A. Radionov [et al.] ; Moscow Polytechnic University [et al.]. – Cham (Switzerland) : Springer, 2019. – pp. 773-779. – URL : <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-95630-5>. – (Book ser. : Lecture Notes in Mechanical Engineering : LNME).

13. Cristian MINCA (2015) The determination and analysis of tire contact surface geometric parameters. Review of the Air Force Academy, Romania, No 1, pp. 149-154.

14. David Woodward et al (2014) The static contact patch of some friction measuring devices / 4th International Safer Roads Conference, Cheltenham, United Kingdom, May, 2014.

15. Jerzy Jackowski and Marcin Wieczorek (2011) Analysis of interaction between tyre tread and road on the basis of laboratory test / TRANSBALTICA / 7th International Conference Vilnius, Lithuania, May, 2011.

16. Khaleghian, S., Ghasemalizadeh, O., and Taheri, S. (2016) «Estimation of the Tire Contact Patch Length and Normal Load Using Intelligent Tires and Its Application in Small Ground Robot to Estimate the Tire-Road Friction», Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 44, No. 4, October-December 2016, pp. 248-261.

17. A. Lang and M. Kluppel (2014), «Temperature and Pressure dependence of the friction properties of tire tread compounds on rough granite» in KHK 11th Fall Rubber Colloquium.

18. F. Leiva-Villacorta, A. Vargas-Nordbeck, J.P. Aguiar-Moya, L. Loría-Salazar (2016). Influence of Tire Footprint Area and Pressure Distribution on Pavement Responses, LanammeUCR, San José 11501-2060, Costa Rica.

19. B. Lorenz, Y. R. Oh, S. K. Nam, S. H. Jeon, and B. N. J. Persson (2015). Rubber friction on road surfaces : Experiment and theory for low sliding speeds / The Journal of Chemical Physics 142, 194701; doi : 10.1063/1.4919221.

20. M+P.DVS.12.08.3 (2013) «Influence of road surface type on rolling resistance – Results of the measurements 2013», revision 4, 20-11-2013.

21. M+P.PGEL.17.06.1 (2017) «Enhancements of texture vs rolling resistance model», M+P consulting engineers, Vught (NL) June 12th, 2017.

22. Pacejka H.B. (2012). Tire and Vehicle Dynamics. – Published by Elsevier Ltd, USA, 2012.

23. Parviz Tomaraee et al. (2015) Relationships among the contact patch length and width, the tire deflection and the rolling resistance of a free-running

wheel in a soil bin facility. Spanish Journal of Agricultural Research, Vol. 13, No 2, 7 p.

24. prEN 13036-2a (2017). Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 2a: Assessment of the skid resistance of a road pavement surface by measurement of the sideway-force coefficient, October 18th, 2017.

25. Svendenius Jakob (2007). Tire Modeling and Friction Estimation. – Department of Automatic Control Lund University, Lund, Sweden, 2007. – 194 p.

26. Valentin Ivanov (2010) Analysis of tire contact parameters using visual processing. Advances in Tribology, 11 p.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00011».

«The reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-08-00011».

УДК 629.113

О НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЪЕЗДА БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В МЕГАПОЛИСЕ

Е.В. Епишина, И.М. Блянкинштейн, Е.Г. Махова, Д.А. Худяков

Аннотация. Проведен расчет показателей выбросов вредных веществ грузовым автотранспортом в случае реализации планов по запрету въезда большегрузного автотранспорта в город Красноярск (перегрузочные терминалы будут располагаться перед въездом в город, далее груз перевозится автомобилями меньшей грузоподъемности). Показана необходимость комплексного анализа последствий запрета на въезд большегрузного автотранспорта.

Ключевые слова: выбросы вредных веществ грузовым автотранспортом, перегрузочный терминал, ограничение въезда большегрузного автотранспорта.

Екатерина Владимировна Епишина - магистрант программы «Организация перевозок и управление на автомобильном транспорте», Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, тел./факс: +7(391)244-86-25, E-mail: office@sfu-kras.ru.

Игорь Михайлович Блянкинштейн - д.т.н., проф., Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, тел./факс: +7(391)244-86-25, E-mail: office@sfu-kras.ru.

Елена Геннадьевна Махова - к.т.н., доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, тел./факс: +7(391)244-86-25, E-mail: office@sfu-kras.ru.

Дмитрий Александрович Худяков - ассистент. Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, тел./факс: +7(391)244-86-25, E-mail: office@sfu-kras.ru.

Автотранспортные средства, в особенности грузовые автомобили низких экологических классов, являются источниками негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека [1].

Во многих странах введен запрет на въезд большегрузного автотранспорта в крупные города. В России временное ограничение или прекращение движения транспортных средств по автомобильным дорогам может устанавливаться в соответствии с Федеральным законом от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»: 1) при реконструкции и ремонте автомобильных дорог; 2) в период возникновения неблагоприятных природно-климатических условий, в случае снижения несущей способности конструктивных элементов автомобильной дороги, ее участков и в иных случаях в целях обеспечения безопасности дорожного движения; 3) в период повышенной интенсивности движения транспортных средств накануне нерабочих праздничных и выходных дней, в нерабочие праздничные и выходные дни, а также в часы максимальной загрузки автомобильных дорог; 3) в целях обеспечения эффективности организации дорожного движения; 4) в иных случаях, предусмотренных федеральными законами, а в отношении автомобильных дорог регионального или межмуниципального, местного значения в границах населенных пунктов, в том числе в целях повышения их пропускной способности, законами субъектов Российской Федерации.

Есть мнение, что именно большегрузный автотранспорт интенсивно разрушает дороги и является главным источником вредных выбросов в атмосферу городов, тормозит транспортные потоки. Поэтому считается, что ограничение въезда большегрузного автотранспорта в город – благое дело для экологии города. Но так ли это на самом деле?

Рассмотрим эту проблему на примере города Красноярска – крупнейшего транспортного узла Восточной Сибири. Наличие Транссибирской железнодорожной магистрали, грузового маршрута на реке Енисей, крупного аэропорта, а также автодорог общегосударственного, республиканского и краевого значения оказывает сильное негативное влияние на общую экологическую обстановку в Красноярской агломерации. В связи с этим в Красноярске, как и в других крупных российских городах, планируется ввести ограничение на въезд большегрузного автотранспорта [2]. Для

реализации таких планов потребуется создание перегрузочных терминалов, и далее груз будет перевозиться автомобилями меньшей грузоподъемности в целях минимизации количества вредных выбросов в пределах города.

По мнению некоторых авторов, российский опыт строительства логистических центров свидетельствует о том, что аналогичные проекты имеют хорошую коммерческую, бюджетную и региональную эффективность, а также обладают экологическим эффектом (за счет сокращения въезда в города большегрузных автомобилей) и дополнительным эффектом экономии городских земель (данные Евроазиатского транспортного союза, ЕАТС) [3]. Имеется и противоположная точка зрения [4].

Вследствие неоднозначности мнений, решение об ограничении въезда большегрузного автотранспорта требует проведения комплексного анализа положительных и отрицательных последствий, в том числе влияния на загрязнение атмосферного воздуха в черте города. Следовательно, необходимо провести анализ двух вариантов доставки груза в центр города (большегрузным автомобилем, который перевозит весь объем груза за одну езду, либо автомобилями меньшей грузоподъемности, перевозящими груз за несколько ездов) и определить, при каком варианте количество вредных выбросов в черте города будет меньше.

Известно, что количество вредных выбросов с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания прямо пропорционально количеству израсходованного топлива. Поэтому, в первом приближении, анализ будем проводить по количеству израсходованного топлива. При этом опускаем такие факторы как тип топлива (дизель/бензин), экологический класс транспортного средства, техническое состояние транспортного средства, мастерство водителя, система технического обслуживания и ремонта, другие факторы.

Грузы в Красноярск автотранспортом поступают по магистралям:

- с севера по Енисейскому тракту (магистраль Р-409);
- с юга со стороны г. Дивногорска (магистраль Р-257 «Енисей»);
- с запада – по «Московскому тракту» (магистраль Р-255 «Байкал»);
- с востока – со стороны пгт. Березовка (магистраль Р-255 «Байкал»).

На каждом из направлений при въезде в город смоделируем перегрузочный терминал, а именно: Терминал 1 (в районе пос. Старцево), Терминал 2 (в районе ручья Лалетина), Терминал 3 (в районе пгт. Березовка), Терминал 4 (в районе пгт. Емельяново) и зададимся маршрутами перевозки грузов (рис. 1-4).

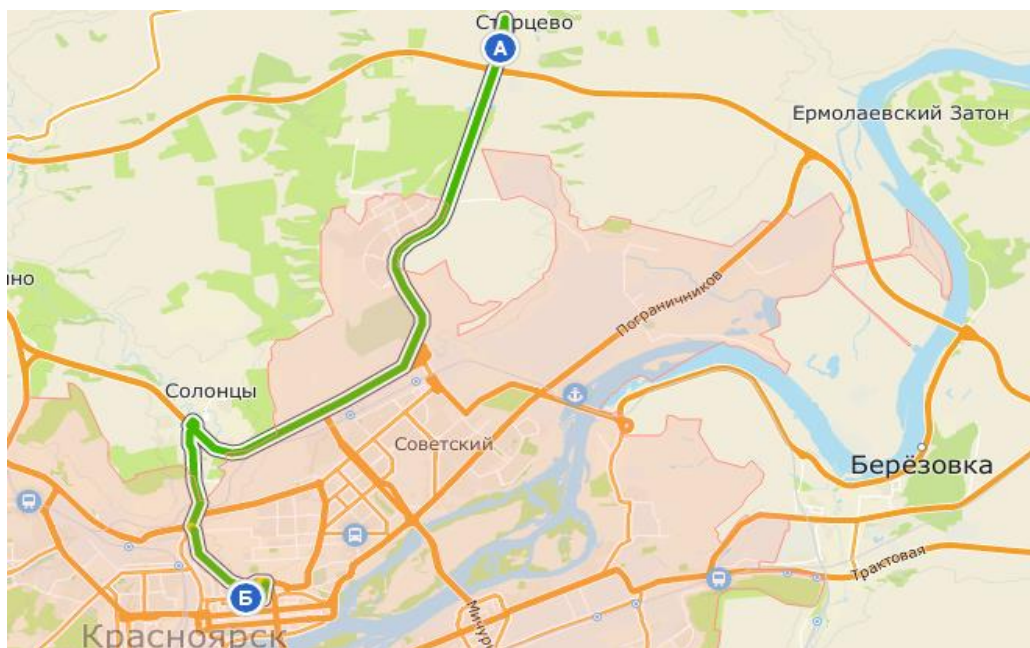


Рисунок 1 - Маршрут от въезда в город со стороны Енисейского тракта (Р-409) до Центрального рынка. Длина маршрута составляет 20,7 км.

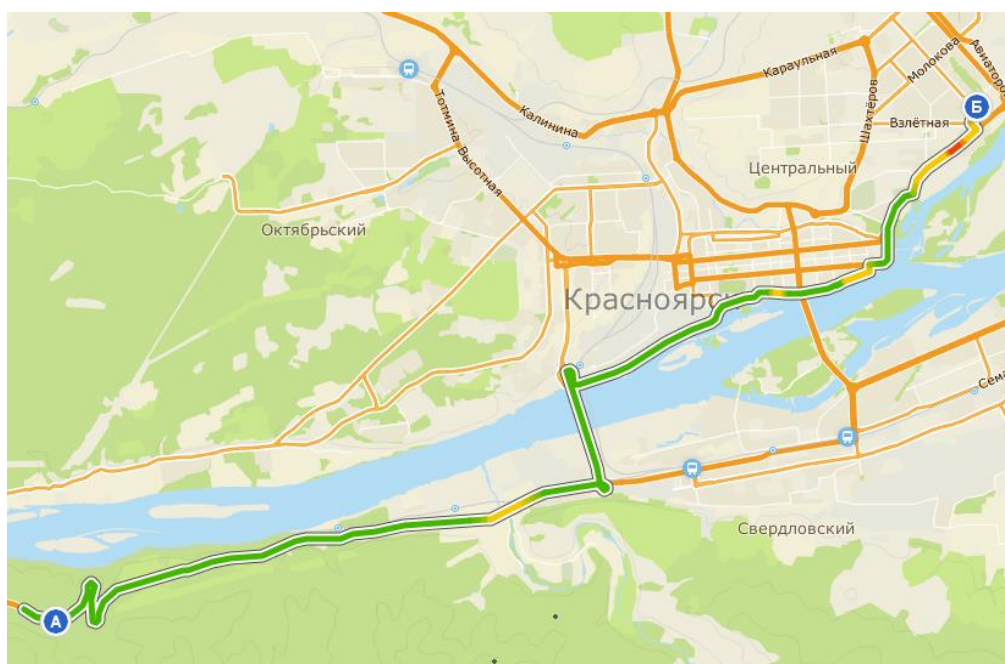


Рисунок 2 - Маршрут от въезда в город со стороны г. Дивногорска (Р-257 «Енисей») до рынка «Новая Взлетка». Длина маршрута 23,7 км.

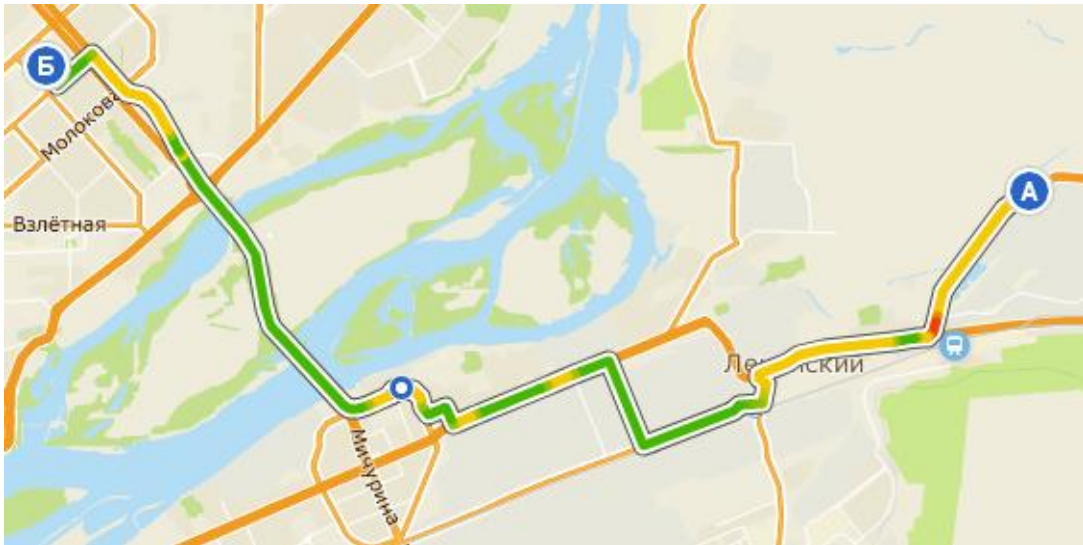


Рисунок 3 - Маршрут от въезда в город со стороны пгт. Березовка (Р-257 «Енисей») до ТРЦ «Планета». Длина маршрута 14 км.

Для расчета расхода топлива для каждого маршрута выбираем пять автомобилей разной грузоподъемности: Scania 340 грузоподъемностью 20 тонн, Mercedes 2535 грузоподъемностью 10 тонн, Hyundai HD-78 грузоподъемностью 4,8 тонн, ГАЗ 33104 грузоподъемностью 3,5 тонны, Mitsubishi Canter грузоподъемностью 2 тонны.

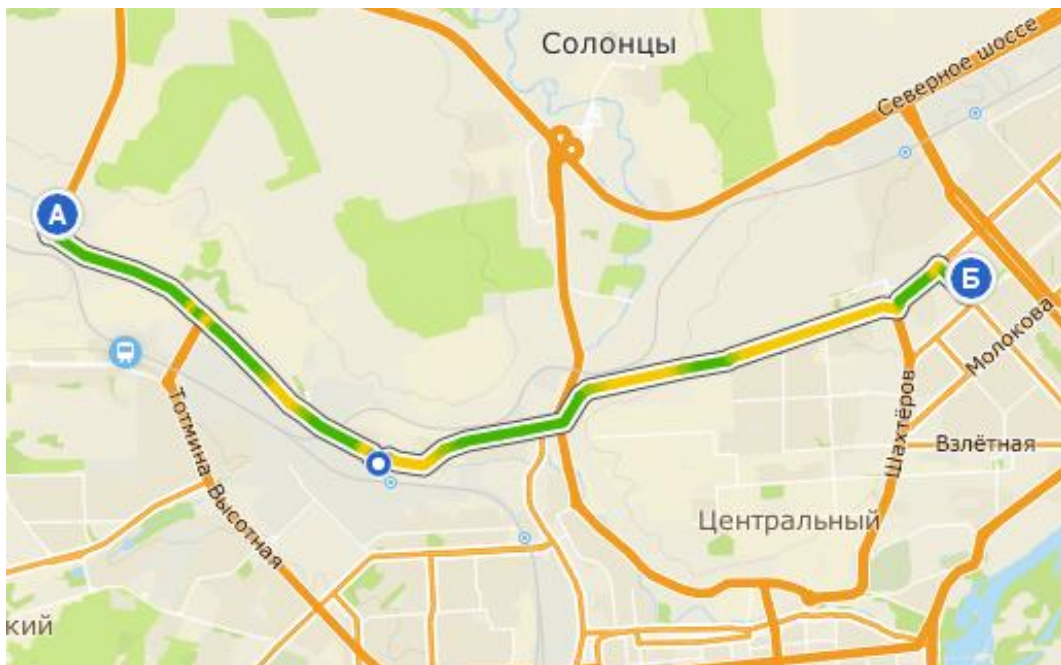


Рисунок 4 - Маршрут от въезда в город со стороны пгт. Емельяново (Р-255 «Байкал») до магазина «Леруа Мерлен». Длина маршрута 12,5 км.

Для перевозки 20 тонн груза потребуется один грузовой автомобиль Scania 340, 2 автомобиля Mercedes 2535, 4 автомобиля Hyundai HD-78, 6 автомобилей ГАЗ 33104 и 10 автомобилей Mitsubishi Canter.

В таблицах 1-4 представлены результаты расчетов суммарного расхода топлива для перевозки 20 тонн груза для каждого маршрута.

Таблица 1 – Результаты расчета расхода топлива для маршрута «Терминал 1» – Центральный рынок (северное направление). Длина маршрута 20,7 км.

Автомобиль	Средний эксплуатационный расход топлива, л/100км	Суммарный расход топлива на маршруте, л	Суммарный расход топлива по маршруту для перевозки 20 т груза
Scania 340	40,0	8,3	8,3
Mercedes 2535	27,0	5,6	11,2
Hyundai HD-78	18,0	3,7	14,8
ГАЗ 33104	17,0	3,5	21,0
Mitsubishi Canter	14,0	2,9	29,0

Таблица 2 – Результаты расчета расхода топлива для маршрута «Терминал 2» – Рынок «Новая Взлетка» (южное направление). Длина маршрута 23,7 км.

Автомобиль	Средний эксплуатационный расход топлива, л/100км	Суммарный расход топлива на маршруте, л	Суммарный расход топлива по маршруту для перевозки 20 т груза
Scania 340	40,0	9,5	9,5
Mercedes 2535	27,0	6,4	12,8
Hyundai HD-78	18,0	4,3	17,2
ГАЗ 33104	17,0	4,0	24,0
Mitsubishi Canter	14,0	3,3	33,0

Таблица 3 – Результаты расчета расхода топлива для маршрута «Терминал 3» – ТРЦ «Планета» (восточное направление). Длина маршрута 14 км.

Автомобиль	Средний эксплуатационный расход топлива, л/100км	Суммарный расход топлива на маршруте, л	Суммарный расход топлива по маршруту для перевозки 20 т груза
Scania 340	40,0	5,6	5,6
Mercedes 2535	27,0	3,8	7,6
Hyundai HD-78	18,0	2,5	10,0
ГАЗ 33104	17,0	2,4	14,4
Mitsubishi Canter	14,0	1,9	19,0

Таблица 4 – Результаты расчета расхода топлива для маршрута «Терминал 4» – Магазин Леруа Мерлен (западное направление). Длина маршрута 12,5 км.

Автомобиль	Средний эксплуатационный расход топлива, л/100км	Суммарный расход топлива на маршруте, л	Суммарный расход топлива по маршруту для перевозки 20 т груза
Scania 340	40,0	5,0	5,0
Mercedes 2535	27,0	3,4	6,8
Hyundai HD-78	18,0	2,3	9,2
ГАЗ 33104	17,0	2,1	12,6
Mitsubishi Canter	14,0	1,7	17,0

Согласно данным, представленным на **рис. 5**, при перевозке груза автомобилями разной грузоподъемностью количество потребляемого топлива увеличивается по мере уменьшения грузоподъемности автомобиля.

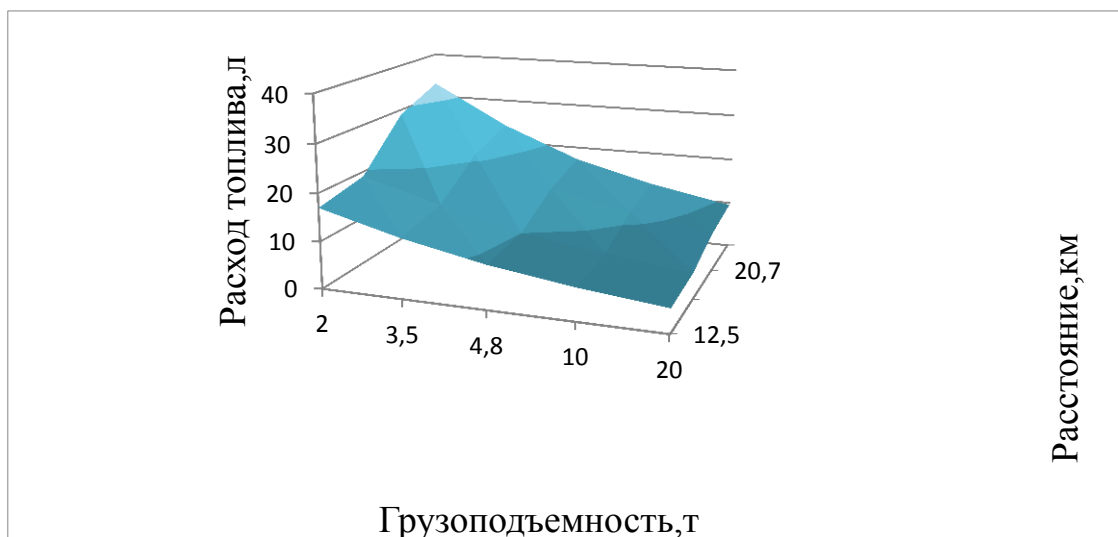


Рисунок 5 - Зависимость суммарного расхода топлива от грузоподъемности автомобиля и длины маршрута

Таким образом, при перевозке 20 тонн груза автомобилями грузоподъемностью 10 тонн, 4,8 тонн, 3,5 тонны и 2 тонны расход топлива (выбросы вредных веществ) увеличиваются в 1,4 раза, в 1,9 раз, в 2,5 раза, в 3,5 раза соответственно, по сравнению с перевозкой большегрузным автомобилем грузоподъемностью 20 тонн.

Отталкиваясь от данных Росприроднадзора [5] по количеству выбросов вредных веществ от автотранспорта в г. Красноярске на уровне 73,1 тыс. тон (за 2017 год) и допустив, что доля выбросов от большегрузных автомобилей составляет 10 % [6], можно спрогнозировать увеличение количества выбросов вредных веществ грузовыми автомобилями при переходе на логистическую схему перевозок грузов с ограничением въезда большегрузного транспорта (см. **табл. 5**).

Таблица 5 – Прогноз увеличения выбросов вредных веществ от грузовых автомобилей в г. Красноярске в случае запрета большегрузного автотранспорта

Грузоподъемность автомобиля, тонн	Кратность увеличения выбросов вредных веществ в зависимости от грузоподъемности автомобиля	Выбросы вредных веществ в г. Красноярске, тыс. тонн/год
20,0	1	7,3
10,0	1,4	9,9
4,8	1,9	13,9
3,5	2,5	18,3
2,0	3,5	25,6

По результатам первого этапа анализа можно сделать вывод, что минимальный суммарный расход топлива, а, следовательно, и минимальный объем выбросов вредных веществ с отработавшими газами, можно получить при перевозке грузов большегрузными автомобилями.

Окончательный ответ на вопрос о целесообразности (нецелесообразности) ограничения въезда большегрузного автотранспорта в город можно будет сделать по результатам последующих этапов исследования, целью которых будет определение влияния большегрузов на скорость транспортного потока в городе и закономерности формирования концентрации вредных веществ отработавших газов в приземном слое воздуха от скорости и структуры транспортного потока, метеорологических условий и прочих факторов городской среды.

Список использованной литературы

1. Кисуленко, Б.В. Оценка вредных выбросов грузовых автомобилей и автобусов в эксплуатации. Мировой опыт / Б.В. Кисуленко, С.А. Аникеев // Стандартизация и сертификация. – 2015. – №3. – С. 46–49.

2. Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края приглашает жителей региона принять участие [в обсуждении вопросов введения ограничений](#) на въезд и передвижение транспортных средств на территории населенных пунктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mpr.krskstate.ru/presscentr/0/news/85664>

3. Результаты работы экспертной группы №19 «Стратегия-2020. Преодоление территориальной и информационной разобщенности: развитие транспортной системы, связи и информации» / В.В. Дыбская, Т.А. Прокофьева, В.И. Сергеев, А.И. Федоренко, П.И. Поспелов, В.Д. Герами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://logistics.hse.ru/news/29002065.html>

4. Долженков, И.С. Возможные последствия введения запрета на въезд грузовых автомобилей с разрешенной максимальной массой более 12 тонн в пределы МКАД / И.С. Долженков, Р.Р. Муратов, Д.А. Гусев // Научное сообщество студентов XXI столетия. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ: материалы [IX студенческой международной заочной научно-практической конференции \(г. Новосибирск, 28 марта 2013 г.\)](#). – Новосибирск: Издание «СибАК», 2013. – С. 151-160.

5. Обобщенные данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников в разрезе городов, субъектов, федеральных округов Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-transport>

6. Ставникова, Л.В. Оценка воздействия основных компонентов выбросов разных типов автотранспорта на здоровье населения г. Красноярска / Л.В. Ставникова, Р.А. Степень // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №5. – С. 49.

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФОРСУНОК COMMON RAIL ПО ПАРАМЕТРАМ ОБЩЕГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА УПРАВЛЕНИЕ

И.В. Братенков

Аннотация. *Дизельные двигатели имеют своеобразную систему питания, отличающуюся от других типов двигателей. Самой перспективной системой питания в наши дни является система питания Common-Rail. Подача топлива при этом осуществляется с помощью электронной системы управления двигателем. Благодаря этому стало возможным более качественно образовывать топливную смесь и управлять процессом ее сгорания. Для обеспечения работоспособности и выполнения диагностики такой системы должна находиться на высоком уровне. Для осуществления такого метода был разработан способ экспресс диагностирования топливных форсунок системы CommonRail по общей магистрали слива топлива. В данной статье приведены результаты разработок специального устройства для диагностирования форсунок через общую магистраль слива.*

Ключевые слова: *диагностика, форсунка, магистраль слива, испытание, аналоговый сигнал, пульсация давления, результат экспериментов, двигатель*

Игорь Вячеславович Братенков - студент группы ТЭАМ – 18 – 1 кафедры Автомобильный транспорт, ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, тел.: 8-902-173-44-25, E – mail: igor.bratenkov25@gmail.com.

Введение

В настоящий момент времени очень большой спектр автомобилей комплектуется дизельными двигателями с топливной системой питания CommonRail. Данная топливная система питания имеет большой ряд преимуществ перед своими предшественниками, например, перед топливной системой питания с механическими ТНВД. Эта система питания является электронной, и управляется полностью с помощью бортового контроллера автомобиля. Благодаря такому решению удалось получить прирост в мощности, при этом уменьшилась токсичность отработавших газов, и уменьшился расход топлива.

В такой системе питания присутствует большое множество датчиков, благодаря которым происходит постоянный мониторинг рабочего процес-

са двигателя контроллером двигателя и его корректировка. Для повышения эффективности эксплуатации, обслуживания и ремонта автомобилей, оснащенных такой системой питания необходимо достоверно контролировать техническое состояние системы CommonRail [1].

Диагностирование выполняется с помощью различных сканеров. Благодаря им становится возможным получить развернутую информацию о техническом состоянии автомобиля в целом.

Особое внимание в топливной системе питания CommonRail требуют электрогидравлические форсунки. Их диагностирование является очень проблематичным и без специальных стендов практически невозможно [2]. Одним из основных параметров электрогидравлической форсунки является герметичность управляющего клапана [3]. Другими словами это количество топлива вытекаемое в магистраль обратного слива за единицу времени. Эти показатели определяются заводом – изготовителем, и если они выходят за пределы заводских, то форсунку можно считать неисправной [4].

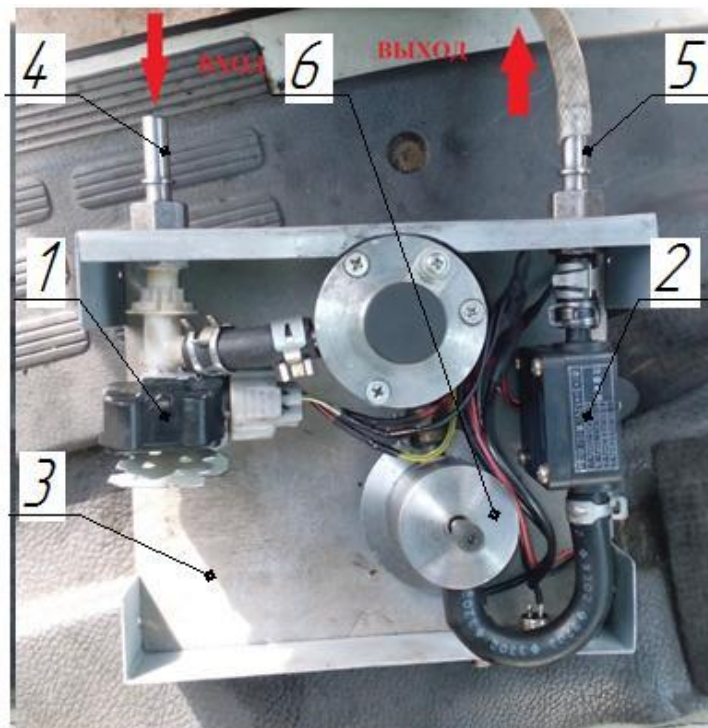
Данный параметр проверить сканером почти невозможно. Приходится затрачивать много усилий для демонтажа форсунок и установки их на специальный стенд. Ещё можно продиагностировать по такому параметру форсунки прямо на двигателе с помощью секундомера и мензурок со шкалой [5]. Такой метод занимает большое количество времени и необходимо условие, чтобы выходные штуцера обратной магистрали, были доступны для контроля.

Этот метод диагностики не всегда применим. Это связано с конструктивными особенностями двигателя и самих форсунок. Зачастую форсунки устанавливаются в труднодоступном месте, под клапанной крышкой, что делает такую проверку невозможным. У таких конструкций как правило имеется общий вывод обратной магистрали. С помощью специального устройства для диагностирования форсунок через общую магистраль слива можно продиагностировать форсунки с затрудненным доступом и оперативно выявить и заменить неисправную форсунку.

Описание устройства

Устройство (Рис.1) предназначено для повышения информативности и сокращения времени контроля технического состояния электрогидравлических форсунок по величине суммарного расхода топлива на управление в обратных магистралях, расположенных под клапанной крышкой, без снятия их с двигателя. Оно содержит датчики давления (1) и расхода топлива (2) в обратной магистрали, датчик синхронизации работающий на эффекте Холла для идентификации инжекторов (устанавливается на провод электрогидравлической форсунки), корпуса (3), входного (4) и выходного (5) штуцеров.

Датчик давления и датчик расхода топлива в обратной магистрали, объединены в один измерительный канал, выполненный с возможностью поддержания в нем давления подпора, с помощью регулируемого дросселя(6).

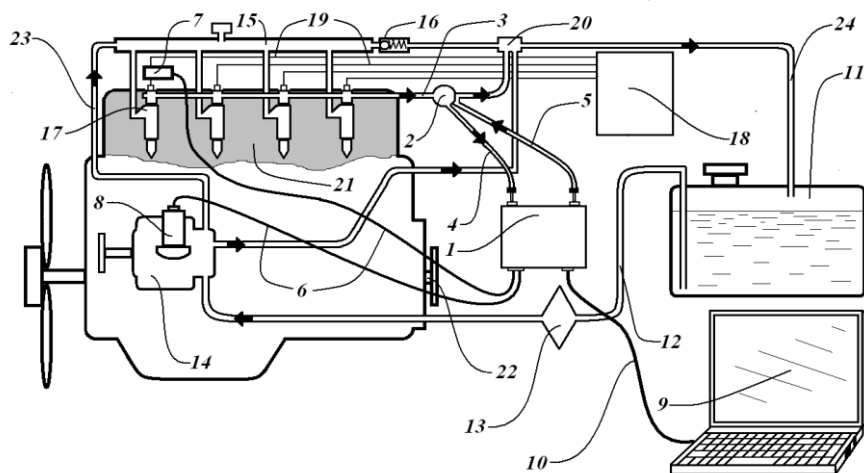


1 – Датчик давления; 2 – расходомер; 3 – корпус; 4 – входной штуцер; 5 – выходной штуцер; 6 – регулируемый дроссель.

Рисунок 1 - Устройство для диагностирования электрогидравлических форсунок по величине суммарного расхода топлива на управление в обратных магистралях

Схема подключения устройства

Устройство (рис.2) 1 соединено при помощи специального приспособления 2 с выходом общей обратной магистрали 3 двумя жёсткими шлангами: шлангом подачи 4 и шлангом возврата 5 топлива. Устройство 1 соединено, с помощью специальных средств передачи электрических сигналов 6 с датчиком импульсов первого цилиндра 7 и регулятором высокого давления 8 (для повышения информативности метода, при необходимости).



1 - Измерительный блок; 2 - соединение с общей обратной магистралью; 3 -общая обратная магистраль; 4 - входная трубка; 5 - сливная трубка; 6 - кабели дополнительных устройств; 7 - датчик синхронизирующего импульса; 8 - регулятор высокого давления; 9 - ПК; 10 - шина USB; 11 - топливный бак; 12 - подающая магистраль; 13 - топливный фильтр; 14 - топливный насос высокого давления; 15 - аккумулятор давления топлива; 16 - предохранительный клапан; 17 - форсунка; 18 - блок управления двигателем; 19 - проводка; 20 - соединитель; 21 - двигатель; 22 - коленчатый вал; 23 - магистраль высокого давления.

Рисунок 2 - Схема подключения устройства диагностики ЭГФ по общей обратной магистрали, патент Российской Федерации №2672992

Дополнительно устройство 1 подключено к персональному компьютеру (ПК) 9 с помощью шины USB 10. Кроме того, на схеме изображена цепь топливной системы, включающая топливный бак 11 с подающей топливной магистралью низкого давления 12, входящей в топливный фильтр грубой очистки 13, затем в насос высокого давления 14, подающий топливо через магистраль высокого давления 23 в топливный аккумулятор высокого давления 15, подающий топливо к ЭГФ 17, имеющий аварийный клапан 16, переходящий в соединитель обратных магистралей 20, электрическая цепь управления ЭГФ 19, соединитель сливных магистралей 20, переходящий в общую сливную трубопровод 24, возвращающий топливо в топливный бак 11, а так же электронный блок управления двигателем (ЭБУ) 18, связанный посредством электрических цепей 19 с ЭГФ 17, двигатель 21 с коленчатым валом 22.

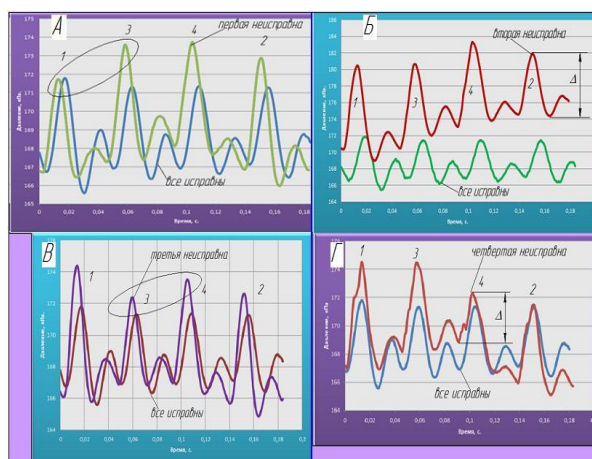
Способ испытания приборов высокого давления топливной системы дизеля, на работающем двигателе, заключается в следующем[6]. На неработающем двигателе, с помощью специального приспособления 2, по-

средством шланга подачи 4 и шланга возврата 5, подключают устройство 1, в цепь обратной топливной магистрали 3 и устанавливают датчик импульсов 7 на электрическую цепь ЭГФ 19 первого или любого другого цилиндра. Посредством соединительных устройств 6,10, соединяют устройство диагностики с датчиком импульсов 7, регулятором высокого давления топлива 8 и ПК 9.

Запускают двигатель 21 транспортного средства, устанавливают частоту вращения коленчатого вала 22, равную частоте вращения на холостом ходу или любую другую частоту вращения, соответствующую заранее внесённому в память компьютера тест-плану. При этом измеряют общий расход на управление и изменение давления в общей обратной магистрали 3, после синхронизации общего расхода по циклам работы двигателя, измеряют индивидуальный расход на управление каждой ЭГФ 17. При необходимости, для повышения информативности способа, давление в топливном аккумуляторе устанавливают регулятором высокого давления 8, с помощью микроконтроллера, посредством сигнала ШИМ. Заданные значения индивидуального расхода топлива на управление каждой ЭГФ 17, заранее вводятся в память компьютера 9. Сигналы, поступающие с датчиков устройства 1, входят в микроконтроллер, находящийся внутри устройства 1, который служит, для обработки сигналов датчиков, управления давлением в измерительном канале устройства 1 и связи с ПК 9. Полученные результаты заносят в электронный протокол испытаний, в память ПК 9.

Результаты

Результаты исследования представлены на Рис.3



А – Неисправна первая форсунка; Б – неисправна вторая форсунка;
В – неисправна третья форсунка; Г – неисправна четвертая форсунка.

Рисунок 3 - Результаты исследования

Вывод

В ходе проделанных экспериментов можно сделать выводы, что данный метод является оперативным и информативным. Его удобно применять в тяжелых условиях эксплуатации, где необходима быстрая и локальная замена вышедших из строя агрегатов. Так же можно использовать для диагностики больших грузовиков (MAN, КАМАЗ и т.д.). Очень удобно использовать данный метод в автосервисе при диагностике.

Список использованной литературы

1. Кривцов С.Н. Обоснование необходимости совершенствования стратегии технического сервиса аккумуляторных топливоподающих систем автомобильных дизельных двигателей // Автотранспортное предприятие №8 2016 с. 44-47.

2. Кривцов С.Н. Методологические основы диагностики автомобилей с дизельными двигателями, оснащенными аккумуляторной топливоподающей системой. Автореферат дисс... докт. техн. наук. Иркутск, 2017 – 40 с.

3. Кривцов С.Н. Методологические основы рационального применения методов диагностики автомобилей с дизельным двигателем и аккумуляторной топливоподающей системой в технологических процессах технического обслуживания и ремонта /Кривцов С.Н., Зедгенизов В.Г. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 4 (123). С. 176-187.

4. Кривцов С.Н. Измерение индуктивности электромагнита, как фактор повышения качества регулировки электрогидравлических форсунок CommonRail при ремонте // Автомобильная промышленность №7 2015. –с. 9–11.

5. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для вузов / Федотов А.И — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. — 468 с.

6. Патент РФ № 2672992 Способ испытания приборов высокого давления топливной системы дизеля на работающем двигателе и устройство для его осуществления.

КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ПИТАНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА НА СТЕНДАХ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТНВД

В.С. Бузов

Аннотация. Ввиду того что диагностирование топливных насосов высокого давления системы питания CommonRail является важной задачей, необходимо разработать прототип контроллера для проведения испытаний топливных насосов на стендах, который смог бы конкурировать на рынке с уже существующими аналогами по цене, но и не уступал в своих функциональных возможностях. Разработанный прототип контроллера и описанный в данной статье позволит не только проводить испытания топливных насосов высокого давления, но и форсунок системы питания CommonRail. В функциональные возможности контроллера будет входить изменение длительности импульса на форсунке, изменение давления в топливном аккумуляторе высокого давления и изменение силы тока на электромагнитном дозирующем устройстве.

Ключевые слова: система питания, топливный насос высокого давления (ТНВД), ШИМ, управление, контроллер.

Виктор Сергеевич Бузов - магистрант кафедры "Автомобильный транспорт", ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 40-51-36.

Введение

Одной из наиболее важных проблем в области диагностирования топливоподающих систем питания аккумуляторного типа системы CommonRail является диагностирование топливного насоса высокого давления (ТНВД). Существующие стенды для диагностирования ТНВД слишком дорогостоящие и многим предприятиям, которые имеют свой автопарк с системой питания CommonRail будет не выгодно приобретать такое оборудование [1,2]. Более рациональным решением является дооснащение существующих стендов специальными контроллерами [3].

Постановка задачи

Существующие контроллеры для проведения испытаний с ТНВД слишком дорогостоящие [4,5]. В связи с этим разработка контроллера для испытаний систем питания аккумуляторного типа является актуальной.

В основе разрабатываемого нами контроллера лежит микроконтроллер «atmega328», который управляет стендом в зависимости от режима работы, заданного оператором. Микроконтроллер был выбран исходя из того, что у него есть 14 цифровых входов/выходов и 8 аналоговых входов/выходов. Для реализации в действие контроллера этого будет достаточно[6]. ATmega328 легко доступен, прост в программировании и не дорог в цене.

Для управления форсункой, электромагнитным дозирующим устройством и клапаном регулировки давления топлива[7,8,9] было использовано 3 силовых ключа [10], которые служат для управления нагрузкой постоянного тока. При этом, используя [ШИМ-сигнал](#) можно регулировать подаваемое на нагрузку напряжение в широких пределах.

Для того чтобы транзисторный силовой ключ не насыщался отрицательным напряжением при обратной связи необходимо на контакты L- и L+ силового ключа установить диоды.

В ТНВД регулировка давления происходит за счет управления электромагнитным дозирующим устройством (электромагнитом), усилие которого зависит от силы тока[8]. Поэтому силовой ключ к нему необходимо подключать через датчик тока 20А ACS712 [11], который используется для измерения силы тока и интеграции в схемы защиты от перегрузки по току.

Для контроля процесса тестирования ТНВД прибор оснастили LCD дисплеем 20x4 с I2C, который использует 4 строки по 20 символов в каждой (всего 80 символов). В качестве источника питания был выбран блок питания, позволяющий получить напряжение постоянного тока 12 В, высокой мощности 360 Вт и номинальным током 30 А. Негерметичный перфорированный корпус выполняет функцию радиатора, защищая устройство от перегрева. За безопасность отвечает наличие комплексной защиты, которая не допустит возникновения короткого замыкания и перегрузки.

Питание 12 В необходимо только для транзисторных силовых ключей, всем остальным элементам контроллера необходимо питание 5 В, для этого был собран преобразователь напряжения из 12 В на входе и 5 В на выходе на базе транзистора L7805CV и двух конденсаторов на 0,033 и 0,1 мкФ. Электрическую схему такого преобразователя можно рассмотреть на рисунке 1.

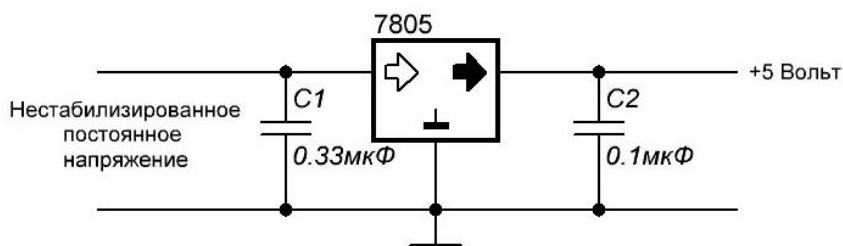


Рисунок 1 – Электрическая схема преобразователя напряжения

Также для того чтобы задавать режимы работы микроконтроллеру понадобятся восемь тактовых кнопок и клавишный выключатель 250В/15А для включения и выключения контроллера.

Для удобства сборки контроллера Разработана печатная плата. Схему печатной платы можно рассмотреть на рисунке 2.

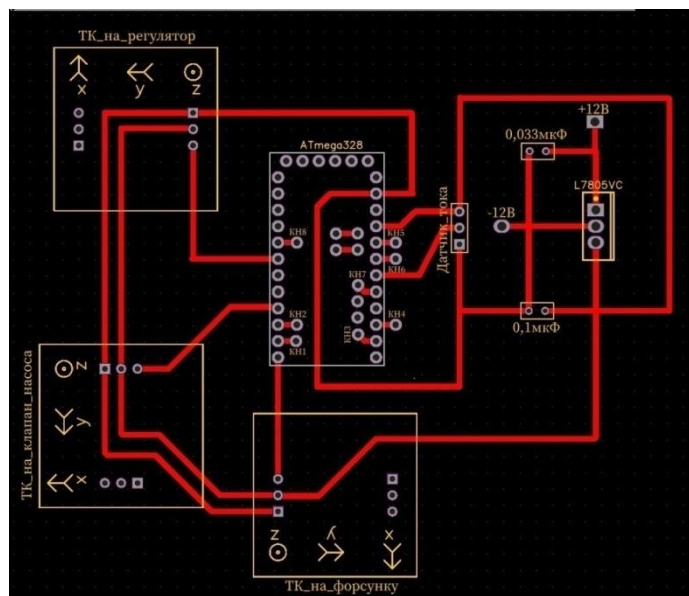
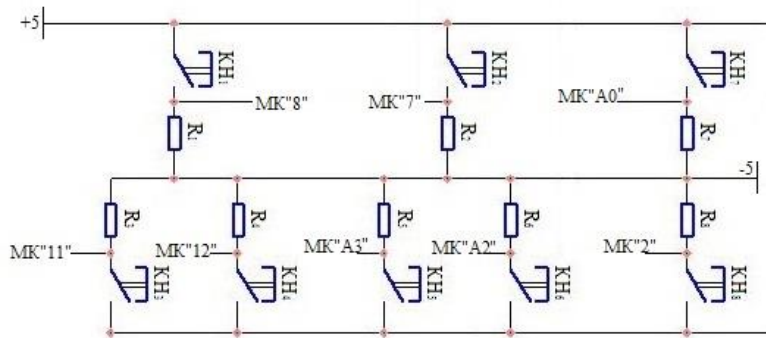


Рисунок 2 – Схема печатной платы

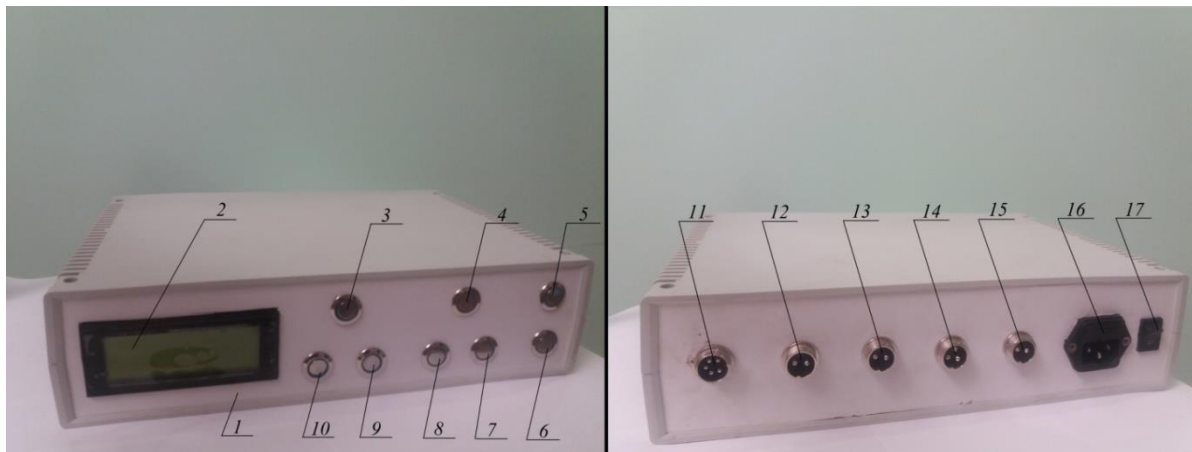
3. Подключение кнопок выполнили по схеме, изображённой на рисунке



КН – Тактовые кнопки; R–резисторы; МК – выход на микроконтроллер.

Рисунок 3 – Схема подключения тактовых кнопок

После сборки всех составляющих элементов в корпусе программируется микроконтроллер, тарируются датчики измерительной системы и далее можно приступать к испытаниям на стенде. Готовый прототип контроллера можно рассмотреть на рисунке 4.



1 – Корпус контроллера; 2 – дисплей; 3 – тактовая кнопка вкл/выкл импульсов на форсунку; 4 – тактовая кнопка вкл/выкл регулирования давления топлива; 5 – тактовая кнопка увеличения силы тока на электромагнитном дозирующем устройстве; 6 – тактовая кнопка уменьшения силы тока на электромагнитном дозирующем устройстве; 7 – тактовая кнопка уменьшения заданного давления; 8 – тактовая кнопка увеличения заданного давления; 9 – тактовая кнопка уменьшения длительности импульсов на форсунку; 10 – тактовая кнопка увеличения длительности импульсов на форсунку; 11 – разъем 5 pin для подключения программатора микроконтроллера; 12 – разъем 2 pin для подключения форсунки; 13 – разъем 2 pin для подключения клапана регулировки давления; 14 – разъем 3 pin для подключения датчика давления; 15 – разъем 2 pin для подключения электромагнитного дозирующего устройства; 16 – разъем для подключения сетевого кабеля; 17 – клавишный выключатель.

Рисунок 4 – Внешний вид контроллера

С помощью контроллера были проведены испытания ТНВД нагрузочной и скоростной характеристики. При скоростной характеристике ТНВД определяет зависимость подачи с топливного аккумулятора высокого давления от частоты вращения вала. Испытание проводится при постоянном давлении 80 МПа заданном контроллером за 100 циклов. Результаты испытания занесены в таблицу 1 и изображены на графике (рисунок 5).

Таблица 1 – Результаты скоростной характеристики ТНВД

Таблица 1 - Результаты испытания

Частота вращения вала мин ⁻¹	300	600	900	1200	1500
Подача, см ³	16	24	54	57	58

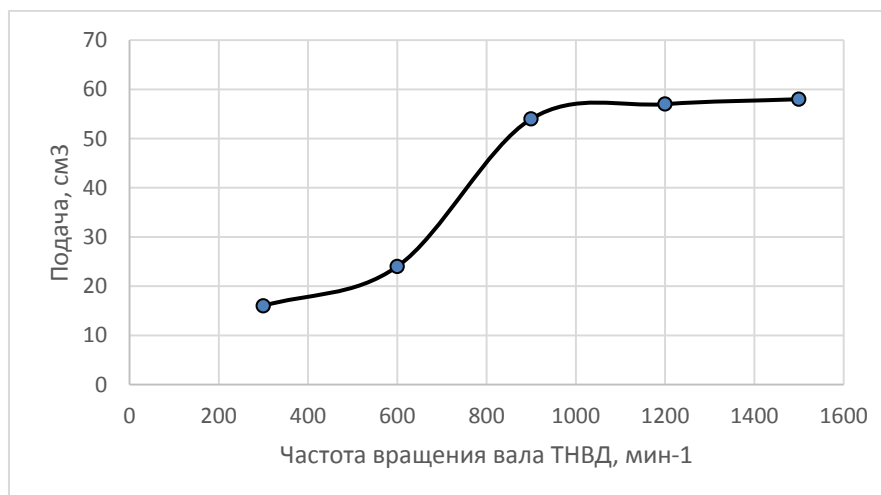


Рисунок 5 – График скоростной характеристики ТНВД

График показывает, что с увеличением частоты вращения вала ТНВД увеличивается и цикловая подача ТНВД. Это объясняется уменьшением времени на утечки через прецизионные зазоры с увеличением скорости плунжера.

При нагрузочной характеристике ТНВД определяет зависимость подачи с ТНВД от давления в топливном аккумуляторе высокого давления. Испытание проводили при постоянной частоте вращения вала 300 мин⁻¹ заданной стендом за 100 циклов. Результаты испытания занесены в таблицу 2 и изображены на графике (рисунок 6).

Таблица 2 – Результаты нагрузочной характеристики ТНВД

Давление топлива в ТАВД, МПа	0	25	50	75	100
Подача, см ³	27	25	17	16	12

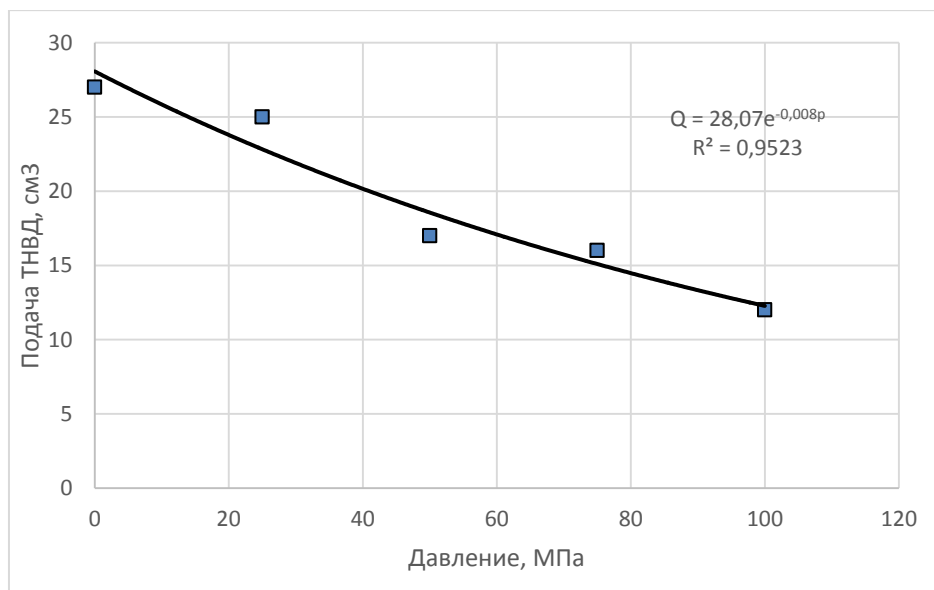


Рисунок 6 – График нагрузочной характеристики ТНВД

Анализ графика позволяет сделать вывод, что при увеличении давления в топливном аккумуляторе экспоненциально падает цикловая подача.

Проведенные исследования при разработке контроллера позволили сделать следующие выводы:

1. Разработанный контроллер для проведения испытаний систем питания аккумуляторного типа позволяет определять скоростную характеристику ТНВД при заданном противодавлении, нагрузочную характеристику ТНВД по давлению топлива, проводить испытание электрогидравлических форсунок и электромагнитного дозирующего устройства.

2. Разработанный технологический процесс проверки и испытания форсунки и топливных насосов системы питания CommonRail может быть внедрен в условиях предприятий, что, безусловно, позволит снизить эксплуатационные издержки при ремонте и позволит получить экономический эффект без существенных материальных затрат.

Список использованных источников

1. Кривцов С.Н. Обоснование необходимости совершенствования стратегии технического сервиса аккумуляторных топливоподающих систем автомобильных дизельных двигателей // Автотранспортное предприятие №8 2016 с. 44-47.

2. Кривцов С.Н. Методологические основы диагностики автомобилей с дизельными двигателями, оснащенными аккумуляторной топливоподающей системой. Автореферат дисс... докт. техн. наук. Иркутск, 2017 – 40 с.

3. Кривцов С.Н. «Модернизация стендов по регулировке ТНВД для работы с системой Common Rail» /Кривцов С.Н., Федотов А.И., Кривцова Т.И. //Автотранспортное предприятие. Изд-во Транснавигация. - №6. - 2015. – С. 31-34.
4. Dieselland [http://dieselland.ru/cr-tester-4-kh-kanalnyy-pribor-dlya-diagnostiki-i-testirovaniya-forsunok-common-rail-i-testirovaniya-nasosov-sr-1-sr-3] / Режим доступа: <http://dieselland.ru>, свободный. – Загл. с экрана;
5. Промышленная автоматика [http://www.elmic.ru/?q=node/984] / 2001 – 2018 – Режим доступа: <http://www.elmic.ru>, свободный. – Загл. с экрана;
6. Arduinoua [https://doc.arduino.ua/ru/hardware/ProMini] / 2018 – Режим доступа: <https://doc.arduino.ua>, свободный. – Загл. с экрана;
7. Кривцов С.Н. Измерение индуктивности электромагнита, как фактор повышения качества регулировки электрогидравлических форсунок Common Rail при ремонте. Автомобильная промышленность. Изд-во Инновационное машиностроение. - №7. - 2015. – С. 9-11.
8. Кривцов С.Н. Определение характеристики электромагнитных дозирующих устройств аккумуляторной топливоподающей системы автомобильного дизельного двигателя / Кривцов С.Н., Зимин В.Г., Малашкин И.В. // Политранспортные системы. Сборник IX Международной научно-технической конференции. Сибирский государственный университет путей сообщения. Изд-во СибГУПС. - 2017. С. 395-400.
9. Якимов И.В. Обоснование необходимости входной диагностики электрогидравлических форсунок аккумуляторных систем топливоподачи / Якимов И.В., Кривцов С.Н. // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация Сборник I Всероссийской заочной научно-практической конференции./ отв. ред. С.П. Озорнин. – Чита. - 2016. С. - 194-199.
10. Амперка (Тройка-модуль) [http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:troyka:mosfet] / Режим доступа: <http://wiki.amperka.ru>, свободный. – Загл. с экрана;
11. FreeDelivery интернет магазин [https://freedelivery.com.ua/arduino-100/datchiki-130/datchik-toka-20a-ac-s712-eff-holla-modul-arduino-1479.html] / 2010-2018 – Режим доступа: <https://freedelivery.com.ua>, свободный. – Загл. с экрана.

ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ

К.А. Бухаров

Аннотация. *Данная статья содержит в себе информацию о видах дорожных неровностей, представлена структурная схема и ее описание, алгоритм распознавания неровностей, приведена методика планирования эксперимента, а также отображены результаты распознавания искусственной неровности и ямы.*

Ключевые слова: *беспилотный автомобиль, дальномер, дорожная неровность.*

Кирилл Алексеевич Бухаров - магистрант кафедры Автомобильный транспорт, ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 40-51-36.

Введение

В настоящее время беспилотный автомобиль может передвигаться по улицам, опираясь на разметку, дорожные знаки, сигналы светофора. К сожалению, на дорогах есть условия, когда дорожная разметка не различима, видимость дорожных знаков затруднена и присутствуют дорожные неровности в виде лежачих полицейских, ям и т.д. Также существуют съезды с основной дороги на дорогу с грунтовым покрытием, где могут отсутствовать дорожные знаки и полное отсутствие разметки. В таких условиях, беспилотным автомобилям затруднительно продолжать свое движение. Водитель тоже не всегда в состоянии вовремя увидеть и отреагировать на дорожные неровности, препятствующие безопасному движению. Если не принять специальных мер, например, снизить скорость, есть большая вероятность того, что при преодолении препятствия могут быть повреждены детали неподрессоренной массы автомобиля и подвески. Такие последствия могут привести к аварийным ситуациям.

Учитывая написанное выше, становится актуальной разработка приборного комплекса, который способен распознать дорожные неровности при движении автомобиля, и мог бы оповещать сигналом водителя или систему автономного вождения о предстоящем препятствии. Впоследствии чего, водитель смог бы заблаговременно принять решение, посредством торможения или объездом дорожного препятствия.

Дорожные неровности по размеру и/или влиянию на колебания автомобиля сгруппируем в три вида [2]:

1) Макронеровности – состоят из длинных плавных неровностей с длиной волны 5 м и более. Влияют на работу двигателя автомобиля и режим его движения, но практически не вызывают ударных нагрузок на средних и высоких скоростях движения.

2) Микронеровности – состоят из неровностей длиной от 10 см до 5 м. Вызывают значительные колебания автомобиля на подвеске. Характеризуют ровность дороги.

3) Шероховатость – совокупность неровностей с длиной волны до 10 см. Не вызывают низкочастотных колебаний автомобиля на подвеске, т.к. их воздействие поглощают шины.

Главной задачей научного исследования, является определение оптимального скоростного режима для достоверного распознавания макронеровностей, определение характеристик датчика для получения нужного результата, а также определение места установки датчика, для отображения достоверной информации о состоянии дорожных неровностей.

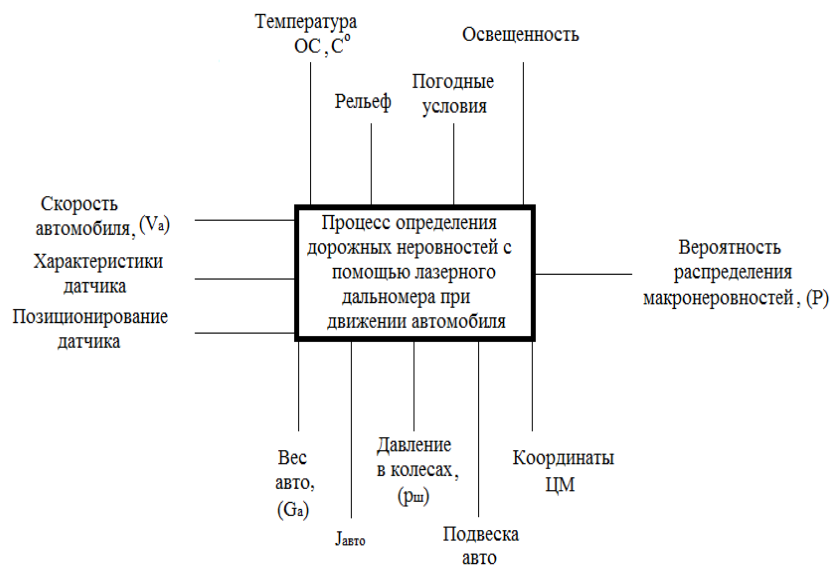


Рисунок 1– Структурная схема процесса

На объект исследования влияют множество факторов, таких как:

Внешние факторы, к ним относятся:

- Температура окружающей среды;
- Рельеф;
- Погодные условия;
- Освещенность.

Внутренние параметры:

- Вес автомобиля;

- Давление в шинах;
- Подвеска автомобиля;
- Момент инерции автомобиля;
- Координаты ЦМ.

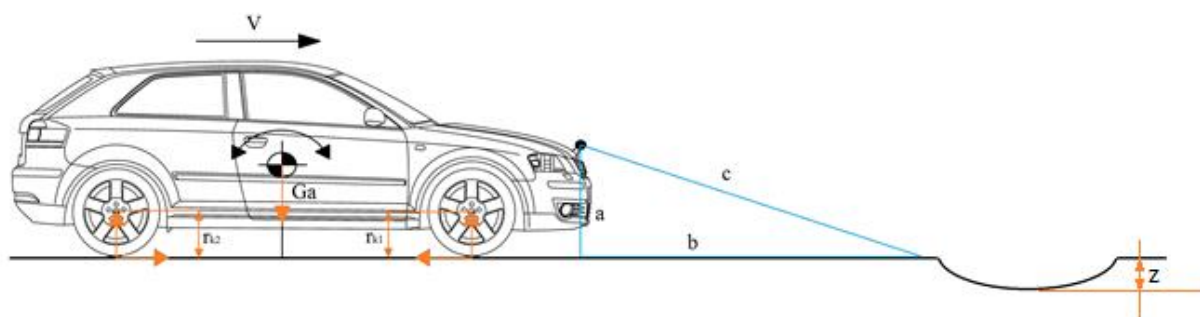
Управляющие параметры:

- Скорость автомобиля;
- Характеристики датчика;
- Позиционирование датчика.

Функциональные параметры:

- Вероятность распределения макронеровностей.

Объектом исследования является процесс определения дорожных неровностей, с помощью лазерного дальномера, при движении автомобиля. Рассмотрим процесс движения автомобиля по ровному асфальто-бетонному покрытию со скоростью V . В течение движения дальномер определяет расстояние до дорожного полотна. Причем датчик расстояния разместим под углом к дороге, чтобы иметь возможность системе управления отреагировать на неожиданно возникшую неровность (например, яму). Практически все дальномеры работают на сходном принципе, отправляя луч до препятствия и измеряя время возвращения луча. Это определяет быстроедействие системы.



a – Высота установки датчика; b – расстояние от установки датчика до измеренного значения; c – среднее расстояние до поверхности дороги (при расстоянии a); V – скорость автомобиля; G_a – вес автомобиля; r_{k1} и r_{k2} – радиус качения переднего и заднего колес соответственно.

Рисунок 2 – Схема движения автомобиля с установленным дальномером для распознавания дорожных неровностей

Для получения точных данных о состоянии дорожных неровностей, необходимо установить датчик как можно ближе к крайней передней точке автомобиля.

Дискретность (шаг) измерения зависит от быстродействия датчика, т.к. за время измерения автомобиль проходит расстояние

$$\Delta S = \frac{V}{f} \quad (1)$$

где f – частота измерений, Гц.

Высота установки датчика повлияет на точность полученных показаний. Зная высоту установки и измеренное им расстояние, можно определить расстояние до объекта или неровности по теореме Пифагора

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}. \quad (2)$$

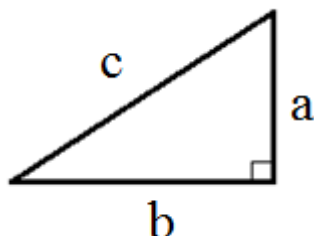


Рисунок 3 - Расчётная схема

Сканирование дорожного пространства и определение дорожной неровности, происходит по следующим критериям:

➤ если $c_{\text{факт}}$ все еще больше $c_{\text{исх}}$ – это ЯМА, в этом случае электронная система автомобиля переходит к определению глубины ямы и последующему принятию мер;

➤ если величина «z» меньше (или больше) – это ГЛУБИНА ямы, по ГОСТ Р50597-2017 глубина ямы равна 5 см, в этом случае электронная система автомобиля принимает решение, если величина $z < 5$, автомобиль может проехать дальше, если же $z > 5$, автомобилю необходимо сбросить скорость, либо обрулить препятствие[1].

Ниже приведем алгоритм для распознавания дорожных неровностей (рис. 5)

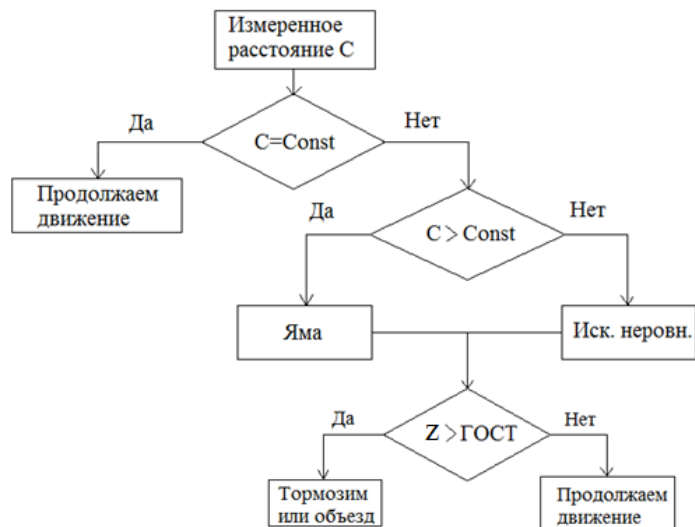


Рисунок 5 – Алгоритм распознавания дорожных неровностей

Планирование эксперимента

Для распознавания дорожных неровностей необходимо использовать устройство, позволяющее определить расстояние до объекта. Таким устройством послужил лазерный дальномер, ключевыми характеристиками которого является быстрдействие и дальность работы, подключенный к плате ArduinoLeonardo, либо через преобразователь USB-TTL напрямую к COM-порту компьютера.

Испытания по распознаванию дорожных неровностей, проводились на автомобиле KiaRio.

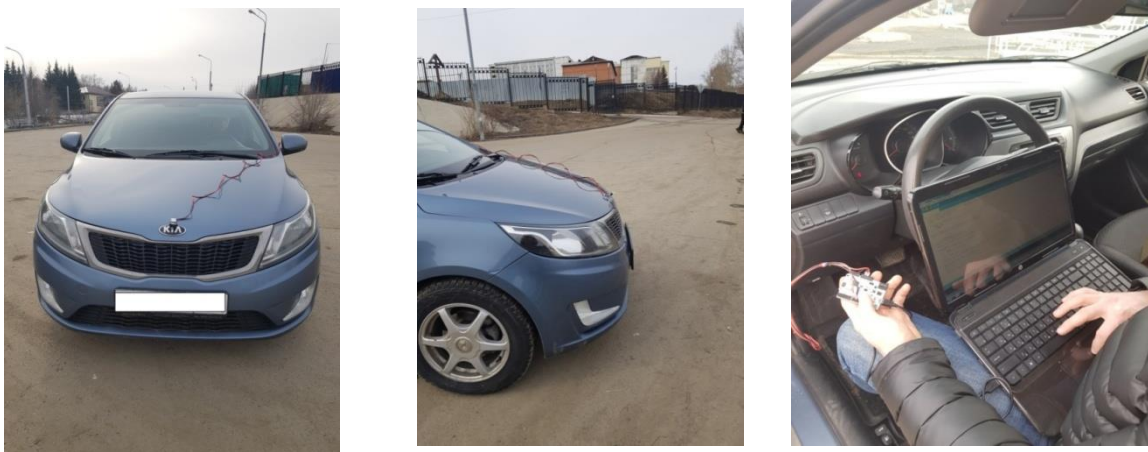


Рисунок 6 – Место установки и подключение датчика

С помощью компьютера, на плату Arduino загружаем программу, для управления лазерным дальномером, который устанавливается на передней части автомобиля. Через программное обеспечение Terminal, выводим результаты измерения датчика.

По результатам экспериментальных данных, были получены графические зависимости: расстояние пройденное лазером от количества измерений датчика. Расстояние от земли до точки установки датчика составляет 50 см. Угол наклона датчика относительно плоскости дороги, равен 30°.

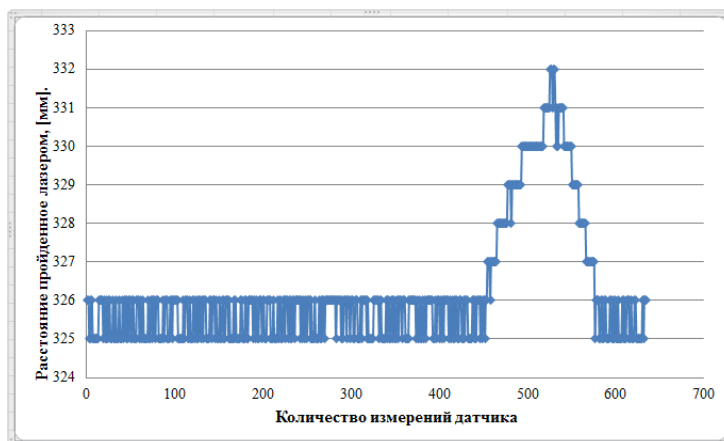


Рисунок 7 – График изменения расстояния до поверхности дорожного покрытия (с) при скорости 20 км/ч

Анализ данных, представленных на рис. 8, позволяет сделать вывод о том, что дальномер зафиксировал увеличение дальности до дорожного покрытия. Таким образом, распозналась дорожная неровность – яма.

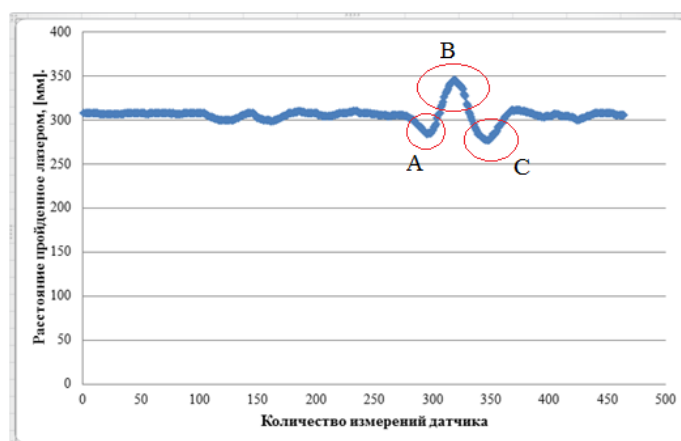


Рисунок 8 – График изменения расстояния до поверхности дорожного покрытия (с) (проезд «лежачего полицейского») при скорости 40 км/ч

На рис.6представлена диаграмма проезда лежачего полицейского на скорости 40 км/ч; которая указывает, что вогнутость –это искусственная неровность (лежачий полицейский), так как при попадании луча на лежачий полицейский, измеренное расстояние датчиком уменьшается. Участок А – указывает на то, что в этот момент перед лазером возникло препятствие. Участок В – указывает на то, что передняя часть автомобиля наехала на препятствие, следовательно, расстояние увеличилось. Участок С – указывает на колебания поддрессоренной массы, а именно координаты установки датчика *b* (рис. 2).

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения.
2. Организация и безопасность движения [<http://road-traffic-safety.blogspot.com/2012/09/rovnost-dorogi-vidy-nerovnostey.html>].
3. BestPilot[<https://bespilot.com/chastye-voprosy/kak-rabotaet-bespilotnyj-avtomobil>].
4. Tproger[<https://tproger.ru/articles/self-driving-cars-howto/>].

УДК 629.3.083.4:658.2

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА КАРЬЕРНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА

А.Н. Ляпин, О.В. Ляпина, Ю.А. Власов, В.Р. Фукс

Аннотация. В работе показано, что агрегаты карьерных автосамосвалов, оборудованные замкнутыми системами смазки, наряду с инструментальным контролем, целесообразно диагностировать в лабораториях физико-химического и спектрального анализа масла.

Ключевые слова: диагностика, автосамосвал, работающее масло.

Алексей Николаевич Ляпин - инженер отдела МТС, ООО «Газпром-трансгаз-Томск», г. Томск, E-mail: reduktor@sibmail.com.

Ольга Викторовна Ляпина - ст. преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт и электротехника», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: reduktor@sibmail.com.

Юрий Алексеевич Власов - д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт и электротехника», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: yury2006@yandex.ru.

Владимир Рувинович Фукс - канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт и электротехника», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: fuxv1958@gmail.com.

Эксплуатация карьерных автосамосвалов (КАС), работающих на открытых разработках полезных ископаемых, сопряжена с высокой концентрацией пыли в окружающем воздухе. Попадание частиц пыли в работающее масло приводит к повышенному абразивному изнашиванию деталей трибосопряжений, и, как следствие, к снижению долговечности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) или агрегатов с замкнутыми системами смазки. К числу основных факторов, влияющих на износ деталей, можно отнести: холодный запуск двигателей и несоблюдение оптимального температурного режима; неисправности систем очистки воздуха и масла; применение несоответствующих горючесмазочных материалов; несвоевременное техническое обслуживание систем питания; неквалифицированное управление машиной; использование машины не по назначению [1, 2]. Установлено, что работа двигателей КАС на 60...70 % превышает установленную нагрузку по времени [3].

Заводы-изготовители ведут непрерывное совершенствование силовых установок, предназначенных для обеспечения высокой эффективности очистки воздуха, обеспечения оптимального температурного режима, использования высокопрочных и износостойких материалов, совершенствования технологии их производства и т.д. Однако использование современных конструкций и высоких технологических показателей невозможно без грамотно поставленной технической эксплуатации КАС.

Эффективную организацию системы диагностирования КАС на автотранспортных предприятиях горнодобывающей отрасли рассмотрим на примере ОАО разреза «Шестаки», который входит в группу предприятий АО «Стройсервис» г. Кемерово. В эксплуатации автотранспортного управления разреза находится парк автосамосвалов большой грузоподъемности с гидромеханической трансмиссией Белорусского автозавода – БелАЗ-7547, БелАЗ-7548, БелАЗ-7555В, с электромеханической трансмиссией – БелАЗ 75131, а также автосамосвалы японских автопроизводителей Komatsu HD785.

Анализ выявленных неисправностей в автотранспортном управлении разреза позволил установить процентное содержание отказов агрегатов КАС по группам, где основную долю составляют агрегаты с замкнутой системой смазки: двигатели внутреннего сгорания – 40 %, агрегаты транс-

миссии – 25 %, агрегаты тормозной системы – 7 %, рулевого управления – 4 %, гидравлической системы – 2 %, а также элементы электрооборудования – 5 % и шасси – 17 %.

На основе комплексного характера информации работающего масла появилась возможность создавать высокоэффективные системы эксплуатационного контроля и управления надежностью и экономичностью машин и механизмов в условиях транспортных предприятий. Применение такой системы приводит к увеличению долговечности двигателей на 30...40 %, ресурс механических передач возрастает до 50 %, экономия топлива достигает порядка 4...5 %, а масла до 30 %, что в свою очередь благоприятно сказывается на решении экологических проблем [2...4].

Информация, полученная при помощи параметров работающего масла, позволяет с высокой достоверностью оценить техническое состояние узла или группы деталей в целом, но не может дать конкретной информации о месте нарушения неисправности. Эту задачу можно решить с применением методов инструментальной диагностики, что нарушает в определенной степени принцип безразборного подхода к оценке работоспособности.

В настоящее время инструментальная диагностика в автотранспортном управлении разреза «Шестаки» включает набор приборов и специального оборудования: профессиональный инструмент фирмы STANLWILLE (Германия), тестер тормозной жидкости, рефрактометр, мультиметр, компрессометр, неконтактный инфракрасный термометр (пирометр), дымомер ИНФРАКАР-Д, эндоскоп, включающий осветитель, стробоскоп дизельный, гидротестер и другое оборудование.

Данные приборы значительно улучшили работу службы диагностики автотранспортного управления разреза «Шестаки». Однако, как отмечалось выше, инструментальный контроль дополняет информацию о состоянии КАС, а наибольшая эффективность диагностирования достигается внедрением системы контроля и управления надежностью агрегатов машин по параметрам масла (СКУНА ПМ).

Материально-технической базой СКУНА ПМ в автотранспортном управлении разреза «Шестаки» являются лаборатории физико-химического и спектрального методов анализа масла. Лаборатории осуществляют комплексное решение вопросов диагностики агрегатов машин, определение пригодности работающего масла к дальнейшей эксплуатации, нахождение и устранение причин, приводящих к снижению долговечности силовых агрегатов и увеличению расхода топлива и смазочного материала. Кроме того, лаборатории осуществляют контроль и несут ответственность за качество поступающих свежих нефтепродуктов (моторного и трансмиссионного масел, смазочных материалов, а также топлива и рабочих жидкостей), поступающих на предприятие.

Для организации контроля пригодности работающего масла к дальнейшей эксплуатации, а также для диагностики двигателей и агрегатов трансмиссии выбраны следующие параметры, по которым определяют качество работающего масла: негорючие механические примеси в масле; температура вспышки масла; наличие воды в масле; наличие водорастворимых кислот; водородный показатель; щелочное число.

Для определения качества топлива определяют фактическое содержание смол в топливе и его фракционный состав.

Диагностика технического состояния силовых агрегатов методом спектрального анализа масла на оптико-эмиссионном спектрометре МФС-11 производится на основе определения концентрации характерных химических элементов износа в работающем масле.

Общая схема диагностики силового агрегата и контроля качества работающего масла в предприятии выглядит следующим образом. Каждая партия поступающего в предприятие масла подвергается анализу, на основе которого выдается заключение о пригодности его в эксплуатации.

На каждый силовой агрегат (двигатель внутреннего сгорания, гидромеханическую передачу, редуктор заднего моста, бортовой редуктор, гидросистему) заведена учетная карточка, в которой отмечаются результаты анализа работающего масла, даты смен масла и пробег при каждой смене масла и его техническое состояние.

Результаты анализа работающего масла с рекомендациями по техническому обслуживанию и списком устраненных неисправностей ежедневно регистрируются в специальном журнале. Результаты анализа свежего масла и топлива регистрируются по мере поступления их на предприятие.

На предприятии составляется карта диагностики на каждую КАС, в которой фиксируются все диагностические параметры машины, также ведется учет расхода горюче-смазочных материалов. Ведется документация по контролю состояния спидометров (мотосчетчиков), журнал дымности, талон токсичности, справка о работе службы диагностики, составляется отчет лаборатории и технологическая карта ремонтных работ.

Системный контроль работающего масла отобранного из двигателей, гидромеханических передач, редукторов заднего моста КАС, от количества выполненных анализов проб в лабораториях физико-химического и спектрального анализа, позволяет выявлять не менее 15% неисправностей, не прибегая к разбору агрегата.

Очевидно, что совершенствование организации службы инструментального диагностирования КАС, за счет внедрения системы контроля и управления надежностью агрегатов по параметрам работающего масла, позволяет автотранспортному управлению разреза «Шестаки» на ранних стадиях предупреждать возникновение отказов, сокращать простои КАС в ремонте, значительно снижать стоимость выполняемых работ и затраты на запасные части.

Список использованной литературы

1. Соколов А.И., Тищенко Н.Т., Аметов В.А. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1991. – 200 с.
2. Власов Ю.А. Организация системы диагностирования карьерных самосвалов по параметрам работающего масла / Ю.А. Власов // Горная промышленность. – 2013. – №4 (110) – С. 91.
3. Система диагностирования транспортно-технологических машин в условиях разреза «Шестаки» / Ю.А. Власов, О.В. Пономарева, Ю.С. Саркисов, Н.Т. Тищенко, А.И. Тузовский // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2009. – С. 84-88.
4. Власов Ю.А. Организация и метод диагностического контроля самосвалов БелАЗ по параметрам работающего масла / Ю.А. Власов // Грузовик. – 2014. - №1 – С. 21–25.

УДК 629.113

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОДРЕССОРЕННЫХ МАСС АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДВЕСКИ

И.Д. Деньгин, С.Н. Кривцов

Аннотация. Данная статья содержит в себе описание приборного комплекса, работа которого основана на измерении расстояния при помощи ультразвуковых волн. А также результаты экспериментов, проведенных при помощи разработанного приборного комплекса.

Ключевые слова: диагностика подвески, подрессоренные массы, ультразвук, датчик, колебания.

Сергей Николаевич Кривцов - д.т.н., профессор кафедры "Автомобильный транспорт", ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 40-51-36.

Игорь Димитриевич Деньгин - магистрант кафедры "Автомобильный транспорт", ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 40-51-36.

Основной неисправностью подвески является изменение характеристик демпфирующих элементов и подвижных соединений, приводящее к ухудшению гашения колебаний. Основным демпфирующим элементом подвески является амортизатор. Наиболее частые причины неисправности

амортизатора — нарушение герметичности (течь масла), износ или механические повреждения элементов конструкции амортизатора (разрушение клапанов, отворачивание поршня, коррозия штока и т.д.).

При неисправных амортизаторах ухудшается сцепление колес с поверхностью дороги, и автомобиль начинает хуже слушаться руля, отклоняется от заданной траектории движения. Например, при движении на повороте по неровной дороге автомобиль самопроизвольно смещается "наружу", распрямляя траекторию. Увеличиваются крены кузова при прохождении поворотов и интенсивном торможении. При проезде значительных неровностей даже на небольшой скорости возможны пробои подвески (полностью выбирается ход подвески, при этом амортизатор не успевает погасить колебание колеса), сопровождаемые сильным ударом в области колеса, с неисправным амортизатором. Автомобиль, колесо которого вывешено в воздухе, не может тормозить, разгоняться или поворачивать, т.е. становится неуправляемым.

Кроме того, неисправные амортизаторы ускоряют износ многих деталей и узлов ходовой части:

- подшипников ступиц,
- шин (характерный "пятнистый" износ),
- пружин или рессор,
- опор стоек подвески,
- резинометаллических шарниров (сайлент-блоков),
- шаровых шарниров, узлов рулевого управления,
- шарниров равных угловых скоростей (ШРУСов).

Существует несколько методов определения состояния амортизаторов:

- визуальный осмотр и подсчет колебаний кузова автомобиля (самый простой и самый дешевый способ оценки работоспособности амортизаторов, позволяет оценить лишь малую часть критериев работоспособности амортизатора);
- снятие характеристик работы амортизатора (самый точный метод проверки исправности амортизатора, но самый дорогой);
- методы измерения по колебаниям кузова (самый быстрый, но недостаточно объективный метод проверки амортизаторов);
- методы измерения по колебаниям колес (самый оптимальный метод, дает объективную оценку работоспособности амортизаторов, не занимает много времени на проведение измерений, не требует дополнительных затрат по разборке подвески автомобиля).

Два последних метода заключаются в диагностировании не самих амортизаторов, а работы подвески в целом. При этом на результаты испы-

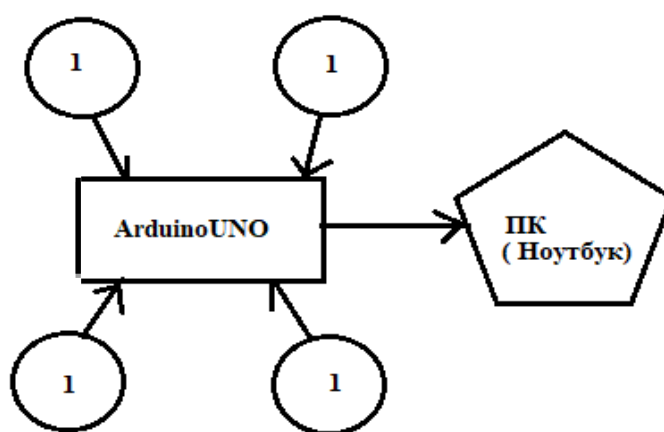
таний в о пределенной степени влияет состояние шарниров, пружин, стабилизаторов, давление в шинах и пр.

Метод определения колебаний поддресоренных масс автомобиля

Суть метода заключается в определении колебаний поддресоренных масс автомобиля над каждым из 4-х колес стандартного легкового автомобиля по средствам ультразвуковых датчиков. Определение колебаний в четырех точках автомобиля необходимо для получения наиболее точных показаний, что позволяет более точно понять каким образом происходят колебания поддресоренных масс и соответственно увидеть какой амортизатор работает правильно, а какой нет. Основным преимуществом, является то, что можно производить измерения во время движения автомобиля и увидеть как подвеска «отрабатывает» все типы неровностей. Именно возможность проверки подвески автомобиля на поверхности любого типа позволяет дать более точное заключение о состоянии не только амортизаторов, но и других элементов подвески.

Конструкция устройства

Разработанный приборный комплекс для определения колебаний поддресоренных масс автомобиля базируется на микроконтроллере ArduinoUNO, именно его функционал позволяет получать показания одновременно с 2-х и более датчиков, для их последующей обработки. В качестве источников ультра звуковых волн выступают ультразвуковые датчики HCSR04, они позволяют принимать и испускать ультразвуковые волны с частотой 40 кГц (в будущем планируется использование лазерных дальномеров). На рис.1 представлена общая схема комплекса.



1 – Ультразвуковые датчики.

Рисунок 1 – Общая схема комплекса

В ходе дорожных испытаний полученные сигналы с датчика после их распознавания микропроцессором передавались в компьютер при помощи кабеля и СОМ порта. После обрабатывались при помощи программного обеспечения Terminal.exe.

Программа Terminal позволяет сохранять данные получаемые от датчика на компьютер с последующей обработкой.

Изначально данные представляли собой распознанное расстояние датчиком выведенное в программе Terminal.exe в виде одного столбца.

Для обработки данных и построения графических зависимостей была выбрана программа MicrosoftOfficeExcel. (рис.2).

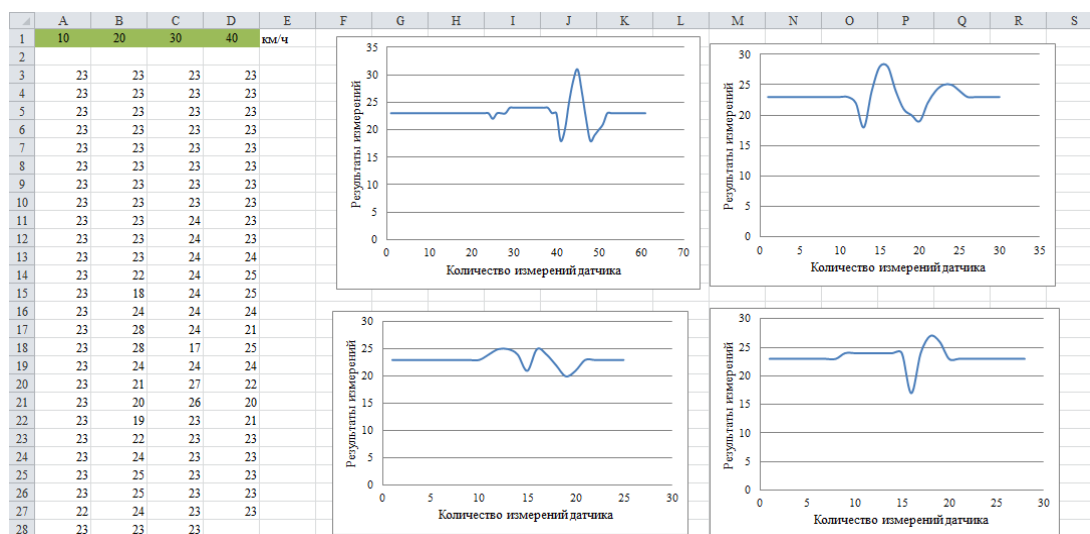


Рисунок 2 – Построение графических зависимостей в программе Microsoft Excel, по результатам экспериментальных данных

При помощи данной программы были построены графики колебания подпрессоренной массы автомобиля, которые позволили увидеть работу подвески при различных скоростях.

Результаты экспериментального исследования

Изначально был установлен один датчик на переднюю часть автомобиля для понимания правильности и адекватности работы разработанного приборного комплекса (рис. 3).

После выполнения нескольких заездов был получен результат колебаний подпрессоренных масс автомобиля, который соответствовал действительности и в большей мере отображал реальное поведение подвески автомобиля на тот момент (амортизаторы автомобиля были умышленно заменены не рабочими).



Рисунок 3 – Место установки одного ультразвукового датчика

На рисунке 5 показаны колебания подрессоренных масс автомобиля при проезде одной и той же неровности на различных скоростях.

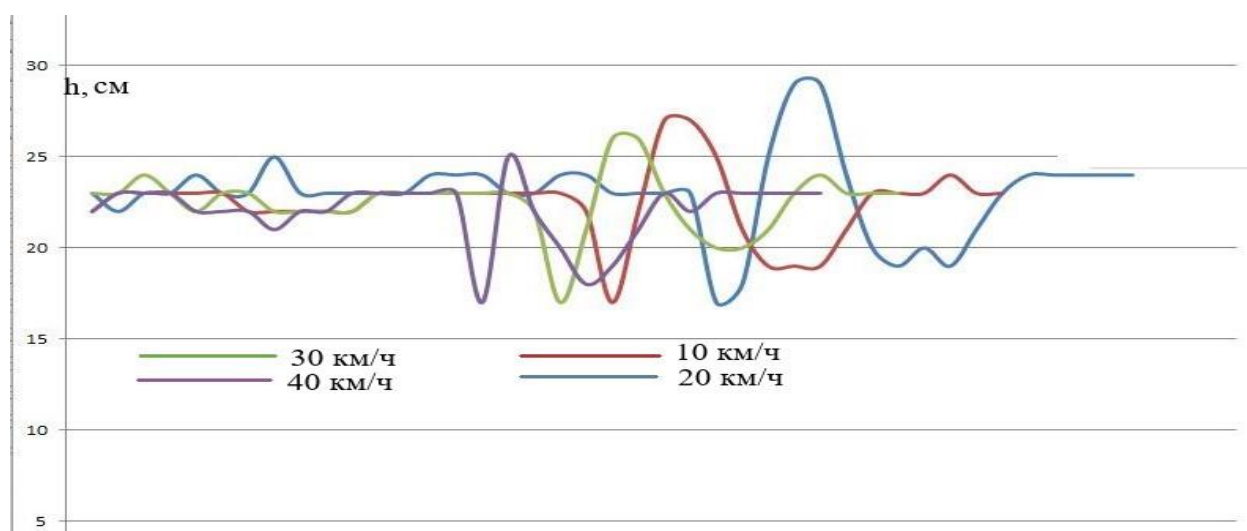


Рисунок 4 – Колебания подрессоренных масс автомобиля на различных скоростях

Убедившись в адекватности работы разработанного комплекса были установлены все 4 ультразвуковых датчика и произведены повторные замеры. Были получены графики колебаний передней и задней оси автомобиля (рис. 5 и 6).

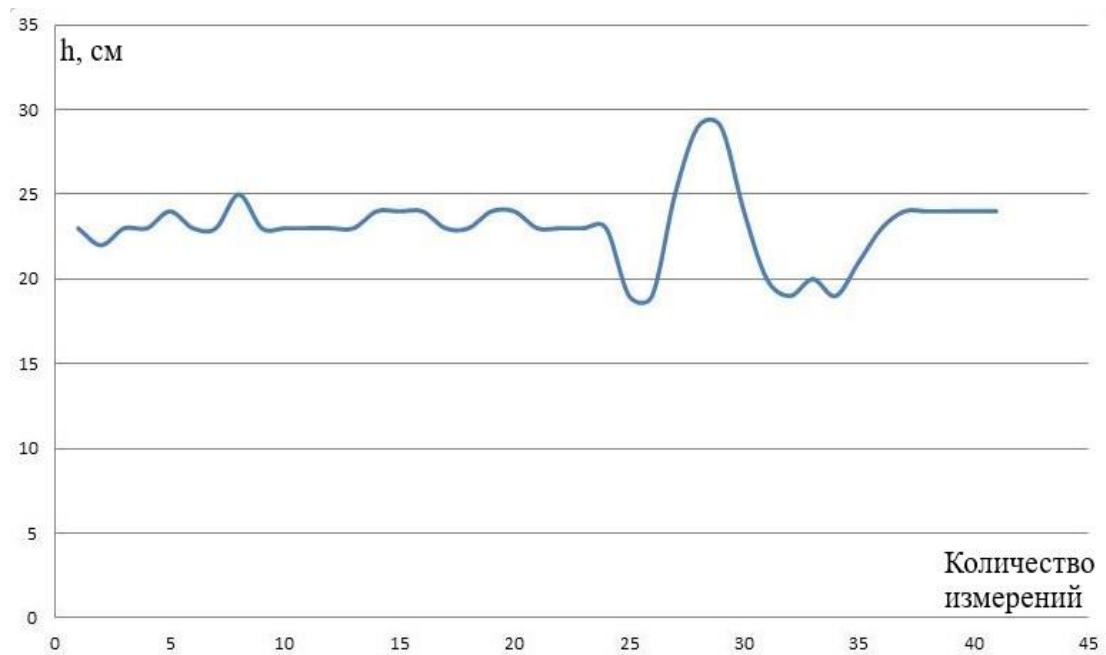


Рисунок 5 – Колебания передней оси автомобиля

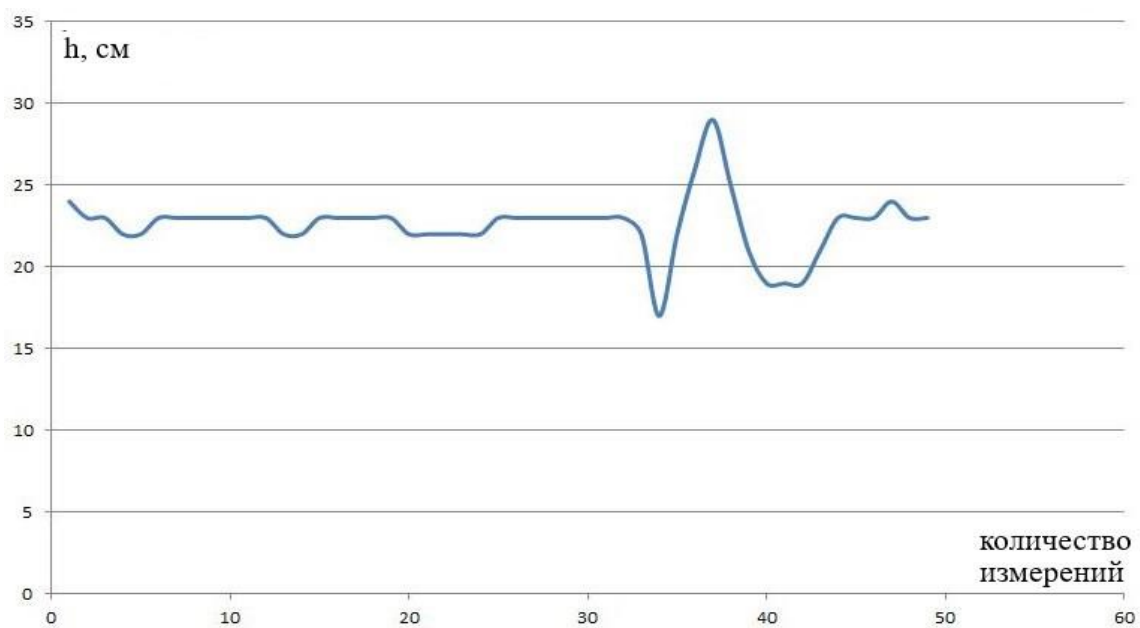


Рисунок 6 - Колебания задней оси автомобиля

После получения результатов амортизаторы автомобиля были заменены на исправные и произведены те же измерения, что и на неисправной подвеске в тех же погодных условиях (рис. 7, 8 и 9).

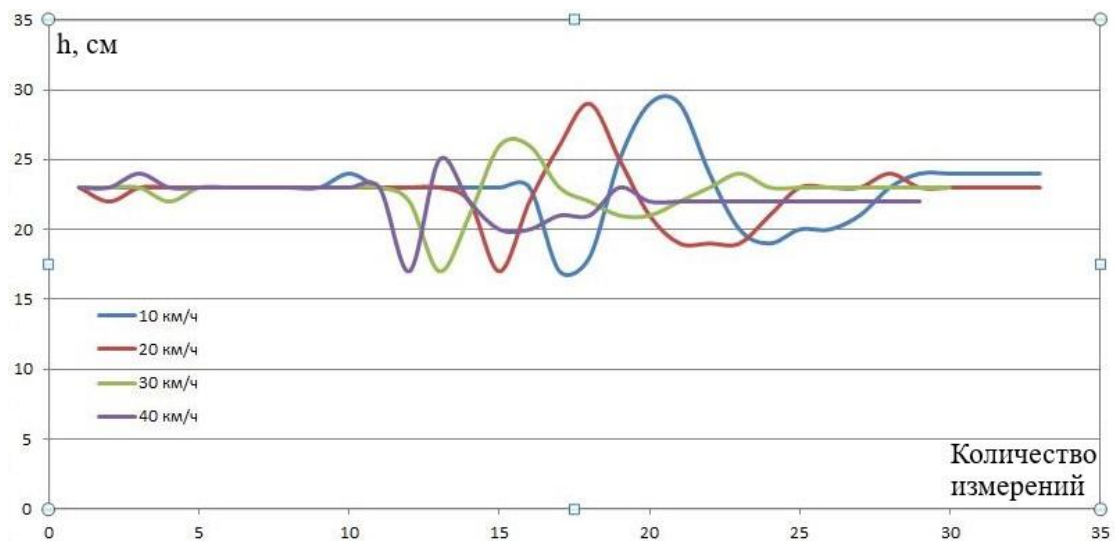


Рисунок 7 - Колебания поддресоренных масс автомобиля на различных скоростях при исправных амортизаторах

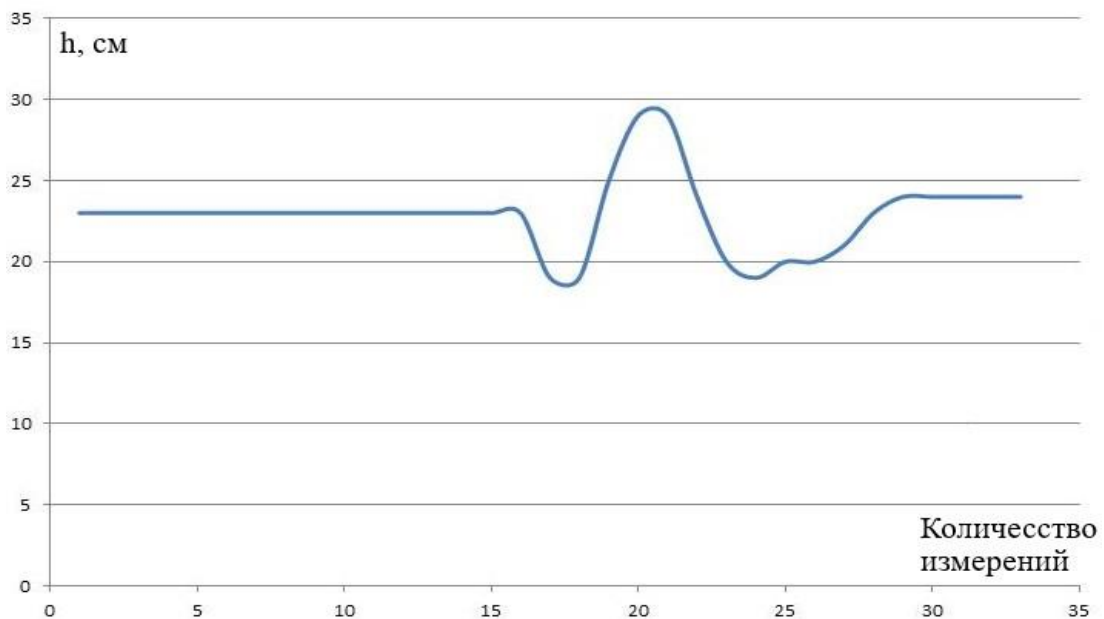


Рисунок 8 - Колебания передней оси автомобиля при исправных амортизаторах

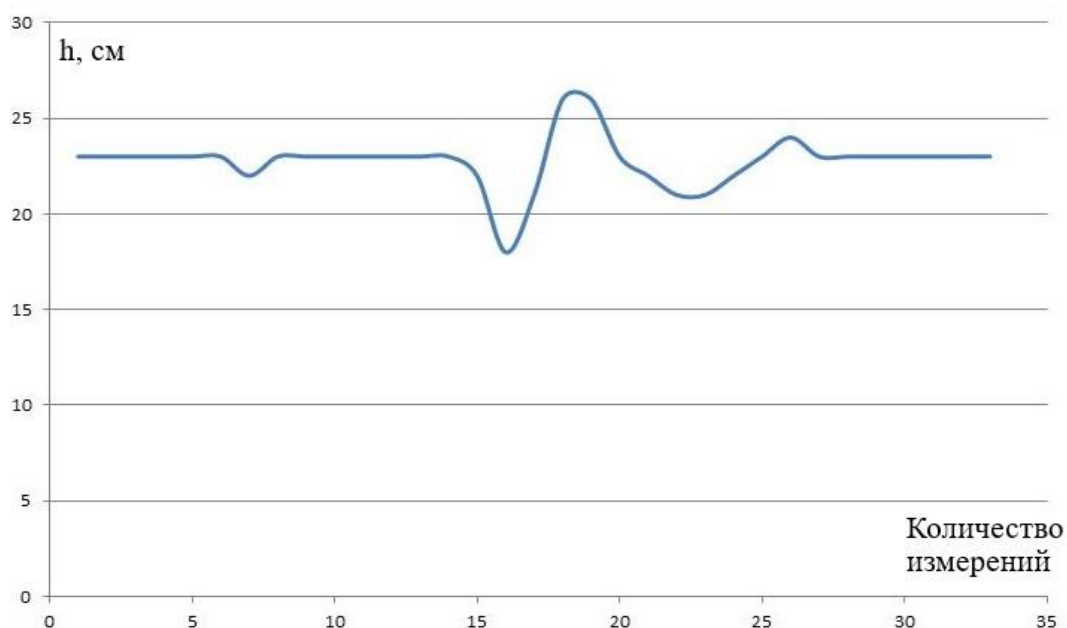


Рисунок 9 - Колебания задней оси автомобиля при исправных амортизаторах

Как хорошо видно на рисунках 4 и 5 независимо от исправности подвески амплитуда первого колебания обратно пропорциональна скорости, но дальнейшее выравнивание автомобиля происходит намного быстрее и колебания кузова затухают интенсивнее. Следовательно метод позволяет определить состояние демпфирующих элементов подвески, но требует определенной доработки, а именно установки пятого – компенсационного датчика, увеличение числа измерений в секунду (по средствам установки оптических датчиков), выявление четкой математической зависимости колебания подрессоренной массы приходящейся на каждое из колес автомобиля от демпфирующего элемента установленного на этом колесе.

Список использованной литературы

1. Бармашова Л. В. Испытание автомобилей. Учебное пособие, том 1 / Бармашова Л. В., Матисов А. А. — Вязьма: Изд-во ФГБОУ ВПО «МГИУ», 2012. – 316 с.
2. ГОСТ Р 51709 – 2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. – Введ. 01.01.02 – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 40 с
3. СТО ИРНИТУ 05 – 2009. Система качества подготовки специалистов. Оформление курсовых и дипломных проектов. – Иркутск, Изд-во ИРНИТУ, 2009. – 40 с.
4. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для вузов / Федотов А.И — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. — 468 с.

5. Федотов А.И. Основы проектирования и расчета транспортных и транспортно-технологических машин: учебное пособие / Федотов А.И., Зарщиков А.М. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. — 342 с.

УДК 621.43.001.4:681.518.3

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ДВС С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСТРАИВАЕМОЙ МОДЕЛИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ

И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко

***Аннотация.** Рассмотрены рабочие процессы ДВС, его отдельных систем и механизмов (объектов экспертизы) как случайные и нестационарные. На основе анализа уравнения динамики ДВС, учитывающего важнейшие влияющие факторы, обосновано применение при определении технического состояния ДВС с помощью измерительной экспертной системы компьютерного моделирования интегральных показателей переходных процессов настраиваемой модели ДВС, по которым осуществляется идентификация состояния реального испытуемого ДВС, его отдельных систем и механизмов.*

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, идентификация состояния, интегральные показатели, компьютерное моделирование, настраиваемая модель объекта.*

Иван Петрович Добролюбов - д-р техн. наук, профессор, профессор ФГБОУ ВПО НГАУ, 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: (383) 267-39-44; E-mail: pdy05@yandex.ru.

Олег Федорович Савченко - канд. техн. наук, ст. научн. сотр., ведущий научный сотрудник СФНЦА РАН, 630501, п. Краснообск, Новосибирская обл., тел.: (383) 348-39-62, E-mail: sof-oleg46@yandex.ru.

Определение технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с использованием измерительной экспертной системы двигателей (ИЭСД) основано на выборе информативных признаков и обосновании совокупности косвенных диагностических параметров при измерении детерминированных и вероятностных параметров рабочих процессов двигателя [1–11]. Применение интегральных показателей измеренных процессов – один из эффективных косвенных диагностических параметров. В данной работе рассматривается методика идентификации состояния ДВС с помо-

щью ИЭСД при использовании интегральных показателей настраиваемой модели объекта.

Уравнение динамики ДВС с учетом влияния важнейших факторов имеет вид [1–8]

$$J_D(\varphi) \frac{d\omega}{dt} - \omega^2 \frac{dJ_D(\varphi)}{d\varphi} = M_i(\omega, \psi, \varphi) - M_T(\omega, \varphi) - M_{нз}(\omega, f_{кр}), \quad (1)$$

где $M_i^K = \sum_{m=1}^{i_u} M_{i_1}^K(\varphi - \xi_m)$; $M_i^G = \sum_{m=1}^{i_u} M_{i_1}^G(\varphi - \xi_m)$; $M_{ИН} = \omega^2 \frac{dJ_D}{d\varphi} = \sum_{m=1}^{i_u} M_{ИН_1}(\varphi - \zeta_m) + M_{ИН}^{ост}$;

J_D , M_i , M_i^K , M_i^G , M_T , $M_{нз}$, $M_{ИН}$, $M_{ИН}^{ост}$ – моменты: инерции, индикаторный, компрессионная и газовая составляющие индикаторного момента, трения, нагрузки, инерционный, инерционный остаточный;

ω , ε – угловые скорость и ускорение коленчатого вала;

φ – угол поворота коленчатого вала (ПКВ);

ψ – перемещение органа топливоподачи (ход рейки топливного насоса);

$f_{кр}$ – сила на крюке;

ξ_m – угол сдвига по фазе между индикаторными моментами отдельных цилиндров согласно диаграмме распределения вспышек;

ζ_m – угол сдвига по фазе между инерционными составляющими отдельных цилиндров согласно их компоновки;

i_u – количество цилиндров; с индексом «1» – величины одного цилиндра.

Уравнение (1) является нелинейным. После его линеаризации по методу малых отклонений в окрестности квазистатического режима $\omega = \omega^*_j$; $\psi = \psi^*_j$; $\varphi = \varphi^*_j$; $f_{кр} = f_{кр}^*_j$ и нормировки уравнение двигателя в приращениях

$$T_D \frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \beta \tilde{\omega} = k_\psi \tilde{\psi}_3 - k_\varphi \tilde{\varphi} - k_f \tilde{f}_{кр}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{\omega} &= \Delta\omega / \omega_{ном}; \quad \tilde{\psi} = \Delta\psi / \psi_{ном}; \quad \tilde{\varphi} = \Delta\varphi / \varphi_{ном}; \quad \tilde{f}_{кр} = \Delta f_{кр} / f_{кр ном}; \\ T_D &= J_{Dj}^* \frac{\omega_{ном}}{M_{еном} F_D}; \quad \beta = \omega_{ном} / M_{еном}; \quad k_\psi = \frac{\psi_{ном}}{M_{еном} F_D} \left(\frac{\partial M_i}{\partial \psi} \right)_j^*; \\ k_\varphi &= k_{1\varphi} (\varphi_{ном} / M_{еном}); \quad k_{1\varphi} = \frac{1}{F_D} \left[\frac{(\omega_j^*)^2}{2} \left(\frac{\partial^2 J_D}{\partial \varphi^2} \right) - \left(\frac{\partial M_i}{\partial \varphi} \right)_j^* + \left(\frac{\partial M_T}{\partial \varphi} \right)_j^* \right]; \\ k_f &= \frac{F_{крном}}{M_{еном} F_D} \left(\frac{\partial M_{нз}}{\partial f_{кр}} \right)_j^*; \quad F_D = \left(\frac{\partial M_T}{\partial \omega} \right)_j^* - \left(\frac{\partial M_i}{\partial \omega} \right)_j^* + \left(\frac{\partial M_{нз}}{\partial \omega} \right)_j^*; \\ \tilde{\psi}_3 &= \tilde{\psi}(t - \tau_3) = -\gamma \frac{z_{ном}}{\psi_{ном}} \tilde{z}; \quad \tau_3 = T_3 + \frac{2\varphi_m}{\omega_{ном}} = \frac{\varphi_3 + 2\varphi_m}{\omega_{ном}}; \\ T_3 \text{ и } \varphi_3 &- \text{интервал времени и угол опережения подачи топлива;} \\ \varphi_m &- \text{постоянная для данного ДВС величина.} \end{aligned}$$

В режиме свободного разгона при $\tilde{\psi}(t) = 1$, $M_{нз} = 0$ и усреднении параметров за цикл (т. е. при зависимости M_e только от ω и ψ) уравнение динамики двигателя (2) в окрестности $n = \bar{\omega}_j^*$

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_D \frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \beta \tilde{\omega} &= k_\psi \tilde{\psi}(t) \text{ при } \bar{F}_D \neq 0; \\ \bar{J}_D \frac{d\tilde{\omega}}{dt} &= k_\psi \bar{F}_D \tilde{\psi}(t) \text{ при } \bar{F}_D = 0, \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\text{где } \bar{T}_D = \bar{J}_D / \bar{F}_D; \quad k_\psi = \frac{\psi_{ном}}{\bar{F}_D \omega_{ном}} \left(\frac{d\bar{M}_i}{d\psi} \right)^*; \quad \bar{F}_D = \left(\frac{d\bar{M}_T}{d\omega} \right)^* - \left(\frac{d\bar{M}_i}{d\omega} \right)^* = \left(\frac{d\bar{M}_e}{d\omega} \right)^*.$$

Уравнение (3) при $\bar{F}_D \neq 0$ и замене $p = d/dt$

$$(a_1 p + a_0) \tilde{\omega} = \mu \tilde{\psi}_3, \quad (4)$$

$$\text{где } a_1 = \bar{T}_D; \quad a_0 = \beta; \quad \mu = k_\psi;$$

Вводя вспомогательную переменную u_i (текущее значение на выходах интеграторов, $1/s$ – интегратор) уравнение (4) примет вид (рис. 1, а)

$$p u_i = \mu \tilde{\psi}_3 - (a_0 / a_1) \tilde{\omega}.$$

Аналогично в режиме свободного разгона и при учете зависимости от угла φ (2) (рис. 1, б)

$$pu_i = \mu_\varphi \tilde{\psi}_3 - (a_1 u_1 + a_0 u_2) a_2^{-1},$$

где $a_2 = T_D$; $a_1 = \beta$; $a_0 = k_\varphi$; $\mu_\varphi = k_\psi / a_2$; $u_2 = \tilde{\varphi}$.

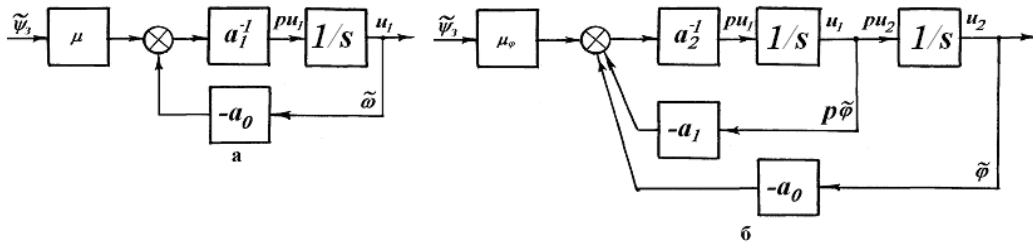


Рисунок 4 - Структурные компьютерные схемы решений уравнения динамики:

- а – при отсутствии зависимости от угла φ ;
- б – при учете зависимости от угла φ

Для компьютерных моделей (**рис. 1**) определяются следующие интегральные характеристики [12], которые затем сравниваются с аналогичными, полученными при измерении процессов у испытуемого объекта экспертизы (ОЭ).

Координаты центра тяжести переходного процесса (линии) $\tilde{\omega}(t)$

$$t_{y\tilde{\omega}} = \int_0^{\infty} t \sqrt{1 + \tilde{\varepsilon}^2(t)} dt; \quad \tilde{\omega}_y = \int_0^{\infty} \tilde{\omega}(t) \sqrt{1 + \tilde{\varepsilon}^2(t)} dt;$$

координаты центра тяжести переходного процесса (линии) $\tilde{\varepsilon}(t)$

$$t_{y\tilde{\varepsilon}} = \int_0^{\infty} t \sqrt{1 + (d\tilde{\varepsilon}/dt)^2} dt; \quad \tilde{\varepsilon}_{y\mu} = \int_0^{\infty} \tilde{\varepsilon}(t) \sqrt{1 + (d\tilde{\varepsilon}/dt)^2} dt;$$

отклонение (рассеивание) $\tilde{\omega}(t)$ и $\tilde{\varepsilon}(t)$ относительно их центров тяжести

$$t_{\tilde{\omega}}^2 = \int_0^{\infty} (t - t_{y\tilde{\omega}})^2 \tilde{\omega}(t) dt; \quad \omega_{\tilde{\omega}}^2 = \int_0^{\infty} (\tilde{\omega} - \tilde{\omega}_y)^2 \tilde{\omega}(t) dt;$$

$$t_{\tilde{\varepsilon}}^2 = \int_0^{\infty} (t - t_{y\tilde{\varepsilon}})^2 \tilde{\varepsilon}(t) dt; \quad \varepsilon_{\tilde{\varepsilon}}^2 = \int_0^{\infty} (\tilde{\varepsilon} - \tilde{\varepsilon}_y)^2 \tilde{\varepsilon}(t) dt;$$

координаты центра тяжести площади s , ограниченной функцией $\tilde{\varepsilon}(t) = d\tilde{\omega}/dt$ и осью абсцисс; отклонение (рассеивание) длительности переходного процесса и ускорения относительно центра тяжести

$$\tau_{us} = \int_0^{\infty} t \tilde{\varepsilon}(t) dt; \quad \tau_{\partial s}^2 = \int_0^{\infty} (t - \tau_{us})^2 \tilde{\varepsilon}(t) dt;$$

$$\varepsilon_{us} = 0,5 \int_0^{\infty} \tilde{\varepsilon}^2(t) dt; \quad \varepsilon_{\partial s}^2 = \int_0^{\infty} (\tilde{\varepsilon} - \varepsilon_{us})^2 \tilde{\varepsilon}(t) dt.$$

Поскольку переходный процесс представляется производной функции $\tilde{\omega}(t)$, то τ_{us} , ε_{us} отражают момент времени и ускорение, соответствующие основной части переходного процесса. При этом определяющими для τ_{us} будут те интервалы времени, когда $\tilde{\varepsilon}(t) = d\tilde{\omega}/dt$ имеет наибольшее значение, т.е. функция $\tilde{\omega}(t)$ имеет наиболее крутой фронт. Величины t_{ω} , t_{ε} , τ_{us} , ε_{us} соответствуют выражениям для математического ожидания, а $t_{\partial\omega}^2$, $t_{\partial\varepsilon}^2$, $\tau_{\partial s}^2$, $\varepsilon_{\partial s}^2$ – дисперсии. Для уравнений (3) $\tau_{us} = \bar{T}_D$; $\tau_{\partial s} = \bar{T}_D$ [12].

Для всего переходного процесса разгона или выбега можно получить усредненные интегральные характеристики для каждого j -го участка

$$\tau_{u\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tau_{uj}; \quad \tau_{\partial\Sigma}^2 = \sum_{j=1}^N \tau_{\partial j}^2,$$

где N – количество квазистатических режимов переходного процесса.

Интегральные оценочные показатели могут быть также применены для динамических скоростных характеристик $\tilde{\varepsilon}(n_j)$; $n_j = \bar{\omega}_j$ или $\varepsilon(n)$:

$$\tau_{uc} = \frac{\sum_{j=1}^n n_j \bar{\varepsilon}(n_j)}{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}(n_j)}; \quad \varepsilon_{uc} = 0,5 \frac{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}^2(n_j)}{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}(n_j)};$$

$$\tau_{Dc}^2 = \left[\frac{\sum_{j=1}^n n_j^2 \bar{\varepsilon}(n_j)}{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}(n_j)} \right] - \tau_{uc}^2; \quad \varepsilon_{Dc}^2 = \left[0,5 \frac{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}^3(n_j)}{\sum_{j=1}^n \bar{\varepsilon}(n_j)} \right] - \varepsilon_{uc}^2.$$

Выходные процессы ОЭ и его модели (рис. 2) задаются уравнениями $y(t) = F(u, \vec{a}, n)$ и $w(t) = G(u, \vec{\alpha}, n)$, где \vec{a} – $(m+1)$ – мерный вектор параметров объекта; $\vec{\alpha}$ – $(m+1)$ – мерный вектор оценок; $u = u(t)$ – входной процесс объекта и модели; $n = n(t)$ – помехи (возмущения).

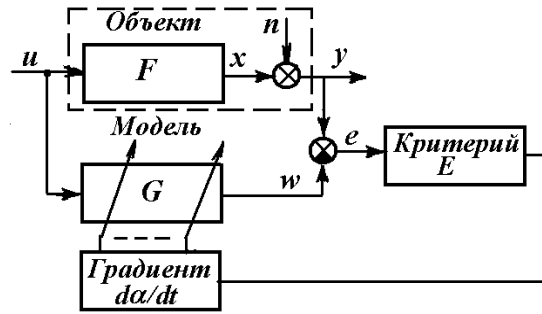


Рисунок 2 - Структурная схема метода идентификации ОЭ по настраиваемой модели

Близость ОЭ и модели определяется функционалом погрешности идентификации $E=L[q(e)] \rightarrow \min$, где L – функционал от четной функции $q(e)$; $e = y-w$ – погрешность идентификации. Настройка модели G осуществляется изменением параметров $\vec{\alpha}^T = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ в соответствии со значением градиента $\vec{\nabla}E$, при этом необходимо получить $\partial E / \partial \alpha_j \rightarrow 0$; $j = \overline{0, m}$

$$\frac{d\vec{\alpha}}{dt} = -\gamma \vec{\nabla}E,$$

где $\gamma = \alpha(0)$ – начальное условие;

компоненты вектора градиента:

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha_j} = L \left[\frac{\partial q(e)}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial \alpha_j} \right]; \quad \frac{\partial e}{\partial \alpha_j} = -\frac{\partial w}{\partial \alpha_j} = -\frac{\partial G[u; \vec{\alpha}]}{\partial \alpha_j}.$$

В качестве примера настройки модели рассмотрим случай с применением критерия погрешности идентификации $E = e^2 = (y - w)^2 \rightarrow \min$, тогда $e^2 = (\hat{\tau}_u - \tau_u)^2$, а в качестве параметра настройки уравнения (3) для примера примем T_D

$$\frac{dT_D}{dt} = -\gamma \frac{\partial E}{\partial T_D}; \quad \frac{dT_D}{dt} = -2\gamma \frac{\partial \tau_u}{\partial T_D} (\hat{\tau}_u - \tau_u),$$

где $\hat{\tau}_u$ – оценка интегральной характеристики по результатам измерений.

Как следует из приведенных зависимостей при идентификации ДВС, его отдельных систем и механизмов (объектов экспертизы) с моделью для настройки интегральных показателей модели достаточно настраивать коэффициенты уравнения динамики.

Примеры таких настроек приведены на рис. 3 и рис. 4. При этом для настройки модели можно использовать метод наискорейшего спуска [12]. В качестве интегральных показателей при настройке модели могут также использоваться такие показатели как спектральная плотность, корреляционная функция, функция неопределенности и др. [1...7].

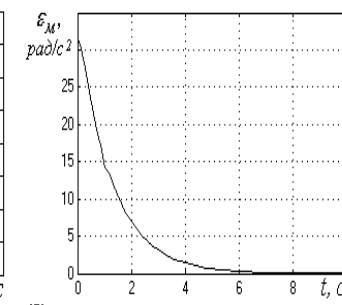
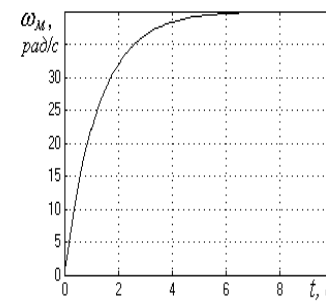
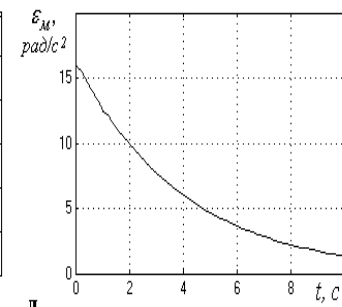
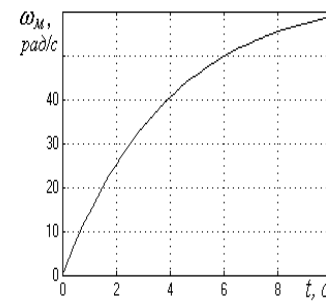
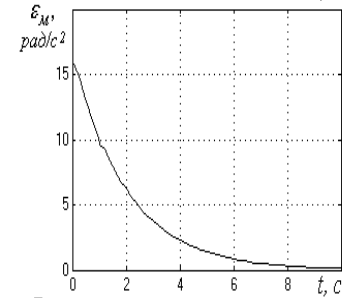
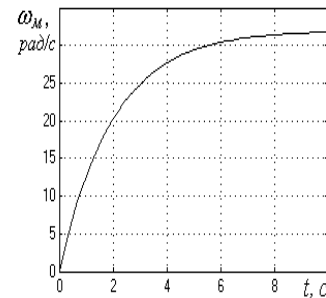
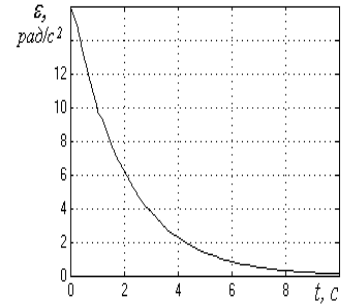
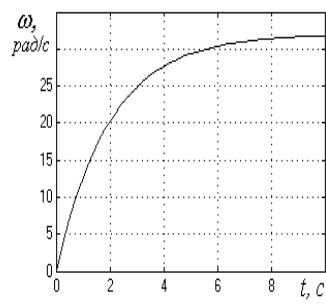
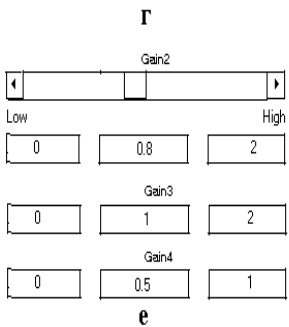
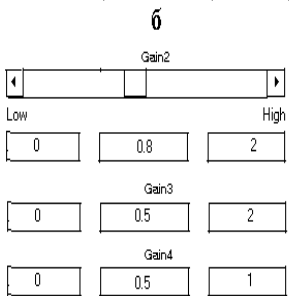
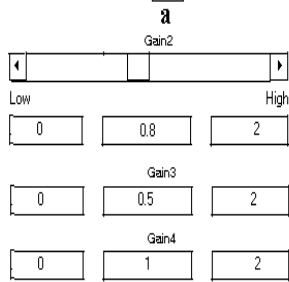
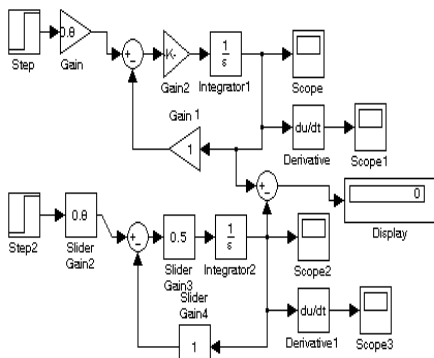


Рисунок 3 - Моделирование идентификации ДВС:

а (верхняя часть схемы) – моделирование идентификации ДВС в разгоне при фиксированной частоте вращения вала;

а (нижняя часть схемы) – моделирование идентификации ДВС с помощью интегральных показателей настраиваемой модели;

б – коэффициенты регулируемых усилителей Slider Gain настроены и равны коэффициентам уравнения объекта (ДВС в разгоне);

в – идентичные переходные процессы объекта ($\omega(t)$ и $\varepsilon(t)$), и модели ($\omega_M(t)$ и $\varepsilon_M(t)$);

г, д – аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_M(t)$ и $\varepsilon_M(t)$), при этом коэффициент обратной связи не настроен;

е, ж - аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_M(t)$ и $\varepsilon_M(t)$), при этом коэффициенты в прямой ветви и в обратной связи не настроены.

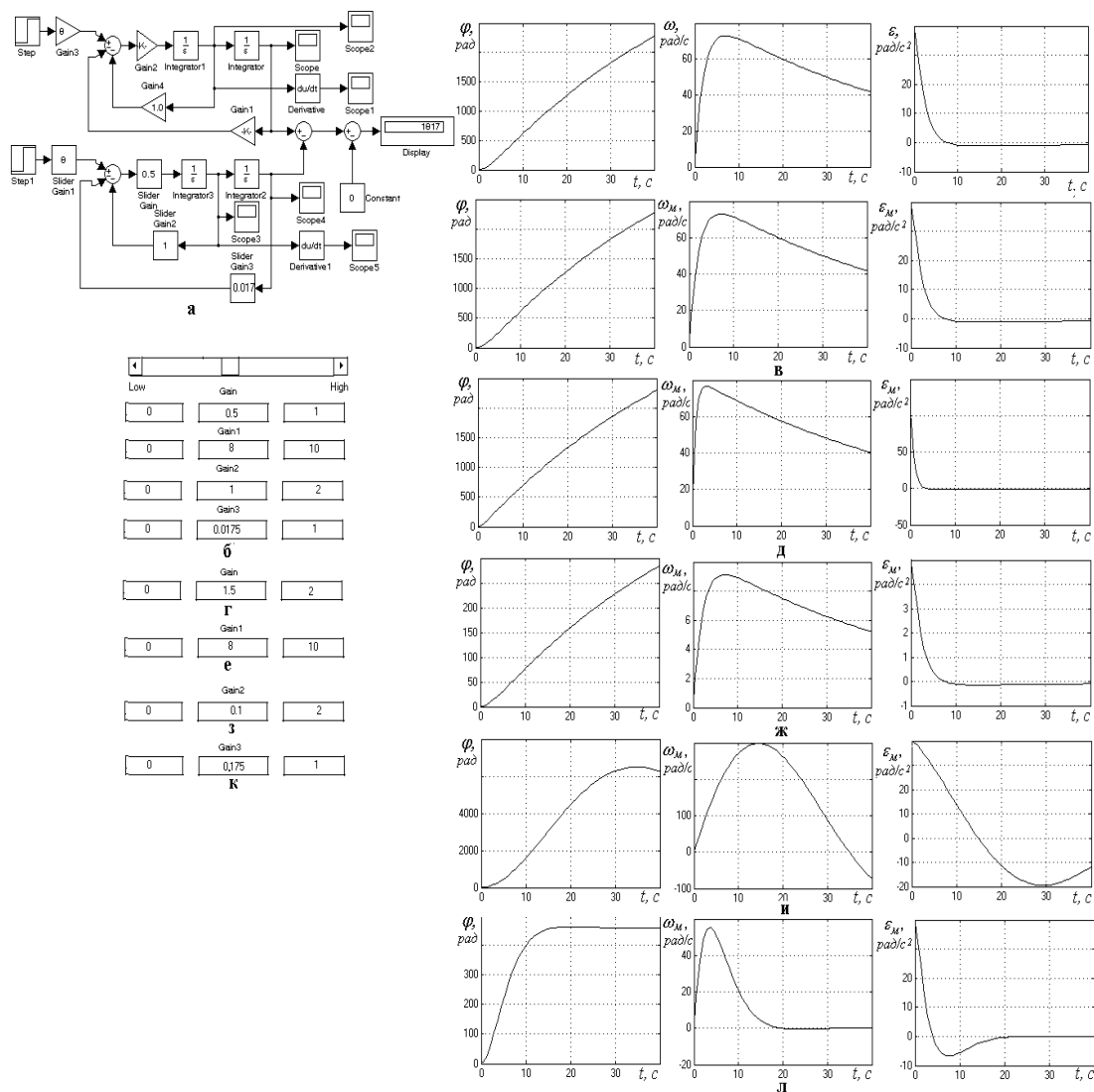


Рисунок 4 - Моделирование идентификации ДВС

с учетом зависимости от угла φ :

а (верхняя часть схемы) – моделирование идентификации ДВС в разгоне с учетом зависимости от угла φ при фиксированной частоте вращения вала;

а (нижняя часть схемы) – моделирование идентификации ДВС с помощью интегральных показателей настраиваемой модели;

б – коэффициенты регулируемых усилителей настроены и равны коэффициентам уравнения объекта (ДВС в разгоне);

в – идентичные переходные процессы объекта ($\omega(t)$ и $\varepsilon(t)$), и модели ($\omega_m(t)$ и $\varepsilon_m(t)$);

г, д – аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_m(t)$ и $\varepsilon_m(t)$), при этом коэффициент в прямой ветви не настроен;

е, ж – аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_m(t)$ и $\varepsilon_m(t)$), задающий коэффициент не настроен;

з, и – аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_m(t)$ и $\varepsilon_m(t)$) первый коэффициент в обратной связи не настроен;

к, л – аналогично б и в (идентичные переходные процессы только модели ($\omega_m(t)$ и $\varepsilon_m(t)$), второй коэффициент в обратной связи не настроен.

Практическое применение методов идентификации технического состояния ДВС измерительной экспертной системой при использовании интегральных показателей настраиваемой модели объекта, рассмотренные в данной статье, позволяет повысить оперативность и снизить трудоемкость процесса экспертизы, расширить набор методов экспертизы ДВС и его отдельных элементов, что приводит к повышению точности и достоверности экспертного заключения. Кроме того, эти методы могут быть эффективными при автоматической экспертизе приработки ДВС, при автоматическом управлении агрегатами с резко переменной нагрузкой (например, машинно-тракторным агрегатом, дизель-генератором и др.).

Список использованной литературы

1. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Информационное обеспечение экспертизы состояния двигателей // РАСХН. Сиб. отд-ние. СибФТИ. Новосибирск. 2001. 223 с.

2. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В. Идентификация состояния сельскохозяйственных объектов измерительными экспертными системами // РАСХН. Сиб. отд-ние. СибФТИ. Новосибирск. 2003. 209 с.

3. Савченко О.Ф., Добролюбов И.П., Альт В.В., Ольшевский С.Н. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей // РАСХН. Сиб. отд-ние. СибФТИ. Новосибирск. 2006. 272 с.

4. Добролюбов И.П. Точностные и информационные показатели измерительных каналов экспертной системы двигателей // Измерительная техника. 2011. № 6. С. 43–47.

5. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Выбор совокупности косвенных диагностических параметров для измерительной экспертной системы ДВС // Двигателестроение. 2012. № 2. С. 30–33.

6. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК // Россельхозакадемия. Сибирское региональное отделение. ГНУ СибФТИ. Новосибирск. 2013. 523 с.

7. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Принципы разработки компьютерной динамической модели автотракторных ДВС // Вестник НГАУ. 2014. № 2. С. 141 – 146.

8. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В., Ольшевский С.Н. Разработка компьютерной настраиваемой модели двигателя внутреннего сгорания // Вычислительные технологии. 2013. Том 18. № 6. С. 54–61.

9. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Применение статистических методов при экспертизе технического состояния ДВС // Труды ГОСНИТИ. 2015. Том 119. С. 145–150.

10. Савченко О.Ф., Добролюбов И.П. Моделирование процесса идентификации состояния тракторных двигателей // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2016. № 4(6). С. 4–12.

11. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С. Н. Экспертиза состояния дизель-генератора с применением компьютерной настраиваемой модели // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 4(19). С. 362 –368.

12. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных. М.: Энергоатомиздат. 1990. 288 с.

УДК 54.058

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МОТОРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА

В.П. Друзьянова, А.В. Спиридонова

***Аннотация.** В мире ежегодно появляется до 10 млн. т использованных автопокрышек, что соответствует почти миллиарду изношенных шин. И этот объём растёт так быстро, что в местах эксплуатации машин (на промышленных, сельскохозяйственных и автомобильных предприятиях, горно-обогатительных комбинатах и т. п.), на свалках и даже в городах скопились целые горы отработанной автомобильной резины. Сжигать под открытым небом эти отходы нельзя - продукты их сгорания вредны для окружающей среды. Отводить же под их хранение новые*

сотни гектаров земли не только накладно, но и опасно: из-за высокой стойкости к действию внешних факторов (солнечного света, влаги, кислорода, микробиологических воздействий и т. п.) отработанные шины разлагаются очень медленно, причём всё это время отравляют атмосферу вредными веществами, которые в них содержатся. Доступным и простым решением данной проблемы является утилизация отработанных шин низкотемпературным пиролизом. При этом происходит термическое разложение органических соединений без доступа воздуха при температуре (400 ÷ 500) °С. Продукт утилизации – пиролизный газ. Очистив данный газ от негорючих компонентов, получают альтернативное моторное топливо. В статье рассмотрены распространенные способы очистки пиролизного газа, проведено их сравнение и предложен альтернативный способ очистки путем применения фильтра с наполнителем из природного цеолита.

Ключевые слова: утилизация шин, пиролиз, пиролизная установка, способы и методы очистки газа, сунтарский цеолит.

Варвара Петровна Друзьянова - доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» Автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, Якутск, ул. Красильникова 13, тел.: 8-964-417-62-45, E-mail – druzvar@mail.ru.

Анастасия Валериевна Спиридонова - старший преподаватель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» Автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск (677000, Россия, Якутск, ул. Красильникова, 13, тел.: 8-962-731-85-64, E-mail - savadf@mail.ru).

Получением и очисткой пиролизного газа занимались многие исследователи Добровольский И.П., Копытов В.В., Шахтактинский Т.Н., Ибрагимов Ч.Ш., Бабаев А.И., Юсубов Ф.В., Кельцев Н.В. [1, 3, 8]

В Республике Саха (Якутия) на 2018 г. накоплено более 1,7 млрд тонн отходов производства и потребления, которые размещены в 527 полигонах и свалках, одна треть которых являются несанкционированными [6]. Из всего объема твердых отходов на транспортную отрасль республики приходится более 2000 т отходов в виде отработанных шин. В настоящее время нет ни одного предприятия по утилизации этих шин.

В целях разработки рекомендаций по использованию пиролизной технологии, на кафедре «Эксплуатации автомобильного транспорта и автосервис» автодорожного факультета СВФУ имени М.К. Аммосова проводятся экспериментальные исследования.

Общий вид лабораторной пиролизной установки представлен на рисунке 1. Сырье для пиролиза – измельченная автомобильная покрышка.



Рисунок 1- Пиролизная установка ГВА-1

Эксперименты проводились при температурах от 80 °С до 300 °С. По итогам обосновано, что изменения температуры влияют только на скорость процесса разложения сырья, а состав газов в общем остается постоянным (таблица 1).

Таблица 1 - Данные хроматографического анализа

Компонент	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	O ₂	H ₂ S
% объём-ные	6,2	17,9	32,4	14,3	6,0	3,1	10,9	5,9	3,3

Как видно из таблицы 1, преобладающим газом является метан – составляет в среднем 32%. Для доведения до качества моторного топлива из пиролизного газа необходимо удалить оксид углерода, водород, углекислый газ, кислород и сероводород.

Постановка задачи

Рассмотрим используемые в настоящее время способы очистки пиролизного газа от вредных составляющих.

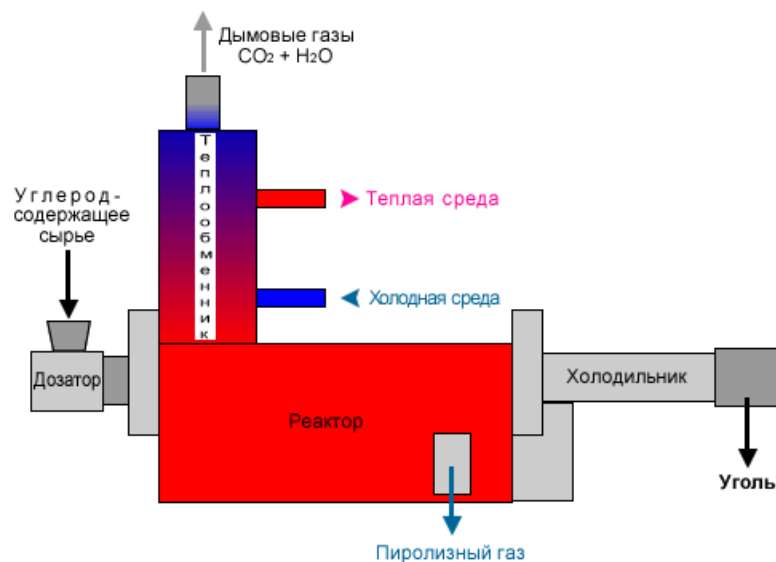


Рисунок 2 – Очистка пиролизного газа

Существуют следующие основные способы и методы по очистке пиролизного газа:

1. Абсорбция - заключается в избирательном поглощении жидкостью (абсорбентом) целевых составных частей исходной газовой смеси. Абсорбцией, производят разделение, очистку и осушку различных углеводородных газов, извлечение бензина и пропан-пропиленовой фракции из естественных и попутных газов или ароматических углеводородов из газов пиролиза [7].

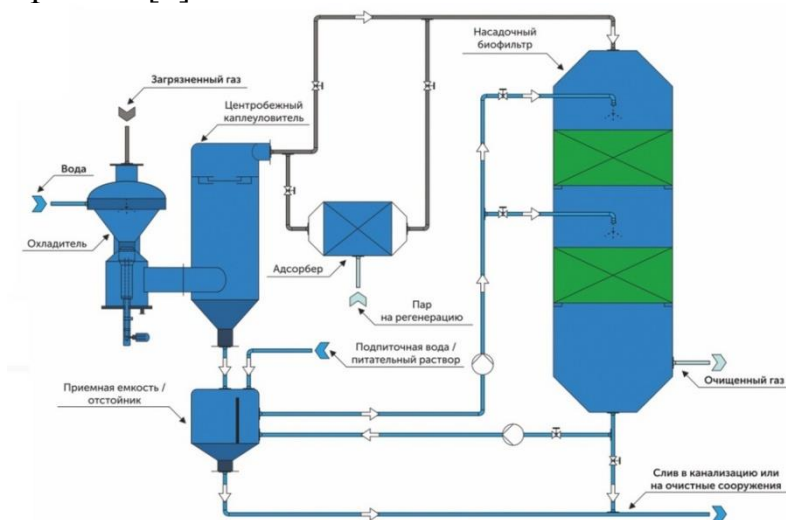


Рисунок 3 – Метод абсорбция

2. Щелочной способ - очистка газов пиролиза углеводородного сырья от двуокиси углерода и сероводорода со сбросом образующихся сернисто-щелочных стоков в канализацию [2]. Однако данный способ имеет

следующие существенные недостатки - это образование агрессивных сточных вод и забивка аппаратуры полимерными отложениями.

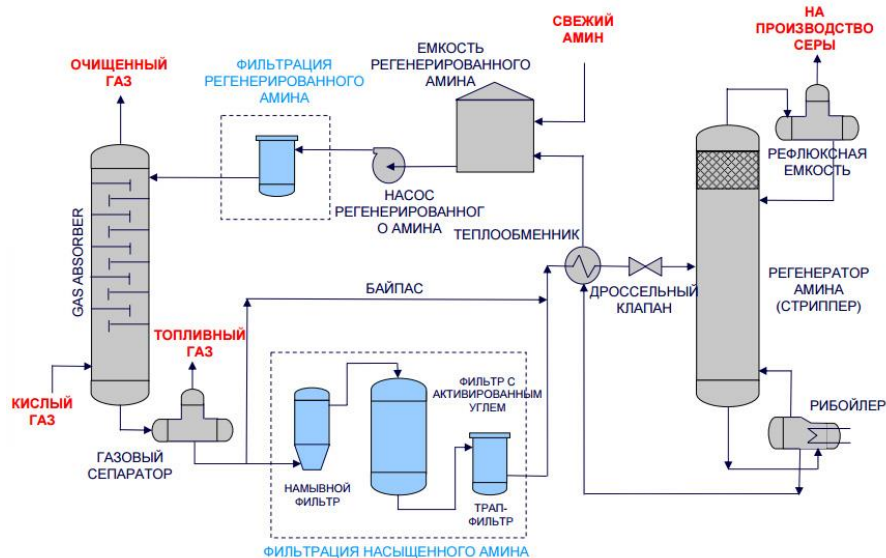


Рисунок 4 – Щелочной способ очистки газа

3. Адсорбция – обеспечивает возможность получения высоких степеней очистки пиролизного газа. При адсорбции достигаются следующие положительные эффекты:

- 1) глубокое извлечение углеводородов тяжелее метана из легких нефтяных и природных газов;
- 2) очистка водорода циркуляционного и получаемого при гидроформинге или крекингом этана на этилен;
- 3) убирается ацетилен при частичном сжигании или пиролизе легких углеводородов;
- 4) извлечение паров растворителей, содержащихся в малых концентрациях в воздухе или инертных газах;
- 5) процесс осушки [4].

В качестве адсорбента чаще всего применяется активированный уголь, обладающий высокой способностью к поглощению легких углеводородов, во много раз (этана в 20 раз) больше, чем равное по весу количество абсорбционного масла [7]. Адсорбированные углеводороды легко удаляются продувкой адсорбента инертным газом или водяным паром. Применяют адсорбцию для извлечения этилена из бедных газов, для разделения природного газа, для очистки водорода, получаемого при гидрокрекинге, при концентрировании ацетилена, получаемого термоокислительным пиролизом газового бензина, и в других случаях (осушка и очистка газов). Адсорбцию осуществляют в аппаратах периодического и непрерывного действия.

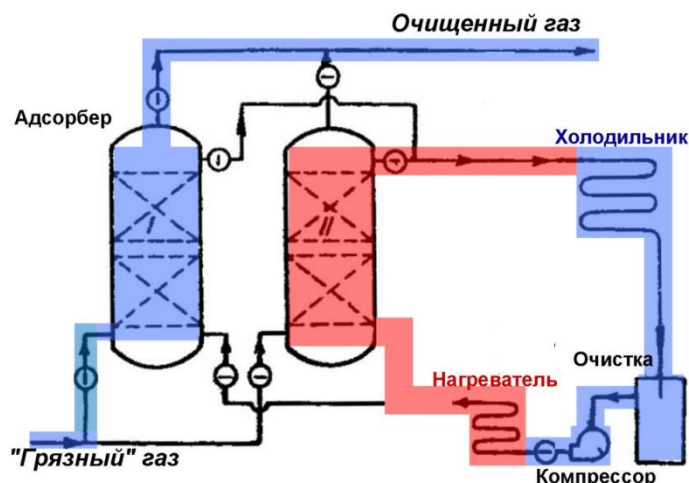


Рисунок 5 – Метод адсорбция

В работах [5, 9] обоснована эффективность использования синтетического и природного цеолитов при очистке газов от вредных составляющих. Среди синтетических цеолитов самым эффективным в данном случае является СаА, у которого высокая активность и удобный ситовой эффект по отношению к сероводороду [2, 3]. Установлено, что наилучшим по адсорбционным показателям среди природных цеолитов, по отношению к сероводороду, является модифицированный в особых условиях природный морденит [5].

Цеолит (в переводе с греческого — кипящий камень) — общее название алюмосиликатных минералов. Различают цеолиты синтетические и природные, которые в свою очередь делятся по происхождению на осадочные и вулканические. Низкая себестоимость и уникальные свойства природных цеолитов, обусловленные особенностями кристаллической решётки, химического состава, высокой ионообменной ёмкостью (до 2 мг-экв/г), молекулярно-ситовыми и каталитическими способностями выводит их на первое место в решении большого количества хозяйственных задач в различных областях деятельности человека. Благодаря строго определённым размерам пор (каналов) и внутренних полостей они являются отличными сорбентами для многих неорганических и органических веществ. В сорбционные каналы могут проникать только те молекулы, величина которых не превышает их размеров (от 2 до 9 ангстрем). Минералы обладают высокой селективностью к крупным катионам, способностью удерживать воду, соединения тяжёлых металлов и радионуклидов, пролонгировать действие питательных веществ минеральных удобрений, кормов, лечебных препаратов. Природные дегитратированные цеолиты способны сорбировать молекулы разных веществ, поглощать воду, газы, жидкости и твёрдые вещества. Интенсивность адсорбции обусловлена огромной внутренней поверхностью кавернозной структуры минерала, достигающей 47%, в то

время как у искусственных цеолитов этот показатель составляет 50%, а стоимость выше в разы. К достоинствам природных цеолитов следует отнести их способность к регенерации, и как следствие, возможность применения в многоцикловом режиме[9].

Применение природных цеолитов в промышленности, в сельском хозяйстве, в мероприятиях по охране окружающей среды и других областях, использующих высококондиционное сырье, зачастую не позволяет решать вопросы эффективной добычи и переработки цеолитов всего месторождения. В этом случае важную роль может сыграть применение природных цеолитов в производстве строительных материалов и изделий [5].

Наиболее чистыми являются цеолиты Сокирницкого (Карпаты), Тедзамского (Грузия), Пегасского (Кемеровская область), Хонгурина (Республика Саха) месторождений. Однако следует отметить, что степень чистоты не является определяющим фактором для некоторых отраслей. Выбор цеолита напрямую зависит от конкретных производственных задач, и как результат требует специальных навыков и знаний.

Повышенный интерес к цеолитам обусловлен исключительно уникальными свойствами этого минерала, а именно селективными, адсорбционными и ионообменными. Цеолит представляет собой пористое тело с характерной структурой скелета, регулярной геометрией внутрикристаллических пор, способное химически модифицироваться. Является эффективным средством сокращения расхода цемента (15-30 %) при производстве легких и тяжелых бетонов, а при изготовлении растворов может полностью заменить известь. При этом повышается водоудерживающая способность растворных смесей и их трещиностойкость. Добавка цеолита в портландцемент в количестве более 15 % обеспечивает высокую коррозионную стойкость цементных композиций по отношению к хлоридным и сульфатным рассолам [5].

Сунтарский цеолит «Хонгурин» - природное месторождение «Хонгурин» в Сунтарском улусе. Хонгурин – это горная порода, состоящая из минералов клиноптилолит – гейландитового ряда (70-95 %), кварца, полевых шпатов, обломков кремнистых пород, биотика, кальцита, вулканического стекла и глинистых минералов (Колодезников, 1984). Химический состав хонгурина показан в работе [9]. Запасы сырья оцениваются в 11,4 млн. т., что позволяет обеспечить нужды республики в цеолите на протяжении 120 лет. Имеются также другие крупные залежи цеолитового сырья, прогнозные ресурсы оцениваются в 3,5 млрд.т. [5].

Заключение

Из вышеизложенного становится очевидным, что при замене щелочного способа очистки пиролизного газа на адсорбционный, можно исключить из технологии узел абсорбции. Тогда линия подачи потока пирогаза переключается непосредственно к C_3 . Таким образом, для удаления вредных примесей из пиролизного газа предлагаем использовать комплект

фильтров со следующими наполнителями из: металлической стружки, активированного угля и природного цеолита. Предлагаемая технологическая линия очистки пиролизного газа имеет следующий вид (рис. 6).

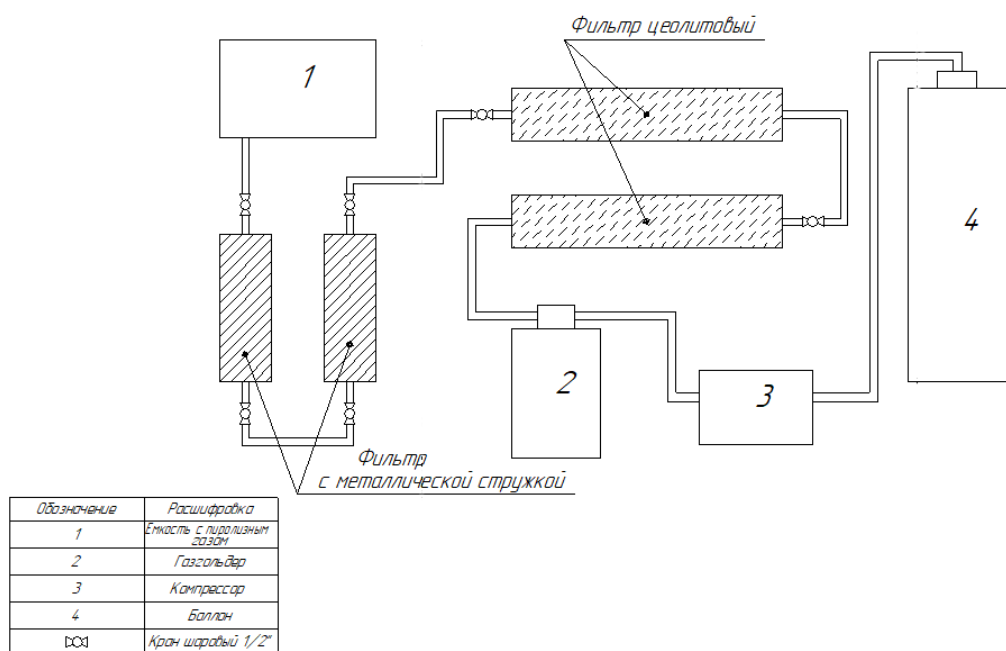


Рисунок 6 – Предлагаемая линия очистки

Список использованной литературы

1. Ибрагимов Ч.Ш., Юсубов Ф.В. Адсорбционная очистка пиролизного газа от сероводорода // Перспективные методы очистки пиролизного газа от низкопроцентных токсичных примесей опубликовано в 2012, выпуск октябрь 2012, технические науки.
2. Ибрагимов Ч.Ш., Бабаев А.И. Научные основы и практические задачи химической кибернетики. Баку, изд. АГНА, 2015. С. 235-238.
3. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. С. 180-187.
4. Петрова Н.Н., Портнягина В.В. Механохимическая активация природных цеолитов как способ получения полифункциональных модификаторов резин // Каучук и резина, 2008, №4, с. 19-23.
5. Свиридов В.Л., Овчаренко Г.И. Природные цеолиты – минеральное сырье для строительных материалов//Строительные материалы, 1999, №9, с.9-11.
6. Протопопов Ф.В. Оценка эффективности утилизации отработанных автомобильных шин на примере предприятия оао «Виллюавтодор»: автореф. магистерской диссертации.
7. Талисман Л.В., Смирнов И.Н., "Химическая промышленность", 2010, с.25.

8. Шахтактинский Т.Н., Ибрагимов Ч.Ш., Бабаев А.И. Системный анализ процессов разделения и очистки продуктов нефтехимии. Баку, изд-во «Элм», 2006. С. 120-124.

9. [Электронный ресурс] <http://Kempendyay.narod.ru>. Публичные отчеты.

УДК 629.113.001

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ АВТОМОБИЛЯ НА ЯВЛЕНИЕ ФЕДИНГА

В.Г. Дыгало, И.С. Жуков

***Аннотация.** В статье изложены выводы и предпосылки экспериментальной оценки пар трения в аспекте явления фединга. Большая часть кинетической энергии автомобиля с АБС гасится за счет работы трения в тормозном механизме. Перегрев тормозного механизма, а именно его пар трения приводит к возникновению явления критического фединга, сопровождающегося резким снижением тормозного момента. Уменьшение влияния данного явления очень сложная задача как с точки зрения учета стоимости тормозного механизма так и его минимального усложнения. Авторами предлагается применение криогенной обработки тормозных дисков для уменьшения влияния термонагруженности на возникновения фединга.*

Ключевые слова: *антиблокировочная система, тормозной механизм, термическая нагруженность, фединг, криогенная обработка.*

Владислав Геннадьевич Дыгало - д.т.н., профессор, Волгоградский государственный технический университет 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел.: (8442) 24-84-68, E-mail: dygalo@vstu.ru.

Илья Сергеевич Жуков - аспирант, Волгоградский государственный технический университет 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел.: (8442) 24-84-68, E-mail: dygalo@vstu.ru.

Широкое оснащение автомобилей автоматизированными тормозными системами помимо очевидных преимуществ в части активной безопасности, порождает и ряд проблем, обусловленных изменением рабочего процесса. При этом возрастает величина кинетической энергии, которую необходимо погасить в процессе торможения.

В отличие от традиционного способа торможения юзом, основная часть кинетической энергии автомобиля с АБС гасится за счет работы тре-

ния в тормозном механизме во время работы АБС, что неизбежно приводит к увеличению их тепловой нагруженности, особенно при использовании производителями тормозных систем автомобилей, традиционных элементов базовых моделей.

При этом из литературных источников известно, что перегрев пар трения тормозов способствует возникновению критического фединга, сопровождающегося резким снижением (до 50%) коэффициента трения тормозных накладок, а так же повышенным изнашиванием контртел, с образованием макросколов [1].

Проведенный анализ влияния принципиального изменения рабочего процесса затормаживания колеса автомобиля с АБС на распределение работы, необходимой для гашения кинетической энергии автомобиля в качестве примера представлен на рисунке 1. обозначено: изменение кинетической энергии автомобиля с АБС при торможении с начальной скорости 60 км/ч на сухом асфальтобетоне в процессе торможения (W_k), работа, затрачиваемая на трение в контакте шины с дорогой (ATR) и на гистерезисные потери в шине (AFF), а также поглощаемую в тормозном механизме (ATM).

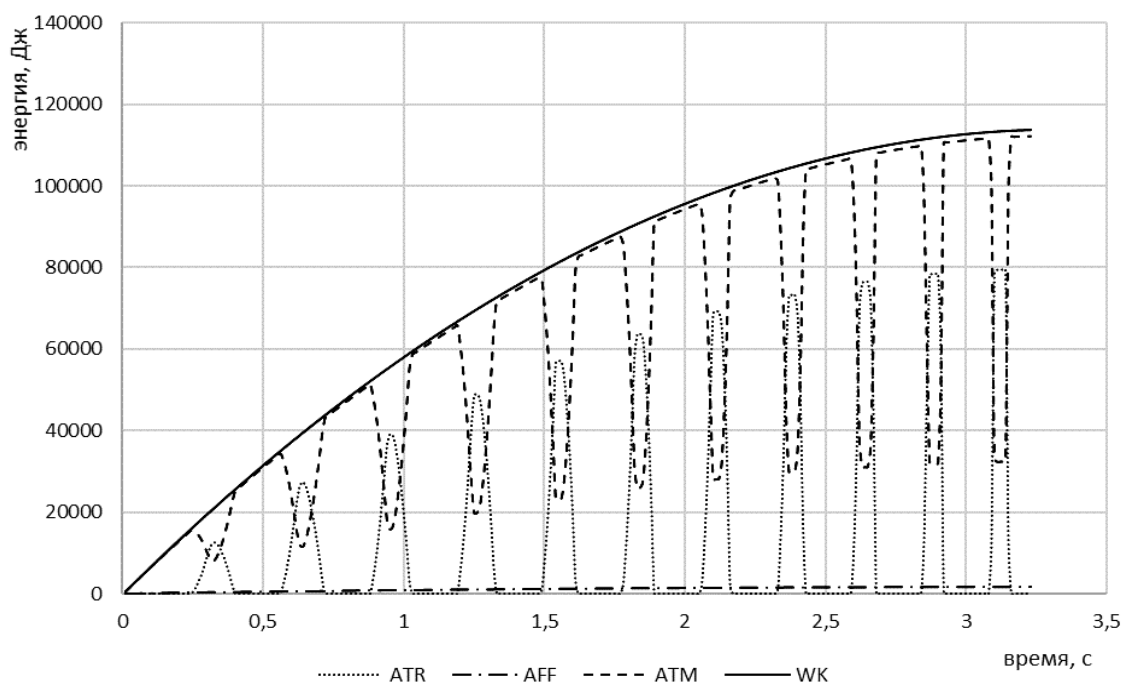


Рисунок 1 - Распределение работ, затрачиваемых на гашение кинетической энергии автомобиля с АБС в процессе торможения

Из графика видно, что при торможении автомобиля с АБС в отличие от торможения юзом основная часть кинетической энергии гасится за счет работы трения в парах трения тормозного механизма.

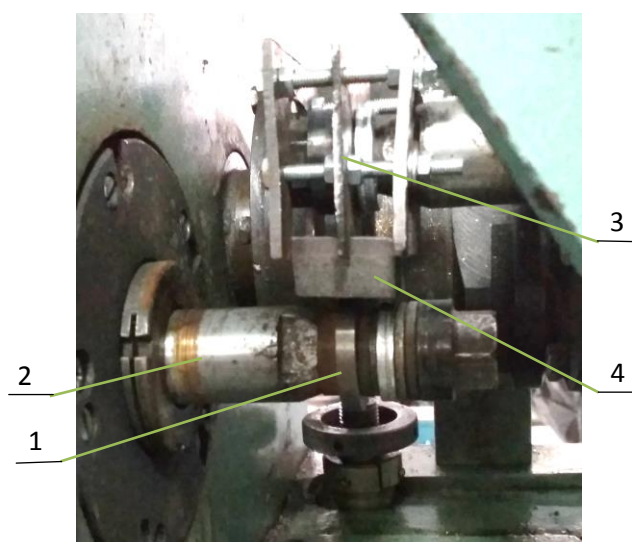
Для решения проблем связанных с явлением фединга, после того как проектировщик с помощью расчетных методов выявил проблему связанную и повышенной теплонагруженностью тормозной системы, необходимо вносить изменения в конструкцию. Расчетные методики оценки рассматривались авторами в работе [3]. Одними из путей может быть изменение площади поверхности пар трения тормозного механизма, что может повлечь за собой изменение соседних узлов (ступица, колесный диск) что приводит к удорожанию готовой конструкции. Следующим подходом к решению проблемы повышенной термонагруженности тормозных механизмов может служить применение материалов пар трения свойства которых позволяют избежать данных проблем. Но материалы с более высокими характеристиками имеют более высокую стоимость. Например тормозные диски из композиционных материалов вместо применяемого в серийных автомобилях антифрикционного серого чугуна. В качестве более дешевого способа улучшения свойств материала авторами предлагается криогенная обработка тормозных дисков из серого антифрикционного чугуна.

В статье [2] приведены результаты испытаний после криогенной обработки режущего инструмента для токарной обработки. Происходило уменьшение термоЭДС по сравнению с необработанным инструментом. Из чего можно сделать вывод что изменение свойств материала реза после криогенной обработки влияет на тепловые процессы в зоне резания. Для того чтобы убедиться в положительном влиянии на свойства тормозного механизма криогенной обработки тормозного диска необходимо провести испытания образцов и методом сравнения и по измеренным параметрам сделать выводы.

Для выполнения испытаний пар трения существуют различные нормативные документы например РД 50-662-88. Где установлен комплекс методов оценки фрикционной совместимости смазочных и (или) конструкционных материалов, используемых в трущихся материалах.

Испытания проводились с использованием следующего основного испытательного оборудования

1. Машина трения СМЦ-2;
2. Индуктивный датчик момента трения;
3. Ноутбук для захвата видеосигнала с тепловизора;
4. Тепловизор SATHotFind-L.
5. Электронные аналитические весы



1 – Подвижный образец (диск); 2 – вращающийся вал машины трения; 3 – захват; 4 – неподвижный образец (колодка).

Рисунок 2 - Установка испытательных образцов в машине трения СМЦ-2

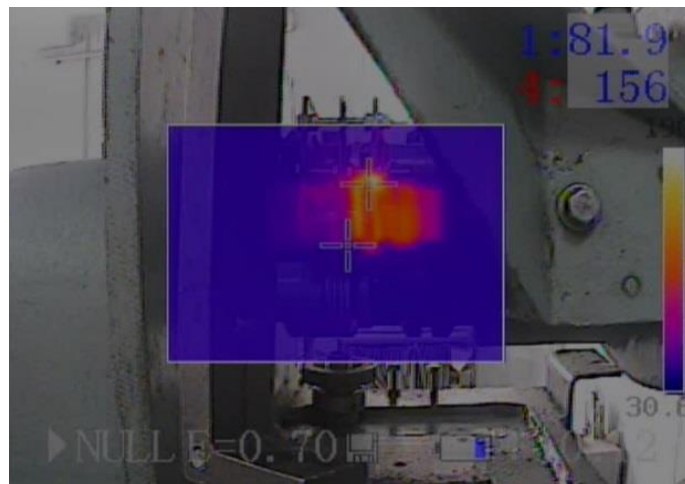
В качестве вращающегося образца использовались диски диаметром 36 мм и толщиной 6 мм полученные из оригинального тормозного диска автомобиля LadaGranta гидроабразивной и токарной обработкой. Что позволило получить шероховатость и точность испытательной поверхности сопоставимой с рабочей поверхностью оригинального тормозного диска.

Таблица 1 – Результаты хим. анализа тормозных дисков автомобиля Lada Granta

Параметр	Значение	Требования ГОСТ 1585-85
Марка материала	Антифрикционный чугун АЧС-4	
Углерод	3,46%	3-3,5%
Марганец	0,79%	0,4-0,8%
Кремний	2,06%	1,4-2,2%
Хром	0,06%	не нормируется
Фосфор	0,05	не более 0,3
Сера	0,05	0,12-0,2

Одним из фактором, который подтверждает адекватность проводимых испытаний это то что является материалами пар трения. Был проведен химический анализ данных тормозных дисков (табл. 1) который показал полное соответствие химического состава требованиям нормативной документации к данной марки чугуна, все параметры оказались в середине

допустимых диапазонов. Марка чугуна АЧС-4 что означает антифрикционный чугун серый с пластинчатым графитом.



1- Температура в центральной точке видеоискателя,
4- максимальная температура в захватываемой области.

Рисунок 3 - Кадр из термовидео полученного тепловизором

Подвижным образцом является диск, который вращается с постоянной скоростью 1000 об/мин ($16,6 \text{ c}^{-1}$). К нему прижимается закрепленный в каретке неподвижный образец, который представляет из себя прямоугольный сегмент тормозной колодки. В эксперименте использовались два производителя тормозных колодок немного ниже среднего (фирма Riginal) и верхнего ценового сегмента с подтвержденной проверкой подлинности (фирма Ferrodo).

Согласно РД 50-662-88 «Методы экспериментальной оценки фрикционной совместимости материалов трущихся сопряжений» сказано если износ подвижного образца составляет менее 0,02 мм то продолжительность испытаний увеличивают вдвое. Таким образом данный тезис стоит учитывать еще с точностью измерения массы подвижного образца, т.к. величина износа неподвижного образца (колодки) больше.

Оценка теплонагруженности пар трения в процессе испытания производилась с помощью тепловизора SATHotFind-L.

Большой интерес представляет температура поверхности подвижного образца то настройка тепловизора производилась именно под него. Коэффициент коррекции по излучающей способности выбран 0,7, что согласно документации к тепловизору соответствует обработанному серому чугуну.

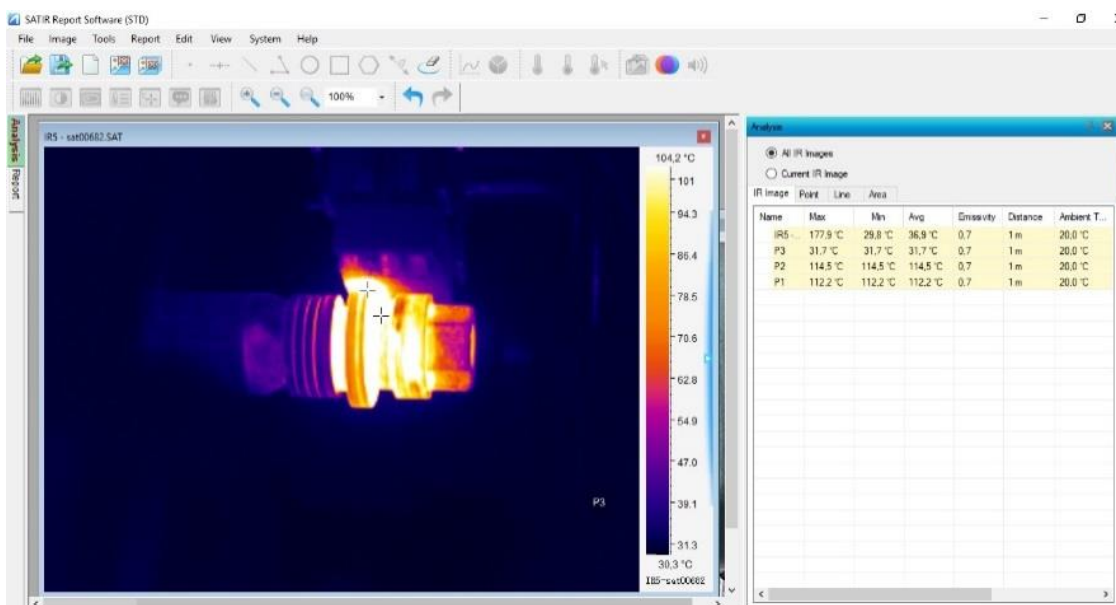


Рисунок 4 - Обработка термограммы в SatIrReport

По результатам испытаний позволили показать влияние режимов, времени торможения, свойств материалов на явление фединга. Было отмечено что материал тормозной колодки оказывает значительное влияние на крутящий момент при одинаковой силе прижатия и сопоставимых площадях, даже несмотря на повышенную температуру поверхности тормозного диска.

Влияние материала колодки на изменение температуры поверхности тормозного диска меньше по сравнению с влиянием криогенной обработки диска. В тормозном механизме автомобиля в котором установлены криогенно обработанные тормозные диски работающие совместно с качественными тормозными колодками (ферродо) может не возникать явления фединга достаточно длительное время торможения или снижен риск его возникновения что было показано в процессе данных испытаний. Увеличение тормозного момента при той же силе прижатия тормозных колодок можно достигнуть применением качественных тормозных колодок.

Важным свойством тормозной системы является ее безотказность. Частным случаем безотказности тормозной системы является стабильность ее параметров например тормозного момента. Для этого воспользуемся параметром стабильности коэффициента трения пары диск колодка согласно РД 50-662-88

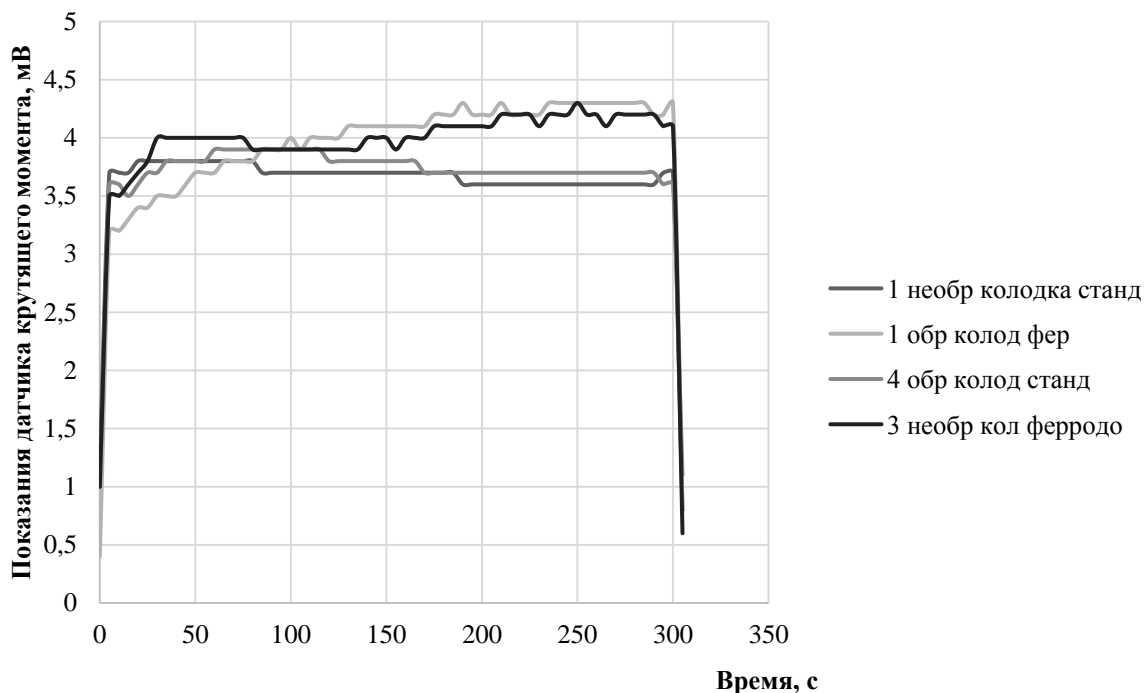


Рисунок 5 - Значения датчика крутящего момента при испытании в течении 5 минут для комбинации различных подвижных и неподвижных образцов

Вычисляют показатель а стабильности коэффициента трения по формуле

$$a = \sum_{i=1}^n M_i / \sum_{i=1}^n M_{max} \quad (1)$$

где n – количество повторных испытаний.

После расчета показателя стабильности коэффициента трения получаем для различных комбинаций испытательных образцов диска и колодки.

- для стандартного диска и стандартной колодки 0,968
- для криогенно обработанного диска и стандартной колодки 0,974
- для стандартного диска и колодки ферродо 0,959
- для криогенно обработанного диска и колодки ферродо 0,969

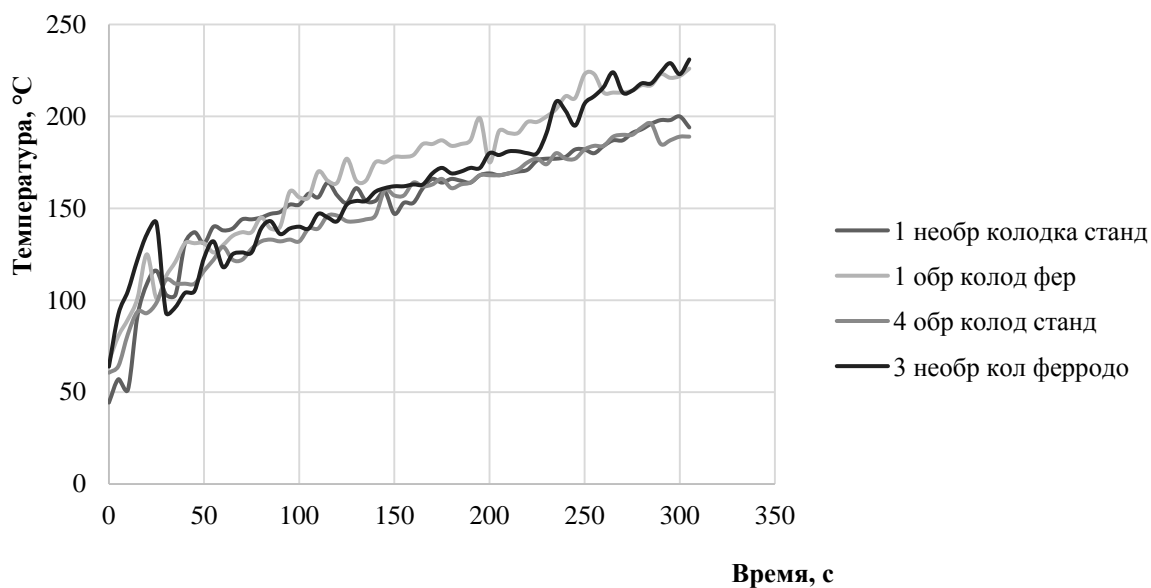


Рисунок 6 - Значения максимальной температуры подвижных образцов в течении 5 минут для комбинации различных подвижных и неподвижных образцов

Как видно из результатов расчета показателя α подвижный криогенно обработанный образец имеет более стабильный коэффициент трения, а следовательно и тормозной момент. Уменьшение коэффициента для пар трения с колодками ферродо можно объяснить более высокими значениями реализуемого тормозного момента при той же силе прижатия неподвижного образца к подвижному (см. рис. 6) и высокими температурами поверхности подвижного образца (см. рис. 7).

Т.е. диапазон тормозного момента возрастает пропорционально с увеличением его значений. Но так же как и для стандартной колодки пара колодка ферродо и криогенно обработанный образец имеют более высокий показатель стабильности коэффициента трения по сравнению с парой колодка ферродо и стандартный диск.

Износ тормозных накладок зависит от температуры согласно литературным источникам, хотя результаты проведенных испытаний показали неоднозначность данного высказывания.

Таблица 2 - Результаты измерения износа подвижных образцов в комбинации с различными колодками

№	Тип образцов	Масса диска до испытаний	Масса диска после испытаний	Износ диска	Масса колодки до испытаний	Масса колодки после испытаний	Износ колодки
1	стандартный диск колодка стандарт	33,417	33,409	0,008	278,506	277,973	0,533
2	обработ. диск колодка стандарт	33,370	33,366	0,004	277,917	277,765	0,152
3	стандартный диск колодка стандарт	33,373	33,363	0,01	283,945	283,777	0,168
4	обработ. диск колодка стандарт	33,192	33,183	0,009	283,752	283,613	0,139
5	обработ. Диск колодка ферродо	33,368	33,359	0,009	286,154	286,120	0,034
6	стандартный диск колодка ферродо	33,334	33,316	0,018	286,064	286,035	0,029
7	стандартный диск колодка стандарт	33,401	33,397	0,004	278,072	278,019	0,053
8	обработ. диск колодка стандарт	33,288	33,286	0,002	277,973	277,910	0,063

Для необработанного подвижного образца, который имел большую температуру, износ колодок стандарт и ферродо оказался значительно меньше по сравнению с обработанным образцом который имел меньшую температуру поверхности.

Список использованной литературы

1. Ревин А.А. Методология контроля технического состояния тормозной системы автомобиля с АБС в процессе эксплуатации/ А.А. Ревин, И.С. Жуков, В.С. Шкарупелов// Известия ВолГТУ, серия: наземные транспортные системы. – 2012. – № 2 (89). – Т. 5 – С. 90-93.
2. Солоненко В.Г. ТермоЭДС и коэффициент трения в результате криогенной обработки токарных резцов / В.Г. Солоненко, Е.А. Кривонос //МНТК «Проблемы исследования и проектирования машин». Пенза: ПДЗ, 2005.-С. 89-91.
3. Дыгало, В.Г. Оценка тепловой нагруженности пар трения автоматизированной тормозной системы автомобиля / В.Г. Дыгало, И.С. Жуков // Прогресс транспортных средств и систем – 2018 :материалымеждународ. науч.-практ. конф. (г. Волгоград, 9-11 октября 2018 г.) / редкол.: И. А. Каляев, Ф. Л. Черноусько, В. М. Приходько [и др.] ; ВолГТУ, РФФИ, «ФНПЦ «Титан–Баррикады». -Волгоград, 2018. - С. 103-105.
4. Исследование свойств активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / А.В. Тумасов, А.М. Грошев, С.Ю. Костин, М.И. Саунин, Ю.П. Трусов, В.Г. Дыгало // Журнал автомобильных ин-женеров. – 2011. – № 2. – С. 34-37.

УДК 621.113

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСАМИ

С.В. Ильянов, Г.В. Борисов

***Аннотация.** Приведены этапы развития системы нормирования расхода топлива автомобилей в СССР и РФ, изложены основные положения научных исследований в области нормирования расхода топлива автобусов, описаны математические модели прогнозирования расхода топлива автомобилями с учетом скоростных режимов движения и мероприятий для их усовершенствования в случае их применения для определения расхода топлива городскими автобусами.*

Ключевые слова: *расход топлива, нормирование расхода топлив, проблемы нормирования.*

Сергей Владимирович Ильинов - старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, тел./факс: +7 (831) 436-43-83, E-mail: ilyanovsv@mail.ru.

Геннадий Валерьевич Борисов - кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, тел./факс: +7 (831) 436-43-83, E-mail: bgv-nn@yandex.ru.

Нормы расхода горюче-смазочных материалов служат для планирования их потребления и оценки эффективности использования подвижного состава АТ. Норма расхода топлив и смазочных материалов применительно к АТ подразумевает установленное значение меры его потребления при работе автомобиля конкретной модели, марки или модификации. [1,2]

Качественные изменения в области нормирования расхода топлив произошли после реализации Постановления Бюро ЦК КПСС по РСФСР, Совмина РСФСР от 14.06.1958 № 637 «О мерах по улучшению работы грузового автомобильного транспорта». С 01.07.1960 введены в действие «Единые нормы расхода жидкого топлива для автомобилей», утвержденные Постановлением Совмина СССР от 05.03.1960 № 252 «О нормах расхода жидкого топлива для автомобилей».

Новые нормы учитывали, в отличие от ранее действовавших норм, не только пробег автомобилей, но и выполняемую за пробег транспортную работу, а также расстояние перевозок с грузом; кроме того, эти нормы были широко дифференцированы по дорожным и климатическим условиям.

Для автобусов применяли нормы расхода, установленные с учетом только общего пробега

$$Q_n = 0,01 \cdot (H_s \cdot S) \cdot (1 \pm 0,01 \cdot Д) \quad (1)$$

где Q_n – потребное (нормируемое) количество топлива, л;
 H_s – норма на 100 км пробега автобуса, л/100 км;
 S – общий пробег, км;
 $Д$ – поправочный коэффициент, %.

Повышающие норму расхода топлива автобусами коэффициенты: при работе в зимнее время; при работе на дорогах в горных местностях; при работе с частыми остановками; для автомобилей, вышедших из капитального ремонта, и для новых автомобилей; при работе в тяжелых дорожных условиях; во время учебной езды.

Снижающие норму расхода коэффициенты: при работе автомобилей на внегородских дорогах с усовершенствованными покрытиями, находящимися в удовлетворительном состоянии.

Последующее развитие автотранспортной отрасли страны обусловлено выходом ряда Постановлений ЦК КПСС, Совмина СССР о повышении эффективности производства и эксплуатации грузового автотранспорта, привело к введению с 01.01.1976 «Линейных норм расхода жидкого топлива для автомобильного транспорта», утвержденных Постановлением Госплана РСФСР от 29 октября 1975 г. № 206 «О временных линейных нормах расхода жидкого топлива для автомобильного транспорта».

Однако, несмотря на реформирование всей автотранспортной отрасли, новые нормы расходы топлива автобусами, замещающие ранее введенные, претерпели лишь незначительные изменения [2]: добавлены модели, марки и модификации автобусов, для которых ранее нормы расхода топлива не были введены; введены дополнительные повышающие коэффициенты: при работе на дорогах со сложным планом.

После выхода Приказа Минавтотранса РСФСР от 03.09.1982 № 91 «Об усилении режима экономии автомобильного топлива и автошин» введены новые линейные нормы расхода автомобильного бензина, дизельного топлива и сжиженного газа для автомобильного транспорта, утвержденные Постановлением Госплана СССР от 17.06.1983 № 171 «Об утверждении линейных норм расхода топлива для автомобильного транспорта».

Новые нормы расхода топлива автобусами, замещающие ранее введенные, претерпели следующие изменения (кроме указанных выше): введены нормы расхода сжиженного газа на 100 км пробега для автобусов; снижены линейные нормы расхода автомобильного бензина, дизельного топлива на 100 км пробега для некоторых моделей автобусов.

С 01.07.1989 введены в соответствии с указанием Госплана СССР от 6 января 1989 г. № КМ-2/4-9 новые линейные нормы расхода топлива, утвержденные Письмом Минавтотранса РСФСР от 28.03.1989 № ВЕ-14/385 «Об утверждении и введении в действие линейных норм расхода топлива для автомобильного транспорта», и заменяющие собой ранее действующие нормы.

Новые нормы расхода топлива автобусами, претерпели следующие изменения (кроме указанных выше): введены нормы расхода сжатого природного газа на 100 км пробега для автобусов, а также при работе в газодизельном режиме; определено применение бензина для газобаллонных автомобилей; введены новые повышающие надбавки: при работе АТС в городах свыше 1 млн человек; при централизованном перегоне таких автомобилей своим ходом в одиночном состоянии.

Кроме этого, с 01.01.1992 Государственный Стандарт Союза ССР вводит два нормативных документа:

1. ГОСТ 20306-90 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний», согласно которому среднюю скорость $V_{\text{ср}}$, км/ч, и средний расход топлива Q_s , л/100 км, определяют по результатам дорожных испытаний в условиях, соответствующих движению на скоростной дороге автополигона НАМИ, при выполнении заданных требований по установленным выражениям.

Данный стандарт устанавливает определение следующих показателей и характеристик топливной экономичности: контрольного расхода топлива, расхода топлива в магистральном цикле на дороге, расхода топлива в городском цикле на дороге, расхода топлива в городском цикле на стенде, топливной характеристики установившегося движения, топливно-скоростной характеристики на магистральной холмистой дороге.

2. ГОСТ 22576-90 «Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний», согласно которому скорость V_{max} , км/ч, и время \bar{t} , с, движения АТС по дорогам, соответствующим заданным требованиям определяются по установленным выражениям.

Данный стандарт устанавливает определение следующих показателей и характеристик скоростных свойств АТС: максимальную скорость, время разгона на заданном пути, время пути до заданной скорости, скоростной характеристики «разгон-выбег», скоростной характеристики «разгон на передаче, обеспечивающей максимальную скорость».

Анализ показывает, что кроме качественного изменения в нормировании расхода топлива в 1960 году (учет выполненной транспортной работы, дифференциация по дорожным и климатическим условиям и др.), определения порядка проведения испытаний для определения скоростных свойств АТС и их топливной экономичности, используемых впоследствии НИИАТ при разработке «Методики определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте» к началу 1990-х годов не произошло каких-либо других качественных изменений: снизились некоторые нормы и надбавки, увеличился модельный ряд, для которых утверждались нормы, добавились корректирующие коэффициенты и виды топлива.

Развитие законодательства в РФ в области нормирования расхода топлива начинается с введения в действие с 01.10.1993 «Норм расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Р3112199-0295-93, утвержденных Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ 26.08.1993, а также выходом Инструктивного Письма Минтранса РФ от 13.02.1995 № ЛШ-1/52 «О внесении уточнений в «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

Согласно новым нормам на автомобильном транспорте применялись следующие виды норм расхода: линейные нормы, регламентирующие расход топлива в процессе передвижения автомобиля, нормы расхода топлива на работу специального оборудования, установленного на автомобилях, а также удельные нормы расхода топлива на единицу выполненной транс-

портной работы. По сравнению с ранее действовавшими нормами произошли следующие изменения:

– дифференциация норм по видам автомобилей (легковые автомобили, автобусы, бортовые грузовые автомобили, тягачи, самосвалы, фургоны) с увеличением количества моделей, для которых регламентированы нормы, при этом для некоторых моделей приведены нормы при комплектации их с различными двигателями;

– при нормировании расхода топлив для автобусов введен учет работы отопителей в салоне

$$Q_n = 0,01 \cdot (H_s \cdot S) \cdot (1 \pm 0,01 \cdot D) + H_{от} \cdot T \quad (2)$$

где $H_{от}$ – норма расхода топлива на работу отопителя л/час;

T – время работы автомобиля с включенным отопителем, час.

Позднее, 23.11.1994 Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ утверждено «Руководство по энергосбережению на автомобильном транспорте» Р 3112199-0337-95, согласно которому среди прочего разработаны мероприятия по обеспечению экономии и рационального использования ГСМ. В частности, службе эксплуатации региональных транспортных управлений и АТП рекомендовалось:

– проводить нормирование скоростей с учетом наиболее экономичных режимов работы и разрабатывать специальные технологические карты рационального управления автобусами на каждом маршруте (при организации междугородних автобусных перевозок);

– учитывать состояние и профиль дорог, их техническое состояние, состояние подъездных путей, интенсивность дорожного движения, наличие светофоров и железнодорожных переездов и т.п., при составлении маршрутов перевозок;

– обеспечивать по каждому автомобилю соблюдение одновременной регистрации показаний спидометров и остатков топлива в баках.

– для целей определения технического состояния автомобиля, проверки маршрутов, условий работы на данном маршруте и т.д. рекомендовалось проводить выборочные контрольные измерения по проверке расхода топлива автомобилями на АТП.

24.09.1996 НИИАТ разрабатывает и Минтранс РФ утверждает без ограничения срока действия «Методику определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте» Р 03112134-0367-97 во исполнение Закона РФ "Об энергосбережении" № 28-ФЗ от 03.04.1996 и Постановления Правительства РФ "О неотложных мерах по энергосбережению" № 1087 от 02.11.1995.

При определении базовых норм расхода топлива учитываются:

– конструкционные параметры автомобиля;

– стандартные типизированные маршруты:

1. Маршрут в среднехолмистой местности (с уклоном до 4%), длина маршрута 14,6 км, ограничения скорости устанавливаются в зависимости от типа АТС.

2. Городской маршрут, длина маршрута 3,9 км, маршрут состоит из 7 участков разной протяженности и ограничений скорости (от 20 до 80 км/ч).

3. Городской автобусный маршрут, длина маршрута 2,2 км, маршрут состоит из 6 участков разной протяженности и ограничений скорости (от 30 до 50 км/ч).

Кроме того, введены коэффициенты весомости расходов в эксплуатации автомобилей и автобусов.

Тем не менее, нормируемый расход топлива для конкретного автомобиля определяется по известным формулам («Порядок нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте» и Р3112199-0295-93), исходя из базовой нормы и поправочных коэффициентов.

Согласно плана выхода норм расхода с 01.01.1997 вводятся взамен действующих новые «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Р 3112194-0366-97, утвержденные Минтрансом РФ 29.04.1997, которые вносят следующие изменения в нормирование топлив для автобусов: снижены линейные нормы расхода автомобильного бензина, дизельного топлива, сжиженного газа, сжатого природного на 100 км пробега для некоторых моделей автобусов; добавлены модели, марки и модификации АТС, для которых ранее нормы расхода топлива не были введены; изменены формулировки и значения некоторых действующих и введены новые корректирующие коэффициенты: повышающие – нормы расхода топлив при работе в городах разделены по группам в зависимости от населения городов; также установлена протяженность пригородной зоны городов; для новых моделей и модификаций АТС на которые Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ не утверждены базовые нормы расхода топлива, временные нормы должны быть установлены в соответствии с требованиями «Методики определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте», утвержденной Федеральной автомобильно-дорожной службой 14.10.1996.

Следующие «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Р 3112194-0366-03 утверждены Минтрансом РФ 29.04.2003 и введены с 01.01.2003 взамен ранее действующих, согласно которым внесены следующие изменения и дополнения (кроме указанных выше): убран снижающий коэффициент – при эксплуатации заказных и ведомственных автобусов, не работающих на постоянных маршрутах.

В дальнейшем, в целях реализации Приказа Минтранса от 24.06.2003 № 153 «Об утверждении Инструкции по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на автомобильном транспорте» (зарегистрирован Минюстом России 24.07.2003 г., регистрационный № 4916), соглас-

но Распоряжению Минтранса РФ от 14.03.2008 №АМ-23-р введены новые «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (далее – Нормы).

В соответствии с новыми Нормами для автомобилей общего назначения установлены следующие виды норм:

– базовая норма, л/100 км пробега автобуса в снаряженном состоянии;

– транспортная норма, л/100 км пробега при проведении транспортной работы автобуса, где учитывается снаряженная масса и нормируемая по назначению автобуса номинальная загрузка пассажиров.

Согласно новым Нормам в нормировании расхода топлива, по сравнению с ранее действовавшими, произошли лишь незначительные изменения:

– добавлены модели, марки и модификации АТС, для которых ранее нормы расхода топлива не были введены;

– изменены формулировки и значения некоторых действующих корректирующих коэффициентов.

14.05.2014 выходит распоряжение Минтранса РФ № НА-50-р «О внесении изменений в Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», введенные в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р», а впоследствии распоряжение Минтранса РФ от 14 июля 2015 года N НА-80-р согласно которым перечень автомобилей дополняется новыми моделями с соответствующими им базовыми нормами. Последняя редакция норм расхода топлива 2008 года реализована 20.09.2018. Других изменений не внесено.

Параллельно развитию законодательства в области нормирования расхода топлива развивались и научные теории в области топливной экономичности, планирования и нормирования расхода топлив на АТ:

– разработаны либо усовершенствованы методики маршрутного нормирования (прогнозирования) расхода топлива с учетом различных факторов (скорость движения, состояние дорожной поверхности, степень загрузки АТС, конструкционные параметры АТС и т.д.) для определенных категорий АТС (легковые, автобусы, грузовые автомобили, седельные и прицепные автопоезда, автомобили-самосвалы);

– исследованы зависимости влияния различных условий эксплуатации (городские, зимние) на расход топлива любых категорий АТС.

В диссертационных исследованиях Абрамова С.Н. (НИИАТ, 1983 г.); Джаджанидзе В.И. (МАДИ, 1991 г.); Корякина А.А. (МАДИ, 2000 г.); Исполатова Б.Ю. (МГИУ, 2005 г.) произведено совершенствование методов разработки нормативов расхода топлива автобусами на основе:

– учета технологии движения на городских и пригородных автобусных маршрутах с помощью установленных количественных взаимосвязей

между параметрами организации движения автобусов на городских и пригородных маршрутах и расходом топлива, разработанного метода корректировки нормативов расхода топлива при изменении технологии движения маршрутных автобусов и метода расчета маршрутных норм расхода топлива для городских и пригородных автобусных перевозок;

– методики маршрутного нормирования расхода топлива для АТП, учитывающей особенности формирования расхода топлива автобусами и позволяющей устанавливать дифференцированные нормы расхода топлива на каждом маршруте с помощью теоретической модели формирования линейного расхода топлива автобусами с учетом режима его работы на маршруте;

– методики разработки маршрутных нормативов расхода топлива автобусами на городских маршрутах, сформированной с учетом показателей условий эксплуатации, оказывающих наибольшее влияние на расход топлива;

– обоснованного выбора основных факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов, многофакторной математической модели маршрутного расхода топлива автобуса в эксплуатации на примере ЛиАЗ-6212.

В защиту существующей системы нормирования расхода топлива автомобилями можно заявить, что кроме очевидной простоты методики, значения базовых норм расхода топлива, полученных по методике НИИАТ и приведенных в приложениях к Нормам, незначительно отличаются от расчетных и фактических значений.

Проведенные на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева исследования [2] показывают, что отклонения базовых норм и расчетных значений расхода топлива не превышают 7% (до 1,8 л/100 км) для грузовых автомобилей. Вместе с тем, доказана неэффективность в современных условиях порядка корректирования транспортной нормы по условиям эксплуатации. Полученные таким образом эксплуатационные нормы расхода топлива превышают расчетные расходы до 26% (для грузовых автомобилей) в идентичных условиях.

Для устранения указанных недостатков на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработана [2] вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлива с учетом скоростного режима движения с математическими моделями (3,8) наиболее вероятной средней скорости движения и расхода топлива в заданных условиях эксплуатации:

1. Наиболее вероятное значение средней скорости движения автомобиля V_c на участке маршрута j (городской, пригородный и загородный) с учетом режима работы двигателя s

$$V_{cj}^s = \frac{3,6 \cdot P_e^s \cdot r_d}{T_{ep}^s i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}, \quad (3)$$

где P_e^s – эффективная мощность двигателя на выбранном режиме работы двигателя, Вт;

r_d – динамический радиус ведущего колеса, м;

T_{ep}^s – крутящий момент, Н·м, при соответствующем значении эффективной мощности P_e^s ;

i_0 – передаточное число главной передачи;

n – количество передач КП;

$i_{кп}$ – передаточное число КП;

k_i – коэффициент учета дорожных условий эксплуатации;

δ_i – коэффициент учета транспортных условий эксплуатации.

Коэффициент учета дорожных условий эксплуатации k_i характеризует долю движения автомобиля на каждой передаче КП и численно равен вероятности движения автомобиля на той или иной передаче в заданных дорожных условиях эксплуатации.

Коэффициент учета транспортных условий эксплуатации δ_i характеризует положение математического ожидания скорости движения на передаче в интервале доступных для этой передачи скоростей и определяется с учетом распределения фактических скоростей движения на передаче как случайной величины.

Первый сомножитель выражения (3) представляет собой реализуемую скорость движения автомобиля на прямой передаче ($i_{кп} = 1$), принимается условно постоянной для конкретной модели автомобиля, характеризует технические возможности движения автомобиля и подлежит корректировке с учетом предельно допустимых значений скоростей движения.

Второй сомножитель под знаком суммы представляет собой комплексный коэффициент учета условий эксплуатации, являющийся условно переменной величиной в тех или иных условиях эксплуатации и математически не строго изменяющийся в диапазоне от 0 до 1 (0 - недопустимые для движения условия; 1 - отсутствие влияния условий эксплуатации на движение). Характеризует изменение тяговых возможностей автомобиля в тех или иных условиях эксплуатации.

Данная модель показала высокую сходимость результатов с фактическими средними скоростями движения (для грузовых автомобилей отклонения не более 1,7% (не более 2 км/ч)) при условии технически грамотного управления автомобилем. Но следует иметь ввиду, что в данную модель заложено равномерное движение автомобиля с постоянной средней скоростью, как превалирующее при междугородних и международных пе-

ревозках грузов. Поэтому данная модель требует уточнения при ее использовании для автобусов с учетом специфики городского движения.

Для этих целей к настоящему времени на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева осуществлены следующие исследования:

а) Распределение дорожных сопротивлений как случайной величины при движении на дорогах с твердым покрытием на примере г. Н.Новгорода.

Для решения указанной задачи в качестве гипотезы были предложены 3 закона распределения случайной величины ψ : 1 - равномерный закон; 2 - экспоненциальный закон; 3 - гамма-распределение.

Условие для построения графической зависимости плотности вероятности распределения случайной величины записывается в виде

$$f(\psi) = \begin{cases} f(x), & \text{при } \psi_{min} < \psi \leq \psi_{max} \\ 0 & \text{при } \psi > \psi_{max} \text{ и } \psi < \psi_{min} \end{cases} \quad (4)$$

Равномерный закон распределения дорожного сопротивления предложен для случая, когда любое значение в диапазоне изменения ψ равновероятно, что возможно в период неустойчивости природно-климатических условий или состояния дорожного покрытия.

Экспоненциальный закон распределения дорожного сопротивления предложен для случая, когда наиболее вероятное значение ψ располагается вблизи границ диапазона (около ψ_{min} – в случае превалирующего высокого качества дорожного покрытия, например, после капитального ремонта дороги (экспонента с отрицательной степенью); около ψ_{max} – при движении по дороге с тем же покрытием, но неудовлетворительного качества (экспонента с положительной степенью)).

Гамма-распределение дорожного сопротивления предложено для случая, когда наиболее вероятное значение ψ принадлежит конкретному значению в заданном интервале $\psi_{min} < \psi < \psi_{max}$. Это наиболее общий случай реального распределения ψ , как случайной величины, который сводится в частном случае к нормальному, если наиболее вероятное значение стремится к средневзвешенному значению $m(\psi)$.

Проведенные на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева исследования с привлечением студентов старших курсов подтвердили нормальное распределение дорожного сопротивления в условиях г. Н.Новгорода. Математическое ожидание дорожного сопротивления составило $m(\psi) = 0,0129$ для мокрого асфальтового покрытия. Ведутся исследования изменения дорожного сопротивления для других состояний покрытия.

Вид закона распределения ψ определяет математический вид выражения для определения коэффициента учета дорожных условий эксплуатации k_i , который для нормального распределения составит

$$k_i = \int_{D_{i+1}}^{D_i} f(\psi) d\psi = \Phi\left(\frac{D_i - m(\psi)}{\sigma(\psi)}\right) - \Phi\left(\frac{D_{i+1} - m(\psi)}{\sigma(\psi)}\right) \quad (5)$$

где $\frac{D_i - m(\psi)}{\sigma(\psi)} = z$ – аргумент нормированной функции;
 $\Phi(z)$ – значение нормированной функции;
 D_i и D_{i+1} – динамический фактор для текущей и следующей за ней передачи;
 $\sigma(\psi)$ – среднее квадратическое отклонение случайной величины ψ .

б) Распределение скоростей движения автобусов классов M_1, M_2, M_3 по маршрутам г. Н.Новгорода в целом и на передачах КП для выявления их закономерностей изменения и корректирования математического вида коэффициента δ_i .

Для решения указанной задачи с привлечением студентов старших курсов проведены исследования скоростных режимов автобусов ЛиАЗ-5256 с ГМП и ПАЗ-3204 на маршрутах г. Н.Новгорода. Определены законы распределения скоростей для различных передач КП (от экспоненциального для низких передач, до нормального и выведенного трехпараметрического закона для средних и высоких передач КП).

Вид закона распределения V_i определяет математический вид выражения для определения коэффициента учета транспортных условий эксплуатации δ_i . Ввиду малого интервала изменения скоростей в городских условиях (от V_{min} до $V_{пр} = 60$ км/ч) и интервала скоростей для каждой передачи, данный коэффициент с относительно небольшой погрешностью (до 20%) может быть определен как для середины интервала для каждой передачи КП

$$\delta_i = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{V_{imin}}{V_{imax}}\right) \quad (6)$$

где V_{imin} и V_{imax} – соответственно минимальная устойчивая и максимальная скорость движения автобуса на заданной передаче.

Выводятся выражения для определения коэффициента δ_i для автобусов с гидромеханической передачей (ГМП).

в) Определение математического вида дополнительного множителя к выражению (3), характеризующего неравномерное движение автобуса на прямолинейных участках городских маршрутов и поворотах с учетом условий безопасного движения (отсутствие бокового скольжения - заноса и продольного скольжения - юза).

Из выражения критической скорости по условию поперечного заноса и юза [3], математический вид коэффициента учета городских условий эксплуатации имеет вид

$$k_{\Gamma} = \sqrt{(\varphi_y^2 - \chi^2)} \quad (7)$$

где φ_y - коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой;
 χ - коэффициент тормозной (или тяговой) силы (отношение силы к весу автомобиля, приходящемуся на колесо).

Умножение численного значения указанного коэффициента на среднюю скорость движения автобуса при равномерном движении дает численное значение средней скорости движения автобуса в городских условиях в диапазоне 20...35 км/ч, что достаточно хорошо согласуется с экспериментальными средними скоростями движения автобусов в г. Н.Новгород ($V_{\text{ср}} = 22 \dots 28$ км/ч).

2. Наиболее вероятное значение расхода топлива автомобилем Q_s на участке маршрута j (городской, пригородный и загородный) с учетом режима работы двигателя s

$$Q_{sj} = \frac{g_{ep} \cdot k_E^s \cdot k_{Iij}^s}{10000 \cdot \rho_T \cdot \eta_{\text{тр}}} (0,278 \cdot m_{\Psi} \cdot G_{\text{атс}} + 0,02143W \cdot V_{cj}^2), \quad (8)$$

где g_{ep} – удельный расход топлива двигателем при максимальной мощности;

k_E^s и k_{Iij}^s – коэффициенты учета скоростных (Е) и нагрузочных (И) режимов работы двигателя;

ρ_T – плотность топлива, кг/л;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии;

m_{Ψ} – математическое ожидание дорожного сопротивления;

$G_{\text{атс}}$ – полный вес АТС, Н;

W – фактор обтекаемости.

Коэффициенты k_E^s и k_{Iij}^s определены согласно исследованиям [4], проведенным на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р.Е. Алек-

сеева для значений угловых скоростей вращения КВ и режимов работы двигателя, соответствующих средней скорости движения V_{cj}^s , км/ч, на различных участках маршрута (здесь ij – номера передачи и участка маршрута соответственно).

Данная модель показала высокую сходимость результатов с фактическими расходами топлив (для грузовых автомобилей отклонения не более 4,85% (не более 2 л/100 км)) при условии удовлетворительного технического состояния автомобиля и настроек топливной аппаратуры. Но следует иметь в виду, что в основу данной модели заложено уравнение расхода топлива установившегося движения как превалирующего при междугородных и международных перевозках, поэтому данная модель требует уточнения при ее использовании для автобусов с учетом специфики неравномерного движения.

Для этих целей в настоящее время на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева осуществляются исследования частичных скоростных и нагрузочных характеристик двигателей и наиболее вероятных режимов работы двигателей автобусов.

Расчет расхода топлива в городских условиях для целей настоящего исследования разделится на две составляющие: а) при движении автобуса с расчетной средней скоростью по описанным выше зависимостям - по уравнению расхода топлива неустановившегося движения; б) при простоях автобусов на остановочных пунктах (ОП), регулируемых пересечениях и т.п. - как часовой расход двигателя.

Проведенными на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева [5] совместно с Департаментом транспорта и связи г. Н.Новгорода исследованиями с привлечением студентов старших курсов установлены законы распределения общего времени простоя автобуса на ОП для г. Н.Новгорода и составляющих этого времени.

Общее время задержки (простоя) автобуса на ОП описывается выражением

$$\sum t_z = t_{\text{доп}} + t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{пво}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{уб}} \quad (9)$$

где $t_{\text{доп}}$ - дополнительное время, требуемое для поступления (смены) автобуса на ОП;

$t_{\text{од}}$ - время открытия дверей;

$t_{\text{обсл}}$ - время обслуживания (посадка-высадка) пассажиров;

$t_{\text{пво}}$ - время простоя в ожидании пассажиров;

$t_{\text{зд}}$ - время закрытия дверей;

$t_{\text{уб}}$ - время убытия автобуса с ОП при наличии заездного кар-

мана.

Для целей настоящего исследования часть расхода топлива, рассчитанного как часовой расход двигателя обусловлена наличием составляющих общего времени простоя на ОП: $t_{од} = t_{зд} = 1-2$ с; $t_{обсл}$ и $t_{ПвО}$, для которых получены гистограммы распределений [5].

Распределение времени обслуживания пассажиров с высокой сходимость можно описать двумя законами распределения: гамма-распределением или логарифмически нормальным распределением (рис. 1) с численным значением математического ожидания 12-15 с для г. Н.Новгорода.



Рисунок 1 - Время обслуживания пассажиров - логарифмически нормальное распределение

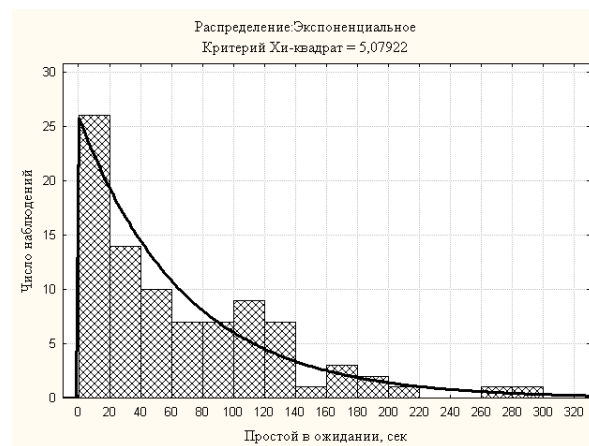


Рисунок 2 - Время простоя в ожидании пассажиров - экспоненциальное распределение

Распределение времени простоя автобуса в ожидании новых пассажиров описывается экспоненциальным распределением (рис. 2) с численным значением математического ожидания 20-40 с для г. Н.Новгорода. Наличие данного простоя зафиксировано только для ОП с наибольшей величиной пассажирооборота на маршруте автобуса (не более 2-3 ОП на весь маршрут).

Общий расход топлива автобуса на маршруте определяется в диапазоне от средней наполняемости салона пассажирами (на основе экспериментальных данных[5]) и предельной вместимости автобуса. В результате получено наиболее вероятное значение расхода топлива для заданного маршрута.

Завершением вышеуказанных исследований является усовершенствованная вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлив с учетом скоростного режима движения, на основании которой будут разработаны рекомендации к нормированию расхода топлив городских автобусов.

Список использованной литературы

1. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учебное пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. Борисов, Г.В. Методика прогнозирования расхода топлива автопоездами с учётом скоростного режима движения. Дисс. канд. техн. наук. – Н.Новгород: НГТУ, 2017. – 182 с.
3. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебник для ВУЗов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
4. Кузьмин, Н.А., Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учебное пособие / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. – М. Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 256 с.
5. Липенков А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов. Дисс. канд. техн. наук. – Н.Новгород: НГТУ, 2015. – 128 с.

УДК 629.083

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ТЕХНИКИ

В.В. Коваленко, Н.Ф. Булгаков, А.В. Горбанева

Аннотация. В статье рассматривается вопрос о совершенствовании системы профилактики путем цифровизации и применения разных стратегий обслуживания. Для более эффективного управления, техническим состоянием транспортных средств, предлагается комплекс программ, разработанных на кафедре «Транспорт» ПИ СФУ. Их применение будет способствовать снижению затрат времени при принятии решения, повышению их уровня безотказности и долговечности, изучению закономерности изменения показателей надежности и контролю эффективности принимаемых решений. Применение разных стратегий обслуживания будет способствовать построению разных состояний системы профилактики и их показателями.

Ключевые слова: профилактика, техническое обслуживание и ремонт, эксплуатация автомобильного транспорта, надежность.

Николай Федорович Булгаков - профессор, д-р.тех. наук ПИ СФУ, г. Красноярск ул. Борисова д.20, E-mail: bnf-atf@mail.ru.

Василий Васильевич Коваленко - ст. преподаватель ПИ СФУ, г. Красноярск ул. Борисова д.20, E-mail: kovvas-atf@mail.ru.

Анастасия Валерьевна Горбанева - аспирант ПИ СФУ,
г. Красноярск ул. Борисова д.20, E-mail: anastasia1993.05@mail.ru.

Работа автотранспортных средств (АТС) представляет собой непрерывный процесс. Для поддержания работоспособного состояния АТС, при эксплуатации, техническая служба предприятия проводит технические обслуживания техники. В зависимости от принятой модели обслуживания применяется или 2х ступенчатая система обслуживания (плановая) или производится обслуживание по текущему состоянию (по потребности). При этом какая стратегия обслуживания обладает преимуществами по сравнению с другой является острым вопросом, над которым работают ученые разных институтов и стран. С учетом климатических особенностей эксплуатации АТС в большей степени получила развитие стратегия планово-предупредительного обслуживания. При этой стратегии выполняются в плановом порядке с установленной периодичностью и трудоемкостью такие работы как техническое обслуживания (ТО):ТО-1, ТО-2, СО, а текущий ремонт (ТР) по потребности.

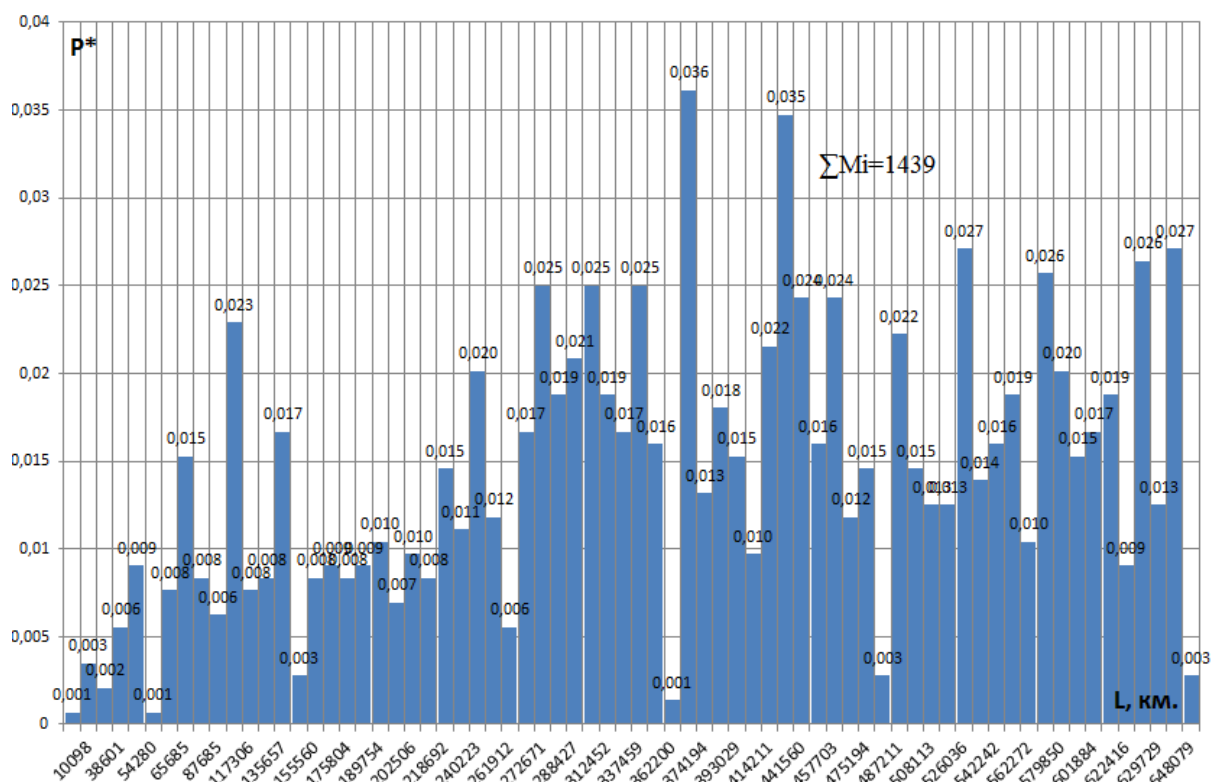


Рисунок 1 - Диаграмма частоты текущего (аварийного) ремонта между плановыми работами ТО для автобуса марки МАЗ-103

Как показывает опыт, одних плановых работ не достаточно и существующая система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) требует дополнительных исследований и совершенствования. На рис.1 переставлена диаграмма частоты текущего ремонта между плановыми работами ТО для автобуса марки МАЗ-103 эксплуатирующего в условиях г. Красноярска.

Инструменты позволяющие оценить систему ТО и Р на некоторых предприятиях слабо развиты т.к. требуют значительных финансовых, трудовых и временных ресурсов. Это приводит к тому, что наблюдается не равномерная загрузка производства предприятия. Как следствие возникают ситуации, когда зона обслуживания перегружена внезапными (аварийными) отказами и сходами АТС перед выходом в линии, при эксплуатации. Перегрузка производства отражается в недостатках: системы информационного обеспечения предприятия, нехватке обслуживающего персонала, дополнительных затратах на текущий ремонт (ТР), увеличение трудоемкости работ, отсутствия нужных запасных частей. Поэтому существующая система обслуживания АТС требует изучения и совершенствования. При модернизации существующей системы ТО и Р системе примет вид профилактической.

Решение проблемы

Предлагается действующую систему ТОиР совершенствовать и сформировать систему профилактики АТС. Система профилактики АТС базируется на увеличении плановых видов ТО за счет изучения закономерностей отказов деталей, узлов, агрегатов (ДУА) АТС. Одной из целей работы системы профилактики является повышение уровня безотказности элементов АТС при минимизации эксплуатационных затрат. Критерий минимизации эксплуатационных затрат является одним из актуальнейших на предприятии. Этапами развития системы ТО и Р и перевод ее на профилактику является совершенствование информационного обеспечения и системы формирования системы профилактики.

Информационные технологии внедрены почти на всех крупных предприятиях АТС. Их развитие активно произошло в экономическом, кадровом и диспетчерском секторе предприятия в первую очередь, а система ТОиР стала второстепенной. Следует отметить, что отсутствовали информационные продукты, применяемые в этом секторе, а действующие нуждались в редактировании, за счет средств предприятий. Для экономии средств предприятия не стремились совершенствовать данный сектор, также отсутствовало понимание, что делать дальше с постоянно прибывающим потоком данных. Для снижения трудовых, временных и денежных ресурсов на кафедре Транспорта ПИ СФУ был разработан комплекс алгоритмов и программ для модернизации системы ТО и Р [3, 4, 5]. Программы направлены на сбор и обработку данных. Все программы работают с база-

ми данных. Сбор данных и последующий контроль данных позволяет следить за системой обслуживания АТС и вносить в нее коррективы вне зависимости от того какой стратегия обслуживания принята. За счет разработанных модулей представляется возможным формировать временные ряды на вид работ, узел, агрегат АТС. Обработав полученные ряды можно сформировать базу данных показателей надежности АТС и карту безотказности. Используя методику предложенную учеными [1] на основе показателей надежности можно сформировать дополнительные разновидности обслуживания АТС (РТВ или ТОi). Процесс расчетов и обработки любых данных значительно упрощается при использовании разработанных программ. Даже применение на предприятии одной из программ (например сбор данных) способствует тому, что предприятие стремится корректировать действующую систему ТО. Это достигается за счет корректирования номенклатуры и периодичности выполнения работ. Предприятие получает точные данные о видах выполняемых работ, их объемах, исполнителях и как следствие снижается вероятность дублирования работ или происходит более детальное поиск неисправности при его повторе. Разработанные базы данных позволяют сохранять формируемые данные при отборе информации, ее обработке и данные о сформированной системе. Технологии позволяют изменять базы данных на любом этапе и в любое время.

За счет развития системы информационно обеспечения формирование системы профилактики становится более доступно, сокращаются временные и трудовые ресурсы. Основы формирования системы профилактики АТС описаны учеными в [1, 2, 6]. Однако для модернизации системы обслуживания предлагается формировать систему профилактики по стратегиям обслуживания (групповая, регламентная и по потребности) и на основе полученном состоянии системы при различных стратегий (см. рис.2) выбирать наиболее подходящую по параметрам состояния системы профилактики. Оценочными параметрами являются затраты на обслуживание, формируемый простой при обслуживании и параметры безотказности.

Поддержание высокого уровня технической готовности сложная задача требующая контроля за состояние систем обслуживания, планирования и выполнения. Совершенствуя существующую систему с использованием информационных технологий способствуют сокращению простоев при аварийных ремонтах, более четкому планированию.

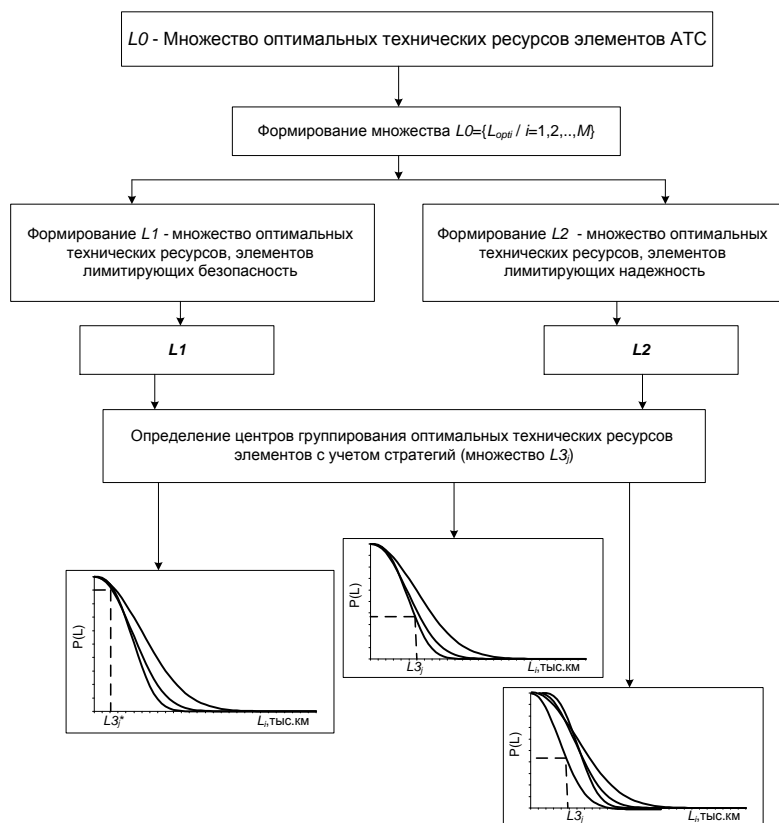


Рисунок 2 – Формирование системы профилактики по стратегиям обслуживания

При модернизации системы профилактики инженерная служба будет планировать обслуживание с учетом получения определенных параметров состояния системы.

Заключение

Совершенствование и модернизация системы обслуживания АТС процесс непрерывные и многосторонний. Предлагаются изменения за счет развития гаражного оборудования, изменения состава смазочных материалов, новых составов запасных частей и другие. Однако их эффективность влияния на ресурс сложно определить без системы сбора и обработки информации. Предприятия АТС уже внедрили информационные системы по сбору данных, однако в каком формате и как обработать данные дальше не знают. Разработанные программы способствуют формированию системы профилактики АТС с учетом различных вариаций данных при минимальных трудовых и временных ресурсах.

Список использованной литературы

1. Булгаков Н.Ф., Бурхивев Ц.Ц. Управление качеством профилактики АТС. Моделирование и оптимизация. Красноярск: КГТУ, 2002. 164 с.

2. Булгаков Н.Ф., Коваленко В.В., Шалимов С.Н. Модель проектирования технического регламента профилактики сложных систем (на примере эксплуатации городского пассажирского транспорта Сибири) // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/105-7277> (дата обращения: 26.10.2012).

3. Булгаков Н.Ф., Коваленко В.В., Шалимов С. Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2007613059 “Модель автоматизированного управления информационным обеспечением системы профилактики”, зарег. 06.07.2010 г. – 1 с.

4. Булгаков Н.Ф., Коваленко В.В., Сиренко Л.Н., М.А. Сысоев, Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2007613059 “Модель статистического оценивания характеристик надежности и эффективности”, зарегистрировано 17.07. 2007 г. – 1 с.

5. Булгаков Н.Ф., Коваленко В.В., Сиренко Л.Н. Свидетельство №2009612900 от 4 июня 2009 г. “Модель проектирования регламента профилактики ” - 1 с.

6. Булгаков, Н.Ф. **Мониторинг, оценка и проектирование системы профилактики на транспорте** // Коваленко, В.В.; Булгаков, Н.Ф.; Махова, Е.Г.; Латкин, П.С. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2016. Т. 8. № 7. С. 941-947.

УДК629.113/115

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИХ БАТАРЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

В.Н. Козлов, А.Ф. Колбасов

Аннотация. В статье описаны некоторые проблемы снижения выбросов CO_2 современного авто- и электротранспорта и увеличения их пробега.

Рассмотрены способы их решения путём применения батарей фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) как дополнительного источника экологически чистой энергии.

Рассмотрены конструкции батарей ФЭП автомобиля с КЭУ Toyota Prius PHV и электромобиля НАМИ Лада Калина с батареями ФЭП, а также пути повышения их энергоотдачи с помощью учёта вольтамперных характеристик ФЭП. Проведено сравнение перспективных направлений развития многослойных структур ФЭП.

Сделаны выводы по применению ячеек ФЭП и конструированию батарей ФЭП на транспорте.

Ключевые слова: батарея фотоэлектрических преобразователей, электромобиль, возобновляемая энергия, комбинированная энергоустановка, солнечная батарея.

Владимир Николаевич Козлов - аспирант, гл. специалист, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 125438 г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, E-mail: v.kozlov@nami.ru, тел.: +7(915)272-8012.

Алексей Федорович Колбасов - к.т.н., заведующий научно-исследовательским отделом, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2.

Введение

В настоящее время актуальна проблема снижения содержания углекислого газа в атмосфере, поскольку содержание CO_2 на сегодняшний день достигло 0,042 % в окрестностях Санкт-Петербурга и 0,083 % в Москве и продолжает увеличиваться. [1] При этом в Москве автомобили являются главным источником выбросов углекислоты в атмосферу (85 % всех выбросов CO_2 в 1998 г. и около 92 % в 1999 г.). [2]

В сложившейся ситуации одной из мер частичного снижения содержания CO_2 и других вредных веществ (NO , CH и др.) в крупных городах является переход автотранспорта с ДВС на электропривод или комбинированные энергоустановки (КЭУ). В последнее время в связи с появлением достаточно мощных силовых преобразователей частоты и относительно лёгких литиевых аккумуляторов во всём мире получили «второе дыхание» разработки автомобилей с КЭУ и электромобилей. [3, 4]

Нонулевой выброс CO_2 может обеспечить только использование экологически чистых источников электроэнергии, используемых для зарядки электромобилей: гидроэлектростанции, ветроэлектростанции, приливные электростанции, солнечные электростанции (СЭС) и т.д. При этом имеется возможность использования СЭС в виде батарей фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), непосредственно устанавливаемых на автомобилях и электромобилях.

Конструкции ФЭП

В мире существует множество аналогичных работ по применению батарей ФЭП на автотранспорте, как зарубежных, так и отечественных. [5,6,7]

Многие разработчики и производители автомобилей в последнее время используют последние достижения технологий, в т.ч. и батареи ФЭП, для увеличения пробега электромобиля и улучшения экологичности автомобиля. Например, в Toyota Prius PHEV для увеличения эффективности использования солнечной энергии крыша автомобиля состоит из стекла, двухсторонних ячеек ФЭП, герметика и заднего листа (рис. 1). В этой

системе используется белый задний лист, чтобы увеличить количество отраженного света и ограничить повышение температуры. Солнечный свет, проходящий в промежутки между ячейками, отражается на ячейки задним листом. Следовательно, увеличение количества света, отраженного задним листом, помогает увеличить количество вырабатываемой энергии.[8]

В то время как у электромобиля Лада Калина с батареями ФЭП разработки НАМИ односторонние элементы ФЭП установлены без промежутков и так же залиты прозрачным компаундом.[9,10]

В конструкции батареи ФЭП автомобиля Prius PHEV задний лист белого цвета, являясь диффузным рассеивателем, часть света отражает обратно в окружающую среду через промежутки между ячейками, таким образом нижняя сторона ячеек ФЭП освещается менее эффективно, чем верхняя.

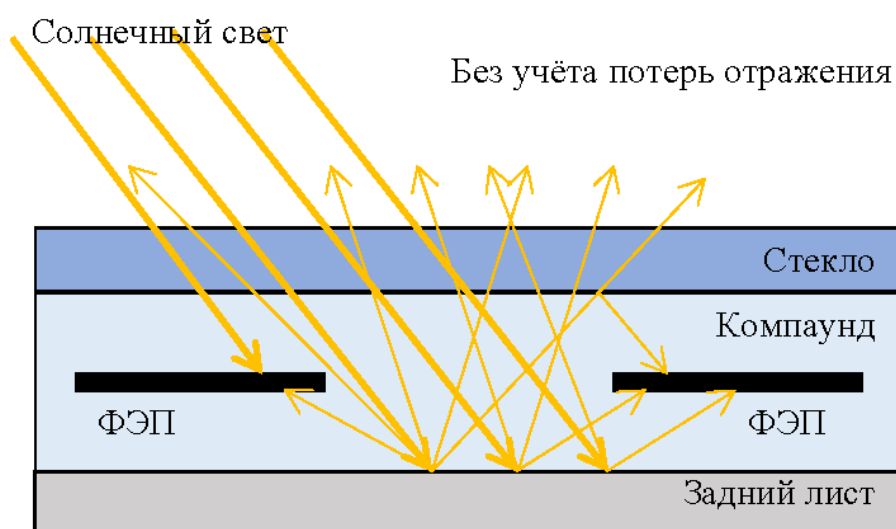


Рисунок 1 - Отражение солнечного света от диффузного заднего листа в конструкции батареи ФЭП Toyota Prius PHEV

Применение зеркального заднего слоя могло бы частично решить эту проблему, улучшив условия освещения нижней стороны ячеек ФЭП. Но часть солнечного излучения всё же будет покидать такую конструкцию батареи ФЭП через промежутки между ячейками, никак не используя и снижая эффективность батареи ФЭП (рис. 2).

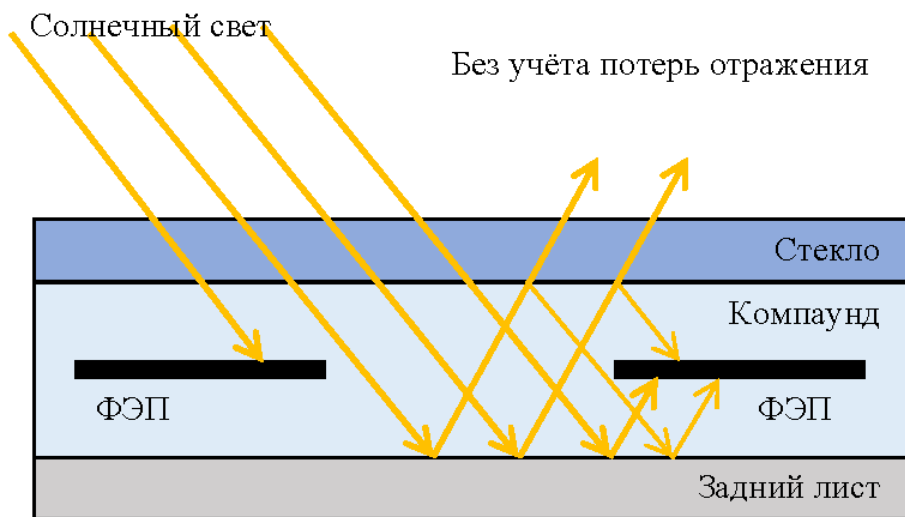


Рисунок 2 - Отражение солнечного света от зеркального заднего листа в конструкции батареи ФЭП Toyota Prius PHV

В конструкции Лады Калины, доработанной в ФГУП «НАМИ», солнечный свет, прошедший через оптическую границу «воздух-стекло», почти полностью поглощается ячейками ФЭП (рис. 3), тем более эффект частичного отражения от оптических границ «компаунд-стекло» и «стекло-воздух» сохраняется.

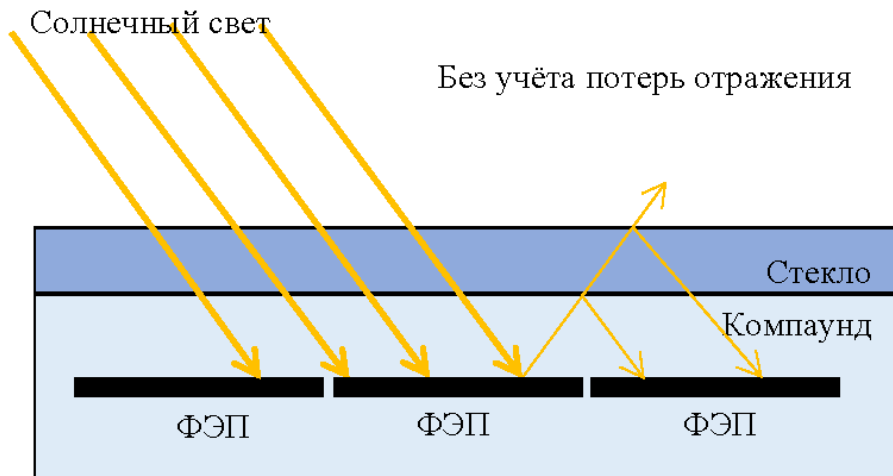


Рисунок 3 - Конструкция батареи ФЭП Лады Калины разработки НАМИ без заднего листа

При сравнении конструкций у Toyota Prius PHV наблюдается некоторая экономия себестоимости на количестве ячеек ФЭП, что относится к достоинству этой конструкции.

При более внимательном рассмотрении потерь солнечного излучения от оптических границ «воздух-стекло», «стекло-компаунд» и «ком-

паунд-ФЭП» в конструкции НАМИ они являются общей проблемой для всех конструкций батарей ФЭП (рис. 4).

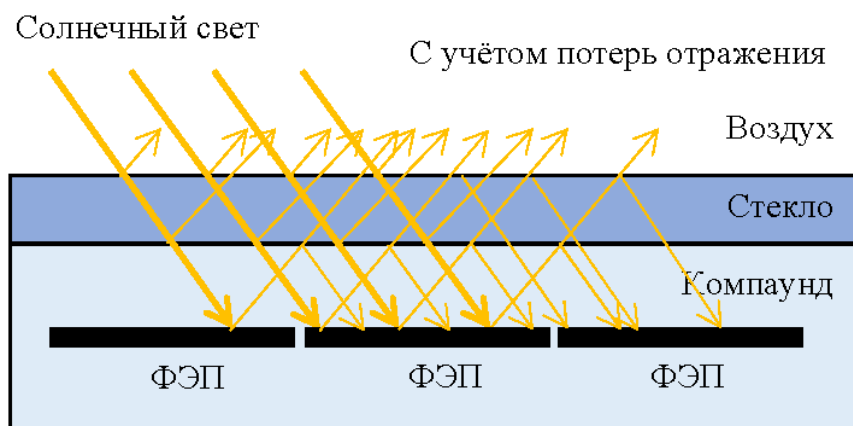


Рисунок 4 - Оптические потери солнечного излучения в конструкциях батарей ФЭП

До некоторой степени эти потери можно уменьшить выбором материала компаунда (например, «Силагерм»), максимально близкого по коэффициенту преломления к стеклу. Отражение от оптической границы «воздух-стекло» можно уменьшить выбором материала стекла с минимальным коэффициентом преломления и применением просветляющих покрытий. Но применение полимерных стёкол с малым коэффициентом преломления приводит со временем к снижению их прозрачности вследствие абразивного действия дорожной пыли.

Как правило, площади крыши автомобиля недостаточно для получения количества энергии, необходимой для комфортного передвижения пассажиров на нём. Но при сегодняшнем уровне развития ФЭП получаемой энергии уже достаточно для некомфортного передвижения со средней скоростью до 80-90 км/ч, например, во время спортивных соревнований электромобилей на солнечной энергии World Solar Challenge, проводящихся в Австралии. [11]

Известно, что для высоких широт, к которым относится и Россия, характерен значительный угол падения солнечного излучения на горизонтальную поверхность [12]

$$\cos\theta_Z = \cos\delta_n \cdot \cos\varphi_M \cdot \cos\omega_C + \sin\varphi_M \cdot \sin\delta_n, \quad (1)$$

где δ_n – угол склонения Солнца, °;
 φ_M – угол широты места, °;
 ω_C – часовой угол, °.

Поэтому было бы рациональнее располагать неподвижные батареи ФЭП не только на крыше автомобиля, но и на его бортах. При этом около половины площади батарей ФЭП будет находиться в тени, что вызывает определённые технические проблемы.

С появлением различных технологий нанесения ФЭП на поверхность произвольной формы появилась возможность использования площади не только крыши и капота автомобиля, но и всех остальных поверхностей: багажника, дверей, стёкол и т.д. [13]

Неплоские батареи ФЭП уже применяются в некоторых автомобилях с ДВС, автомобилях с КЭУ, электромобилях. Также возможно их применение в уличных фонарях, светофорах, рекламных стойках, речных бакенах, беспилотной авиации и системах электропитания других автономных устройств. [14]

При этом существуют пути повышения эффективности неплоских батарей ФЭП, поскольку взаимодействие вольтамперных характеристик ячеек ФЭП в случае различных условий освещения приводит к непропорциональным потерям мощности батареи в целом.

В одних работах рассматриваются следующие виды потерь солнечного излучения: снижение плотности солнечного излучения вследствие увеличения угла падения лучей на ФЭП из-за отсутствия системы ориентации на Солнце, ограничение по длительности светового дня, поглощение и рассеяние солнечного излучения в атмосфере как смеси газов, поглощение и рассеяние солнечного излучения в атмосфере облаками и пылью. [12]

В других работах вдобавок к этим математическая модель учитывает следующие виды потерь: в контроллере МРРТ, в силовых преобразователях DC/DC (контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи, LV/HV, HV/LV и др.), в аккумуляторной батарее, в колёсах, в трансмиссии, в электромашине, аэродинамические потери, расход энергии на бортовых потребителях. [10]

Также в некоторых работах приводятся четыре основных вида потерь энергии автомобильной энергосистемы с батареями ФЭП: потери на сопротивлении блокировочных диодов, потери на сопротивлении кабелей, соединяющих ячейки ФЭП и др., снижение выходной мощности из-за повышения температуры ячеек ФЭП, эффективность преобразования в МРРТ. [15]

Вдобавок к вышеописанным учитываются следующие коэффициенты потерь: коэффициент температурной коррекции, потери мощности на блок управления батареей ФЭП, коэффициент потерь в проводах и др. электрических потерь, коэффициент потерь при полностью заряженной батарее, коэффициент количества солнечной радиации в месяц. [8]

Ещё существуют следующие виды потерь: оптические потери на отражение света от границ «воздух-стекло», «стекло-оптогель», «оптогель-ФЭП», оптические потери на поглощение света (триплекс может поглощать

до 5% световой энергии), снижение эффективности батарей ФЭП: взаимодействие ВАХ.

У существующих ФЭП также имеется теоретический резерв повышения эффективности. Фотоны видимого света с длиной волны от 0,8 до 0,4 мкм в соответствии с формулой Планка

$$E = (h \cdot c) / \lambda, \text{ эВ}, \quad (2)$$

где h – постоянная Планка, $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$;
 c – скорость света, $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$;
 λ – длина волны, м;

обладают энергией от $E = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} / 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,551 \text{ эВ}$ до $E = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} / 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3,102 \text{ эВ}$. Что косвенно подтверждается напряжением свечения светодиодов соответствующего цвета: 1,8 В – красный, 2,1 В – зелёный, 3,0 В – синий.

При этом напряжение даже холостого хода на выходе кремниевой ячейки не превышает 0,67 В. Следовательно, КПД однопереходного ФЭП в данных условиях не превышает $0,67 \text{ В} / 1,8 \text{ В} * 100 \% = 37 \%$, а на коротковолновом участке видимого спектра снижается ещё вдвое. Отсюда следует принцип получения максимального КПД ФЭП: каждая длина волны солнечного излучения должна поглощаться соответствующим материалом, фотоны с другими длинами волн должны проходить сквозь него и поглощаться нижележащими слоями материала, вырабатывая поток электронов с ЭДС, соответствующей длине волны. При этом у каждого слоя ФЭП д.б. свои собственные токоотводы, т.к. плотность излучения в разных участках спектра, как правило, не совпадает, что приводит к различию в силе тока разных р-п-переходов одного ФЭП. Более высокий КПД многослойных структур подтверждается созданием в 2013 году корпорацией Sharp ФЭП с КПД 44,4% на базе трехслойного индий-галлий-мышьякового монокристалла структуры LMM-3JSC с оптимальным сочетанием запрещенных зон. [16]

Выводы

Эффективность использования солнечной энергии фотоэлектрическими преобразователями зависит от конструкции не только ячейки ФЭП, определяемой изготовителем, но и конструкции батареи ФЭП в целом, что уже зависит от разработчика ТС.

Для повышения эффективности батареи ФЭП необходимо учитывать взаимодействие не только их механических и геометрических параметров, но и их электрических характеристик.

С развитием технологий ФЭП появляются новые возможности их использования на транспорте. Например, возможна разработка техниче-

ских решений, оптимальных одновременно по эстетически-дизайнерским, конструктивным и электрическим параметрам.

Список использованной литературы

1. Ракитин А.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. и др. Вариации среднего по высоте отношения смеси CO_2 вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 3. С. 298-303.
2. Хлыстов А.И., Сомов Б.В. Результаты 35-летних исследований содержания CO_2 в атмосфере Москвы астрофизическим методом // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 332–333.
3. Бахмутов С. В., Карпухин К. Е. «Чистые» автомобили: направления реализации и достигаемые результаты. // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 6 (77). — С. 51-54.
4. Сайкин А.М., Карпухин К.Е., Переладов А.С., Ендачев Д.В., Теренченко А.С. Особенности создания перспективного экологически чистого беспилотного транспортного средства на электротяге. // Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы: матер. 94-й междунар. науч.-техн. конф. — Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2016. — С. 44-52.
5. Geca, M., Wendeker, M., and Grabowski, L., "A City Bus Electrification Supported by the Photovoltaic Power Modules," SAE Technical Paper 2014-01-2898, 2014, <https://doi.org/10.4271/2014-01-2898>.
6. Muttana, S., Dey, R., and Sardar, A., "Prospects of Electric Bus Integrated with Solar Photovoltaic Cells," SAE Technical Paper 2017-26-0109, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0109>.
7. Rizzo, G., Pisanti, C., and Coraggio, G., "Design, Development and Control of a Self-Tracking Photovoltaic Roof for a Road Vehicle," SAE Technical Paper 2013-24-0076, 2013, <https://doi.org/10.4271/2013-24-0076>.
8. Go, K., Hirano, T., Miyoshi, T., and Sato, D., "Development Solar Charging System of Vehicle," SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 10(2):353-358, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-01-1598>.
9. Karpukhin K.E., Terenchenko A.S., Kolbasov A.F., Kondrashov V.N. Using Photoelectric Converters in Road Transport in order to improve Energy Efficiency in Russia // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. Т. 8. № 10. С. 529-534.
10. Kulikov, I. and Karpukhin, K., "Model Analysis of Efficiency and Energy Distribution in the Powertrain of an Electric Vehicle Equipped with a Solar Cell Battery," SAE Technical Paper 2018-01-5026, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-5026>.
11. В Австралии стартовали гонки на солнцемобилях: // Рекорды и факты, Статьи по материалам изданий GuinnessBookofRecords, 8 октября

2017, URL: <http://риф.net/eto-interesno/2017-v-avstralii-startovali-gonki-na-solntsemobilyakh> (дата обращения 01.02.2019).

12. Елистратов В.В., Аронова Е.С. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие – СПб: Изд-во Политех. ун-та, 2012.

13. D. Lopatin, O. Baranov, E. Korzhova, K. Kozbaev and D. Samarskiy, "Perovskite solar cells: a comparison at ultrasonic spray and vacuum thermal deposition methods", 2015 IEEE 15th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO), Rome, 2015, pp. 405-408. doi: 10.1109/NANO.2015.7388622.

14. Галушак В.С., Атрашенко О.С., Хавроничев С.В., Донченко А.М. Светодиодный уличный фонарь с цилиндрической солнечной батареей // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О. Е. Железникова; Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва. 2015. С. 33-38.

15. Urabe, S., Kimura, K., Kudo, Y., and Sato, A., "Effectiveness and Issues of Automotive Electric Power Generating System Using Solar Modules," SAE Technical Paper 2016-01-1266, 2016, doi: 10.4271/2016-01-1266.

16. A.Datas et al., NGCPV: a new generation of concentrator photovoltaic cells, modules and systems, Conference: 28th EU PVSEC, At Paris, September 2013.

УДК 629.113/115

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ДОЗАТОРОВ ДЛЯ КОНВЕРТАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ГАЗОВЫЙ

В.А. Колесников, А.В. Козлов, М.В. Миронов

***Аннотация.** В рамках проекта «ГАЗОДИЗЕЛЬ» в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» было проведено исследование, посвященное конвертации двигателя ЧН13/15 из дизеля в газовый для работы на природном газе. Исследование включало испытание газовой топливной аппаратуры как для определения ее производительности, так и испытание электронных газовых дозаторов иностранных производителей BOSCH, IMPCO, WOODWARD, а также отечественного производителя ОАО «Концерн КЭМЗ» на устойчивость к низким температурам. На основании полученных результатов был произведен выбор газовых дозаторов для дальнейшего использования в составе двигателя.*

Ключевые слова: *природный газ, газовый двигатель, газовый дозатор, климатическая камера.*

Владислав Альбертович Колесников - аспирант, инженер-конструктор ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва ФГУП «НАМИ», ул. Автомоторная, 2, 125438, Москва, Российская Федерация, E-mail: vladislav.kolesnikov@nami.ru.

Андрей Викторович Козлов - доктор технических наук, доцент, начальник управления ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва ФГУП «НАМИ», ул. Автомоторная, 2, 125438, Москва, Российская Федерация.

Михаил Витальевич Миронов - заведующий отделом ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва ФГУП «НАМИ», ул. Автомоторная, 2, 125438, Москва, Российская Федерация.

Введение

В настоящее время в нашей стране и в мире остро встали проблемы истощения природных ресурсов, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду от выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов. Стоимость сырой нефти и моторных топлив на их основе достигли значительных величин. В этой связи актуальной становится задача поиска альтернативы нефтяным топливам.

В качестве альтернативных топлив для Российской Федерации наибольший интерес представляет природный газ.

Цель

Целью исследования является подбор газовых дозаторов, их испытание на производительность и устойчивость к низким температурам. Объектом исследования являются газовые дозаторы для двигателя на природном газе, конвертированного из дизельного. Газовый двигатель имеет следующие характеристики: крутящий момент 1850 Н·м/мин при 1300 мин⁻¹, мощность 331 кВт при 1900 мин⁻¹. Цикловой расход природного газа по внешней скоростной характеристике представлен на рис. 1.

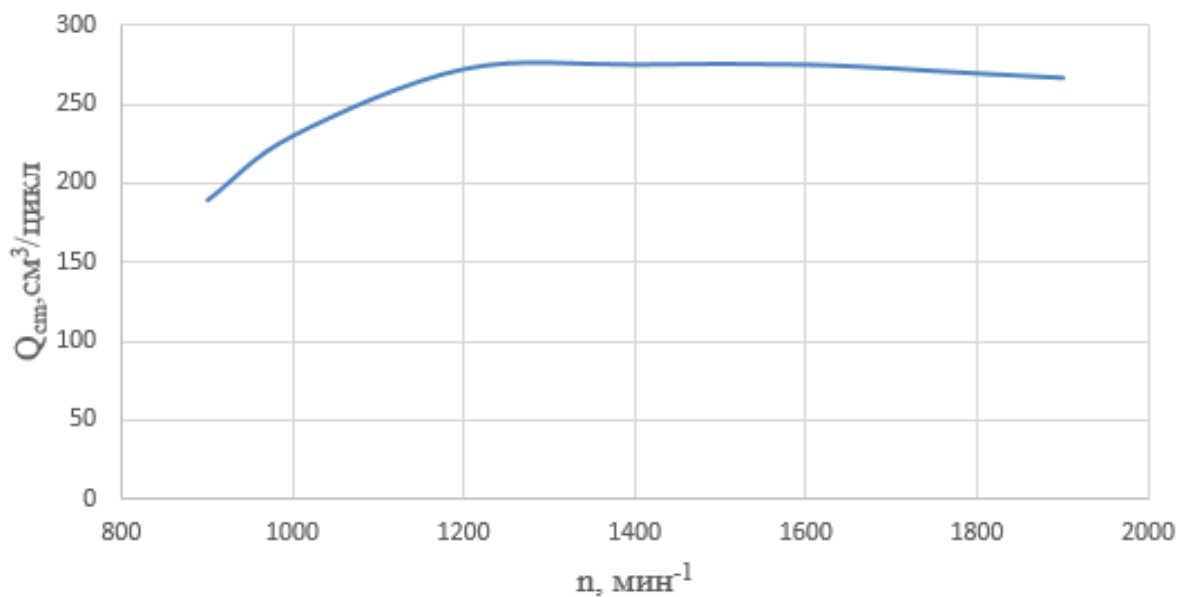


Рисунок 1 - Цикловой расход природного газа

Основным критерием при определении продолжительности подачи газа в цилиндр двигателя являются фазы газораспределения.

Для обеспечения минимального расхода газового топлива и достижения минимальных выбросов несгоревших углеводородов с отработавшими газами необходимо использование распределенной подачи газа и выполнение следующих условий:

- момент начала подачи газа должен определяться моментом закрытия выпускного клапана цилиндра;
- момент окончания подачи газа должен определяться моментом закрытия впускного клапана.

На рис. 2 изображены фазы газораспределения с выделенной максимально допустимой продолжительностью подачи газа по углу поворота коленчатого вала.

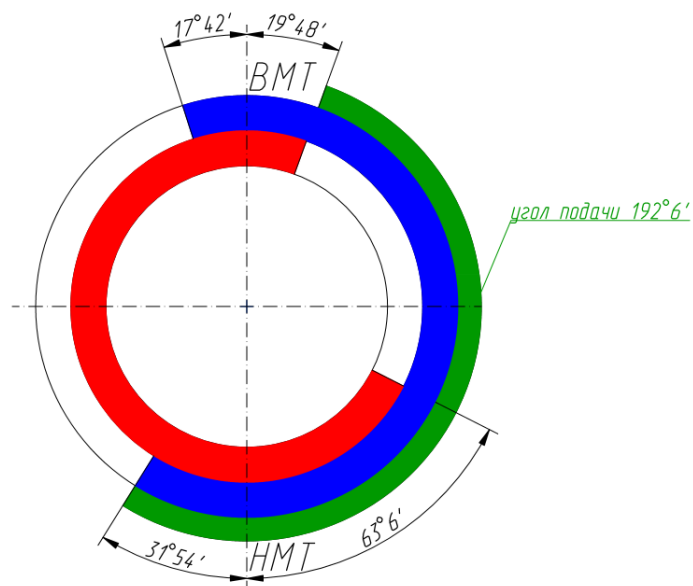


Рисунок 2 - Фазы газораспределения и допустимая продолжительность подачи газа

В соответствии с максимальной продолжительностью подачи природного газа по углу поворота коленчатого вала рассчитана максимальная продолжительность подачи газа (в мс) в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (см. Рис. 3).

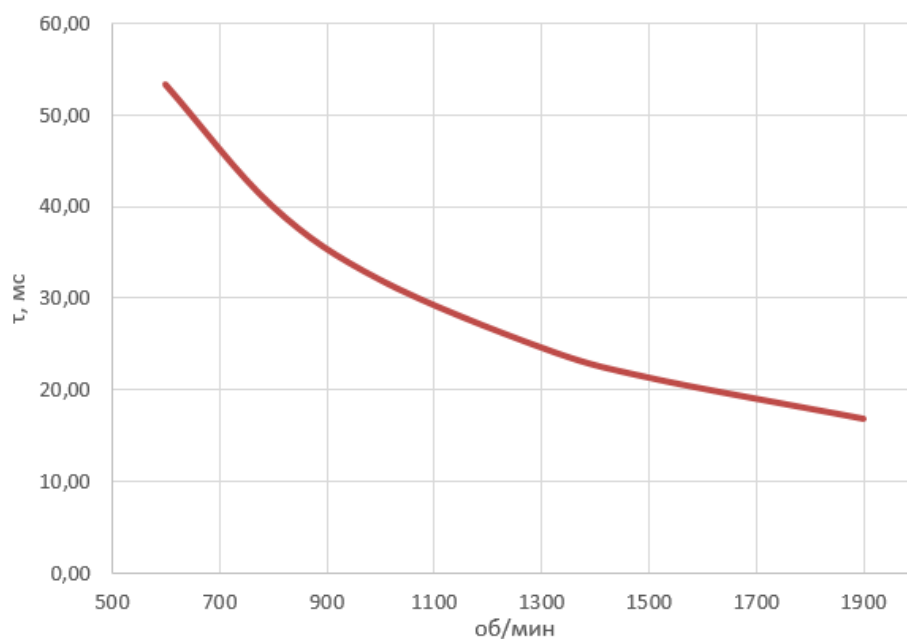


Рисунок 3 - Допустимая продолжительность подачи газа в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

Максимальный цикловой расход газа составляет 275 см^3 при 1300 об/мин, допустимая продолжительность подачи газа при этом составляет 25 мс (рис.3). На режиме максимальной мощности при 1900 об/мин цикловая подача составляет 266 см^3 , при этом максимально допустимая продолжительность подачи газа снижена до 17 мс, что предъявляет повышенные требования к производительности газовых дозаторов.

Произведя анализ дозаторов, доступных на рынке РФ, были выбраны газовые дозаторы производителей BOSCH модели 0280158833, IMPCO модели GS2, WOODWARD модели 1309-6234 и ОАО «Концерн КЭМЗ» модели ФГ-02 и проведены испытания на безмоторном стенде для определения их производительности, а также проверки на устойчивость к низким температурам.

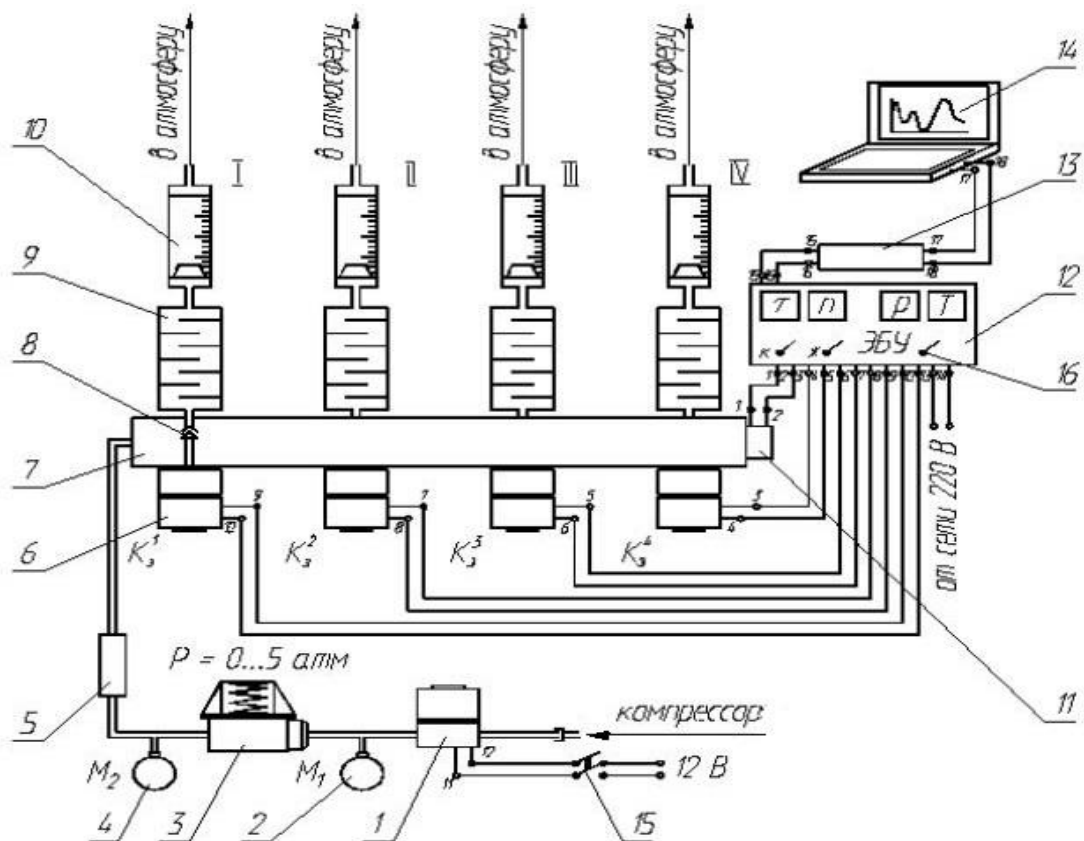
Испытательное оборудование

Для определения герметичности запорного элемента форсунки и необходимого расхода воздуха в условиях низких температур при заданной длительности импульса и частоты были проведены исследования предлагаемых к применению дозаторов газа в холодильной камере. Испытания проводились на уникальной научной установке, входящей в состав научно-исследовательского комплекса климатических испытаний компонентов автотранспортных средств, в комплекс которой входит климатическая камера 12Н60/15G, CLIMATS (полезный объем камеры 12 м^3). Охлаждение камеры при проведении испытаний проводилось в течении 3-х часов между каждыми сериями экспериментов.

Кроме дозаторов охлаждению подвергались баллон со сжатым воздухом и газовый редуктор, т.к. для точности эксперимента охлажденными должны быть не только дозаторы газа, но и само рабочее тело. Измерительное оборудование и испытательный стенд при этом находится вне холодильной камеры.

Испытания проводились на стенде проверки электронных газовых дозаторов ИС-010Ф-01, схема стенда изображена на рис. 4.

На испытательном стенде после подачи питания тумблером 16 на электронном блоке управления 12 задается частота вращения коленчатого вала n , продолжительность открытия газового дозатора τ , величина напряжения, продолжительность «форсажа» открытия и среднее напряжение удержания клапана 8, которое сообщается обмотке газового дозатора 6. Тумблером 15 подается питание на открытие электромагнитный клапан 1, обеспечивающий подачу воздуха под давлением из компрессора к газовому редуктору 3.



1 - Электромагнитный клапан подачи рабочего тела в пневматическую магистраль стенда; 2 - образцовый манометр давления на выходе из компрессора; 3 - газовый редуктор низкого давления; 4 - образцовый манометр давления на выходе из газового редуктора; 5 - газовый фильтр; 6 - обмотка газового дозатора; 7 - газовая рампа; 8 - клапан газового дозатора; 9 - ресивер-успокоитель; 10 - газовый ротаметр; 11 - электрический датчик абсолютного давления и температуры; 12 - электронный блок управления газовыми дозаторами; 13 - электронная осциллографическая приставка; 14 - осциллограф; 15 - тумблер питания электромагнитного клапана 1; 16 - тумблер питания электронного блока управления 12.

Рисунок 4 - Схема стенда для проверки электронных газовых дозаторов ИС-010Ф-01

Механической регулировкой на редукторе 3 устанавливается рабочее давление воздуха, определяемое по манометру 4, которое подводится к клапану 8. Воздух проходит через ресивер-успокоитель 9, предназначенный для сглаживания пульсаций воздуха, истекающего из клапана газового дозатора 8, и попадает в газовых ротаметр 10. После стабилизации колебаний поплавка ротаметра фиксируется отметка уровня по шкале ротаметра,

пропорциональной часовому объемному расходу газа, затем проводится пересчет в абсолютные величины в соответствие с паспортом ротаметра.

Диапазоны измерений представлены в таблице. В дальнейшем будет использоваться понятие «дифференциальное давление»-разность давления газа на входе в дозатор и давления среды на выходе из дозатора. Это связано с наличием наддува и дроссельной заслонки в двигателе, что делает давлением на выходе из дозатора отличным от атмосферного, и, соответственно, влияет на расход газа через форсунки.

Таблица 1 – Диапазоны измерений

Наименование параметра	Обозначение	Значения
Дифференциальное давление, МПа	<i>P</i>	0,05, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1
Продолжительность открытия дозатора, мс	<i>τ</i>	10, 15, 20, 30, 40
Частота вращения, мин ⁻¹	<i>n</i>	1000, 1500, 1900
Температура рабочего тела и газовых дозаторов, °С	<i>t</i>	+20, -20, -30, -40

Результаты испытаний газовых дозаторов в условиях низких температур. При испытании газовых дозаторов в климатической камере были получены характеристики объемного часового расхода воздуха при температуре +20, -20, -30, -40 °С. Дисперсия объемных расходных характеристик всех дозаторов при изменении температур находится в пределах 5%, что находится в пределах погрешности измерения и свидетельствует о том, что расходная характеристика дозаторов не изменяется при работе в отрицательных температурах. Были переведены экспериментально полученные объемные часовые расходы в объемные цикловые подачи при указанных в спецификации производителя максимально допустимых давлениях. Результаты расчета представлены на рис. 5. Продолжительность подачи в зависимости от частоты вращения соответствует графику, изображенному на рис.3. Для наглядности был добавлен график требуемой цикловой подачи для исследуемого двигателя.

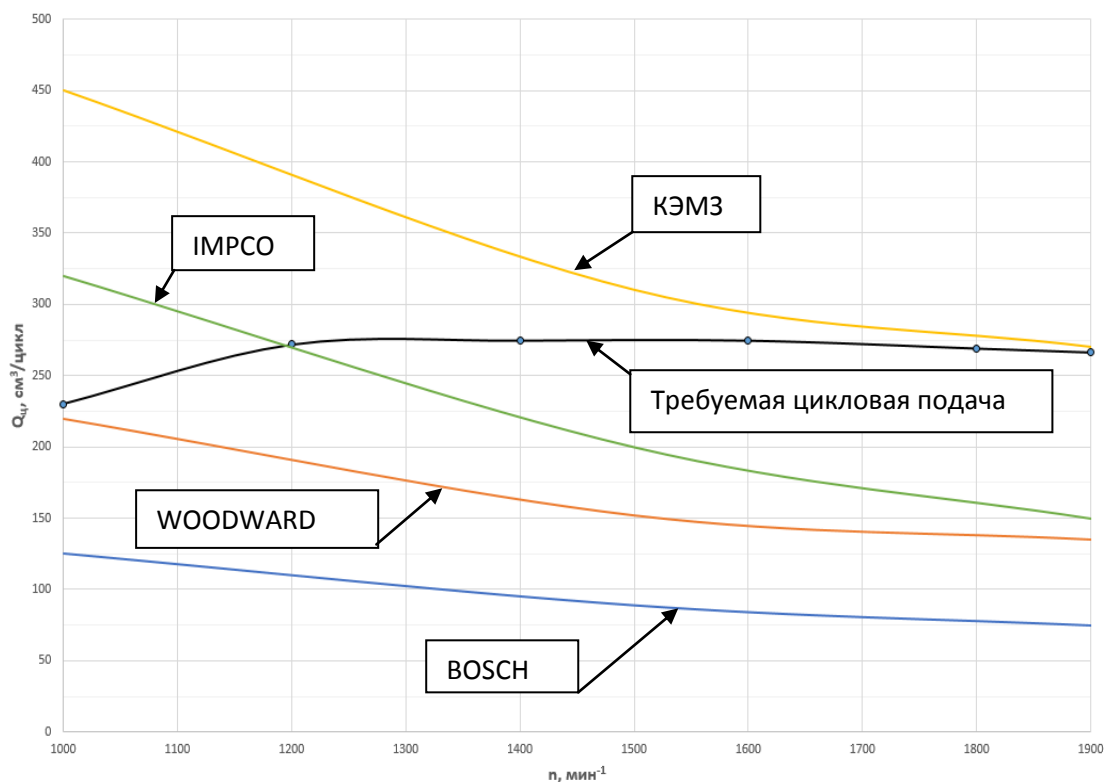


Рисунок 5 - Объемная цикловая подача газа при максимально допустимых паспортных давлениях и максимально допустимой продолжительности подачи газа в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

В ходе исследований были замечены нарушения в работе дозаторов КЭМЗ. При температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ нарушается герметичность запорного устройства, и, чем ниже температура, тем больше утечка при отсутствии управляющего сигнала, что нарушает требования безопасности к топливной системе. Данная проблема связана с конструктивной особенностью дозатора и требует доработки. Также было замечено, что с понижением температуры требуется коррекция сигнала управления электронного дозатора КЭМЗ.

Из четырех испытуемых газовых дозаторов дозатор КЭМЗ является самым высокопроизводительным (рис. 5) при сопоставимых габаритных размерах, цикловая подача газа дозаторов КЭМЗ в разы выше дозаторов BOSCH, WOODWARD и IMPCO, что является преимуществом для двигателей с высокой требуемой цикловой подачей и повышает актуальность доработки данных дозаторов.

Вывод

Использование более двух дозаторов на цилиндр требует применения центральной подачи газа из-за условий компоновки впускного коллектора двигателя. В случае использования более двух дозаторов на цилиндр с распределенной подачей конструкция значительно усложняется и влечет

ее удорожание, снижение надежности и усложнение обслуживания. Использование центральной подачи газа ухудшает экологические показатели двигателя, что требует применения более дорогой системы нейтрализации.

Таким образом, использование газовых дозаторов BOSCH, обеспечивающих требуемую цикловую подачу в количестве 4 штуки на цилиндр (рис. 5) является нецелесообразным. Использование двух дозаторов WOODWARDилиIMPCОбез центральной подачи возможно при работе на указанных в спецификации производителя максимально допустимых давлениях. Использование газовых дозаторов производства ОАО «Концерн КЭМЗ» возможно в количестве 1 штуки на цилиндр при условии устранения утечки в запорном устройстве при отрицательных температурах.

Работа выполнена в рамках Соглашения с Минобрнауки РФ о предоставлении субсидии. № 14.626.21.0005 от «23» октября 2017 г. Уникальный идентификатор ПНИ (проекта) RFMEF I62617X0005.

УДК 621.436+629.3.083

ПРИРОДА ОТКАЗОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ФОРСУНОК ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL

С.А. Кузнецов, В.Н. Катаргин

Аннотация. *Ужесточение экологических требований по отношению к автомобильному транспорту вынуждает производителей искать все более инновационные решения. Одним из таких решений является дизельная топливная система Common Rail. Ее основными особенностями являются высокое рабочее давление, а так же электронное управление впрыска топлива, что позволяет на порядок увеличить мощность транспортного средства, при этом значительно уменьшить объем выхлопа вредных веществ в атмосферу. Но, не смотря на преимущества Common Rail перед другими данная, система более чувствительна к качеству используемого топлива, что в свою очередь снижает ее надежность.*

В данной статье рассмотрены основные причины неисправности и их последствия инжектора топливной системы Common rail.

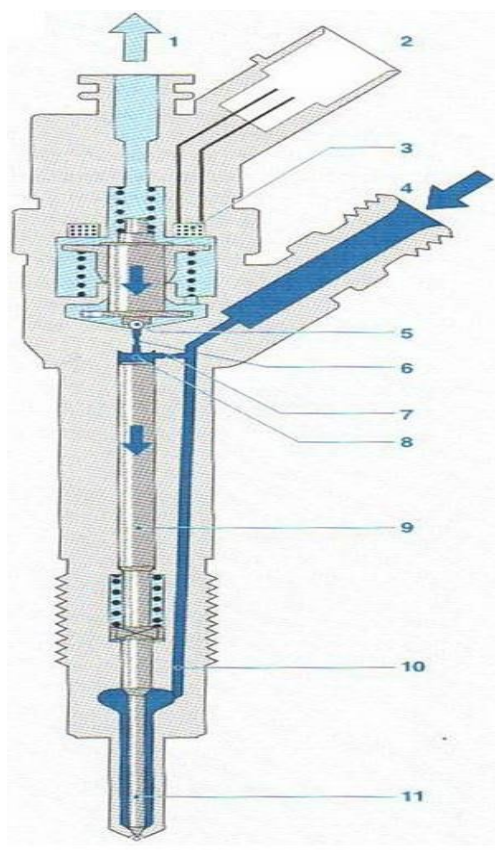
Ключевые слова: *дизельный двигатель, инжектор, топливный насос высокого давления, форсунка, клапан управления.*

Сергей Андреевич Кузнецов - аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр.Свободный, д. 79.

Владимир Николаевич Катаргин - кандидат технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр.Свободный, д. 79.

Транспортное средство с бензиновым или дизельным двигателем для надежной работы нуждается в качественном топливе. Примесь абразивных частиц или воды в топливе может серьезно нарушить работу двигателя и в результате привести к раннему отказу системы питания. Топливная система автомобиля наиболее подвержена негативному влиянию от использования некачественного топлива. Существуют три основных причины загрязнения топлива – это окисление, воздействие воды и углеводородных загрязнений, все типы в конечном итоге приводят к загрязнению инжекторов и отказу надлежащего сгорания топлива.

Основными элементами современной топливной системы Common Rail являются топливный насос высокого давления (ТНВД), рампа, инжектора. Наибольшая доля неисправностей приходится на пьезоэлектрические форсунки (рис.1)



1 – Обратный слив; 2 – электрический разъем; 3 – электромагнитный клапан; 4 – топливная магистраль; 5 – управляющий клапан; 6 – канал отвода топлива (дрессельный) ; 7 – канал подачи топлива (дрессельный); 8 – камера управляющего клапана; 9 – поршень шарикового клапана; 10 – канал подвода топлива к распылителю; 11 – игла распылителя.

Рисунок 1 - Схема форсунки Common Rail

Как известно прецизионные пары, к которым относятся плунжер с гильзой, нагнетательный клапан с гнездом, игла с корпусом распылителя форсунки, имеют очень высокую чистоту обработки поверхностей и требуют индивидуального подбора [1]. Абразивные частицы, попадая в топливный насос высокого давления и форсунки, изнашивают прецизионные пары, а также сопловые отверстия распылителей, что приводит к нарушению процесса подачи топлива, в результате чего ухудшается процесс его сгорания и увеличивается его расход, снижается устойчивость работы [2].

Помимо износа происходит загрязнение деталей топливной аппаратуры: твердые частицы, попадая под иглу форсунки, нарушают плотность ее посадки в седло распылителя, а попадая в зазор между стенкой распылителя и иглой, могут привести к ее зависанию в верхнем или нижнем положении, что соответственно приводит к ухудшению тонкости распыления топлива и ли к прекращению его подачи в цилиндры двигателя.

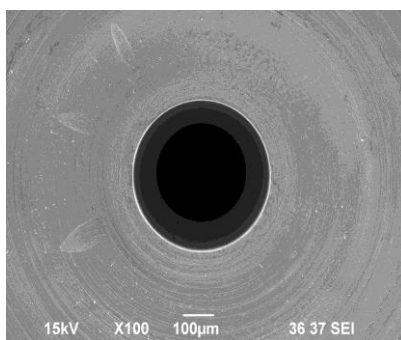


Рисунок 2 - Клапан № 1

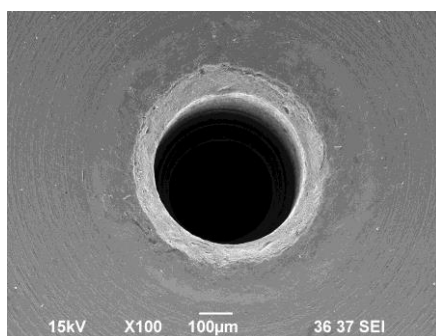


Рисунок 3 - Клапан № 3

В рамках проведенного исследования были получены электронно-микроскопические изображения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LV рисунок 2 [4]. Было выбрано 9 клапанов с разными пробегами, на рисунках 2, 3, 4 представлены изображения типичных видов износа [5].

Анализ показал (рис. 2), что повреждения имеют форму лепестков направленных от центра (отверстия), это связано с попаданием абразивных частиц в топливо, которые со временем под влиянием большого давления вырывают куски металла с рабочей поверхности клапана.

На рисунке 3 представлен износ во круг отверстия результатом которого является длительное взаимодействие шарика и седла клапана.

На рисунке 4 представлены оба типа повреждений, это происходит когда износ седла шарика и повреждения в виде лепестков соединяются и образуют значительные разрушение рабочей поверхности клапана, это происходит если на ранней стадии не предпринимать действий по их устранению. На рисунке 5 схематично показаны повреждения седла шарика от попадания абразивных частиц в топливо.

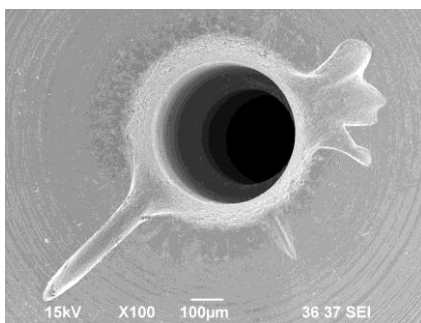


Рисунок 4 - Клапан № 3

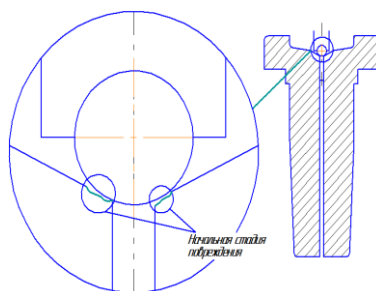


Рисунок 5 - Схема повреждений

Последствиями представленных выше повреждений являются неудовлетворительная работа двигателя, трудности при запуске, проблемы при холостом ходе (вибрации), остановка двигателя во время движения, что в конечном итоге может привести к полному отказу топливной системы.

Для повышения срока службы топливной системы Common Rail и уменьшения количества их отказов следовало бы ввести, через определенный пробег, дополнительные контрольные и профилактические работы. С целью обоснования дополнительных работ требуется более подробно изу-

чить характер, а так же закономерность проявления отказов путем разработки стенда, с помощью которого можно было бы моделировать зависимость такого параметра как обратный переток топлива (обратка), от площади неисправности рабочей поверхности клапана.

Список использованной литературы

1. Auto stamo// www.autostamo.ru. Свободная энциклопедия. URL: <http://autostamo.ru/content/топливо-для-дизельных-двигателей>.
2. Л.В.Грехов. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common rail. Москва, МГТУ, 2000. С. 41.
3. Дизелист // www.dizelist.ru. Информационно справочный уголок. Ресурсы дизелиста. URL: <http://dizelist.ru/index.php/galereya/160-neispravnosti-forsunki-cr>.
4. Сибирский федеральный университет 2006-2016. Лаборатория электронно-структурных исследований ЦКП СФУ. URL: <http://www.research.sfu-kras.ru/node/47>.
5. С.А. Кузнецов Структура отказов форсунок топливной системы типа Common Rail и пути ремонта компонент./ В.Н. Катаргин, Г.М. Зеер, С.А. Кузнецов // Транспортные системы Сибири – 2016, 709 С. 535- 539.

УДК 629.113.001

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДОРОЖНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.В. Лысенко

Аннотация. В статье приведено описание математического аппарата, позволяющий воспроизводить пространственное движение подрессоренных и недрессоренных масс АТС, а также процессы взаимодействия его эластичных шин с опорной поверхностью дороги при движении под действием боковой силы; Результаты расчётов математической модели позволяют научно обосновать тестовые режимы и диагностические параметры дорожного метода контроля технического состояния амортизаторов. Нормированные значения найденных диагностических параметров предложены в качестве критериев для оценки устойчивости АТС при движении под действием боковой силы и варьировании технического состояния амортизаторов.

Ключевые слова: *способность удерживать автомобиль, амортизаторы, единичная неровность, траектория движения, поперечная сила, параметры испытаний.*

Андрей Владимирович Лысенко - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, тел.: 89148919904, E-mail: stobravo@gmail.com

Безопасность АТС в условиях эксплуатации во многом определяется техническим состоянием его амортизаторов. Амортизаторы обеспечивают стабильный контакт шин с дорогой и тем самым обеспечивают устойчивость АТС. Анализ параметров, характеризующих изменение траектории АТС движущегося под действием боковой силы и переезде им единичной неровности позволит дать количественную оценку технического состояния амортизаторов. Этот анализ выполняли для автомобиля категории М1, который движется под действием центробежной силы по кругу и переезжает колесами единичную неровность. В процессе анализа варьировали техническое состояние амортизаторов.

Для этого на основе общепринятых моделей был разработан математический аппарат, описывающий движение подрессоренных и неподдресоренных масс АТС в пространстве, а также процессы взаимодействия его эластичных шин с опорной поверхностью дороги при движении по окружности [1, 2, 3, 6].

Расчетная схема процесса движения АТС (рис. 1) представлена в виде пяти-массовой модели автомобиля, спроецированной на три плоскости: XOZ , XOY , YOZ .

Для составления расчётной схемы и уравнений, описывающих процесс движения автомобиля в пространстве, использованы подвижная ($X Y Z$) и неподвижная ($X'Y'Z'$) системы координат. Неподвижная система координат $X'Y'Z'$ связана с опорной поверхностью дороги. Подвижная система координат XYZ связана с автомобилем.

Положение автомобиля в неподвижной системе координат определяется координатами x' , y' его перемещения вдоль осей OX' и OY' и γ – углом поворота автомобиля относительно оси OZ .

Положение подрессоренной массы автомобиля относительно подвижной системы координат определяется координатами: β – углом поворота кузова автомобиля относительно оси OX (крен); α – углом поворота кузова относительно оси OY (дифферент); z_{II} – перемещение центра масс автомобиля вдоль оси OZ .

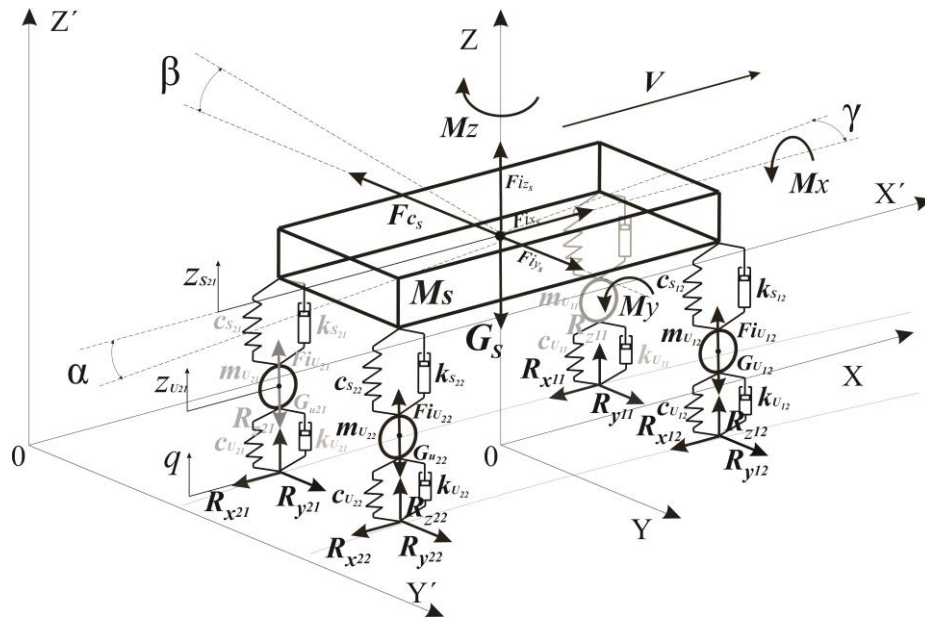


Рисунок 1 - Расчетная схема процесса движения АТС по окружности

Линейные колебания подрессоренных масс вдоль продольной оси OX и поперечной оси OY в условиях движения по окружности и переезде колёсами передней и задней оси через единичную неровность оказываются несущественными, так как значительной степени устраняются направляющими устройствами и демпфирующими элементами подвески.

Используя принцип Д'Аламбера составлены уравнения (1), (2) и (3) динамического равновесия подрессоренной массы АТС для их продольных перемещений в направлении осей, OX, OY и OZ подвижной системы координат [2].

$$\begin{aligned}
 m_{\Pi} \left(\frac{d^2 z_{\Pi}}{dt^2} + \frac{d\beta}{dt} \frac{dy_{\Pi}}{dt} - \frac{d\alpha}{dt} \frac{dx_{\Pi}}{dt} \right) = \\
 = -m_{\Pi} g + c_{\Pi 11} (z_{\Pi 11} - z_{H11}) + k_{\Pi 11} \left(\frac{dz_{\Pi 11}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) + c_{\Pi 12} (z_{\Pi 12} - z_{H12}) + k_{\Pi 12} \left(\frac{dz_{\Pi 12}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) + (1) \\
 + c_{\Pi 21} (z_{\Pi 21} - z_{H21}) + k_{\Pi 21} \left(\frac{dz_{\Pi 21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) + c_{\Pi 22} (z_{\Pi 22} - z_{H22}) + k_{\Pi 22} \left(\frac{dz_{\Pi 22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right)
 \end{aligned}$$

$$m_{\Pi} \left(\frac{d^2 x_{\Pi}}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} \frac{dz_{\Pi}}{dt} - \frac{d\gamma}{dt} \frac{dy_{\Pi}}{dt} \right) = R_{x11} \cos \theta_1 + R_{x12} \cos \theta_2 - R_{y11} \sin \theta_1 - R_{y12} \sin \theta_2 + R_{x12} + R_{x22} \quad (2)$$

$$m_{\Pi} \left(\frac{d^2 y_{\Pi}}{dt^2} + \frac{d\gamma}{dt} \frac{dx_{\Pi}}{dt} - \frac{d\beta}{dt} \frac{dz_{\Pi}}{dt} \right) = R_{y11} \cos \theta_1 + R_{y12} \cos \theta_2 + R_{x11} \sin \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y21} + R_{y22} \quad (3)$$

В процессе движения АТС в результате кинематического возбуждения со стороны дороги подрессоренная масса совершает угловые колебания относительно осей подвижной системы координат.

В нашем случае продольно угловые колебания возникают при разгоне, в начале движения накатом и при переезде колёс АТС через единичную неровность. Поперечно угловые колебания являются результатом действия на подрессоренную массу АТС центробежной силы при его движении по криволинейной траектории, и результатом переезда колёс через единичную неровность. Колебания вокруг вертикальной оси сводятся к минимуму благодаря работе направляющих устройств подвески.

Положение автомобиля в неподвижной системе координат характеризуется изменением угла γ – поворота АТС относительно вертикальной оси OZ , которое происходит в соответствии с заданной функцией изменения угла поворота управляемых колёс θ_{11} и θ_{12} . При движении автомобиля по криволинейной траектории возникает центробежная сила, стремящаяся изменить траекторию движения автомобиля. Переезд единичной неровности возбуждает в подвеске затухающие колебания в результате чего изменяются реализованный коэффициент сцепления и боковые реакции в пятнах контакта шин с опорной поверхностью. Это вызывает увеличение угла увода и бокового проскальзывания шин и способствует центробежной силе изменить траекторию движения автомобиля.

Для нахождения углов, определяющих ориентацию твёрдого тела относительно центра масс составим три уравнения на основе теоремы об изменении момента количества движения

$$\frac{dK_o}{dt} = M_o , \quad (4)$$

где K_o – момент количества движения материальной точки относительно выбранного центра

M_o – момент силы, приложенной к точке, относительно центра

При условии того что подвижная система координат жёстко связана с телом, а направление осей неподвижной системы координат совпадают с направлением осей подвижной системы координат динамические уравнения Эйлера принимают вид (5), (6) и (7).

$$\begin{aligned}
& J_x \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + (J_x - J_z) \frac{d\alpha}{dt} \frac{dy}{dt} = \\
& = \left(\left(c_{\Pi 11} (z_{\Pi 11} - z_{H11}) + k_{\Pi 11} \left(\frac{dz_{\Pi 11}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 12} (z_{\Pi 12} - z_{H12}) + k_{\Pi 12} \left(\frac{dz_{\Pi 12}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) \right) \right) \cdot a + \\
& + \left(\left(c_{\Pi 21} (z_{\Pi 21} - z_{H21}) + k_{\Pi 21} \left(\frac{dz_{\Pi 21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 22} (z_{\Pi 22} - z_{H22}) + k_{\Pi 22} \left(\frac{dz_{\Pi 22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right) \right) \right) \cdot b - \\
& - (R_{x11} \cos \theta_1 - R_{y11} \sin \theta_1 + R_{x12} \cos \theta_2 - R_{y12} \sin \theta_2 + R_{x21} + R_{x22}) (h_d - z_{cm} + z_{\Pi})
\end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
& J_z \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (J_y - J_x) \frac{d\alpha}{dt} \frac{d\beta}{dt} = \\
& = (R_{x11} \sin \theta_1 + R_{y11} \cos \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y12} \cos \theta_2) \cdot a - (R_{y21} + R_{y22}) \cdot b + \\
& + (R_{x12} \cos \theta_2 + R_{y11} \sin \theta_1 - R_{x11} \cos \theta_1 - R_{y12} \sin \theta_2) \cdot \frac{S_1}{2} + (R_{y21} - R_{y22}) \cdot \frac{S_2}{2}
\end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& J_x \frac{d^2 \beta}{dt^2} + (J_z - J_y) \frac{d\alpha}{dt} \frac{d\gamma}{dt} = \\
& = \left(\left(c_{\Pi 11} (z_{\Pi 11} - z_{H11}) + k_{\Pi 11} \left(\frac{dz_{\Pi 11}}{dt} - \frac{dz_{H11}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 12} (z_{\Pi 12} - z_{H12}) + k_{\Pi 12} \left(\frac{dz_{\Pi 12}}{dt} - \frac{dz_{H12}}{dt} \right) \right) \right) \frac{S_1}{2} + \\
& + \left(\left(c_{\Pi 21} (z_{\Pi 21} - z_{H21}) + k_{\Pi 21} \left(\frac{dz_{\Pi 21}}{dt} - \frac{dz_{H21}}{dt} \right) \right) - \left(c_{\Pi 22} (z_{\Pi 22} - z_{H22}) + k_{\Pi 22} \left(\frac{dz_{\Pi 22}}{dt} - \frac{dz_{H22}}{dt} \right) \right) \right) \frac{S_2}{2} - \\
& - (R_{x11} \sin \theta_1 + R_{y11} \cos \theta_1 + R_{x12} \sin \theta_2 + R_{y12} \cos \theta_2 + R_{y21} + R_{y22}) (h_d - z_{cm} + z_{\Pi})
\end{aligned} \quad (7)$$

Перемещение неподрессоренных масс автомобиля z_H рассчитывается только в вертикальном направлении вдоль оси OZ подвижной системы координат (7).

$$m_{Hij} \cdot \frac{d^2 z_{Hij}}{dt^2} = -m_{Hij} \cdot g + c_{\Pi ij} (z_{\Pi ij} - z_{Hij}) + k_{\Pi ij} \left(\frac{dz_{\Pi ij}}{dt} - \frac{dz_{Hij}}{dt} \right) - c_{Hij} \cdot z_{Hij} - k_{Hij} \cdot \frac{dz_{Hij}}{dt} \quad (8)$$

Решение уравнений (1), (2), (3), (5), (6), (7), (8) методом численного интегрирования Эйлера позволяет рассчитывать перемещения поддрессоренных $-z_{\Pi ij}$ и не поддрессоренных $-z_{Hij}$ масс над точкой контакта колеса с опорной поверхностью, углы - крена β , дифферента α кузова автомобиля в подвижной системе координат и угол поворота γ вокруг вертикальной оси OZ в неподвижной системе координат [2].

Скорости движения V_X и V_Y , координаты X_i и Y_i центра масс АТС относительно осей OX и OY неподвижной системы координат находятся, решением уравнений (9), (10), (11), (12).

$$V_x = \frac{dx_{II}}{dt} \cdot \cos \gamma - \frac{dy_{II}}{dt} \cdot \sin \gamma \quad (9)$$

$$V_y = \frac{dx_{II}}{dt} \cdot \sin \gamma - \frac{dy_{II}}{dt} \cdot \cos \gamma \quad (10)$$

$$X_i = X_{i-1} + V_x \cdot \Delta t \quad (11)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + V_y \cdot \Delta t \quad (12)$$

Продольные и поперечные реакций R_x и R_y , действующие на колеса движущегося АТС определяются с использованием нормированных функции проскальзывания для нестационарного режима качения колеса с эластичной шиной в продольном и поперечном направлениях (13),(14)[3].

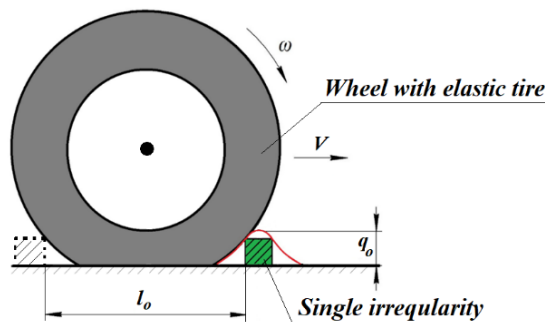
$$f(S_{yij}) = \sin \left(a \cdot \arctg \left(b \cdot S_{y0} - b \cdot \frac{\dot{y}}{V_{ij}} \right) \right) \quad (13)$$

$$f(S_{xij}) = \cos \delta_{ij} - \frac{w_{kij} \cdot r_{ko} - \dot{x}_{ij}}{V_{ij}} \quad (14)$$

Нормальная реакция R_z , действующая на шину со сторону дороги находится при помощи выражения (15).

$$R_{z_j} = \left(c_{шz} \cdot (z_{H_j} - z_{Д_j}) + k_{шz} \cdot \left(\frac{dz_{H_j}}{dt} - \frac{dz_{Д_j}}{dt} \right) \right) \cdot P_{OK} \quad (15)$$

Воздействие на шину единичной неровности (рис. 2), в момент её переезда, представлено сглаживающей функцией (16) [4, 5].



Риунок 2 - Расчетная схема процесса переезда единичной неровности

$$q_{ij} = \frac{q_0}{2} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_{qi}}{T}\right) \right) \quad (16)$$

где q_0 – максимальная высота единичной неровности, t_{qi} – время интегрирования от начала взаимодействия шины с единичной неровностью до окончания этого взаимодействия;

T – период синусоиды.

Автомобиль рассматривали как упруго-массовую систему, в которой сохранены большинство кинематических связей между колеблющимися сосредоточенными массами. Система состоит из одной поддресоренной массы в виде кузова, который принято считать абсолютно твёрдым телом, обладающим шестью степенями свободы и четырёх не поддресоренных масс с одной степенью свободы. Учитывали, что между поддресоренной и неподдресоренными массами находятся демпфирующие и упругие элементы в виде амортизаторов и пружин.

Техническое состояние амортизатора определяет его функциональная характеристика (рис. 3), представляющая собой зависимость силы гидравлического сопротивления от скорости перемещения поршня относительно рабочего цилиндра [6].

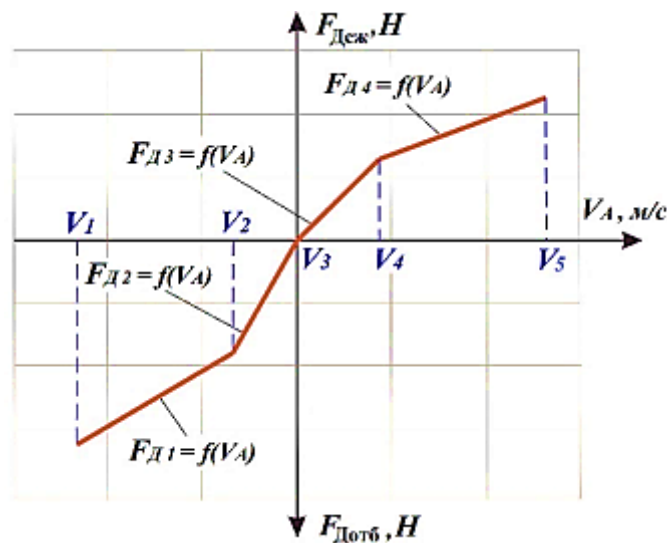


Рисунок 3 - График зависимости силы сопротивления амортизатора от скорости перемещения поршня относительно стенок рабочего цилиндра

Математическое описание функциональной характеристики амортизатора представлено в виде кусочно-линейно аппроксимированной зависимости силы F_D его гидравлического сопротивления от скорости V_S перемещения поршня относительно рабочего цилиндра и имеет вид(17) [7]

$$F_D = \begin{cases} F_{D1}(V_A), & V_1 \leq V_A < V_2 \\ F_{D2}(V_A), & V_2 \leq V_A < V_3 \\ F_{D3}(V_A), & V_3 \leq V_A < V_4 \\ F_{D4}(V_A), & V_4 \leq V_A \leq V_5 \end{cases} \quad (17)$$

Характеристика пружины представлена в виде линейной зависимости силы упругости от деформации упругого элемента $F_C=f(\Delta z)$ и рассчитывается по формуле (18)[8].

$$F_C = C_{II} (z_{II} - z_H) \quad (18)$$

Жёсткость пружины определяется по формуле (19) [8]

$$C_{II} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n_{раб}} \quad (19)$$

где G – модуль упругости второго рода (сдвига), равный $8,2 \cdot 10^4$ МПа;
 d – диаметр прутка;
 D – расчётный диаметр пружины;
 $n_{раб}$ – количество рабочих витков пружин.

Кинематические связи между подрессоренной и не подрессоренной массами зависят от типа и конструкции подвески. Конструкция подвески рассматриваемого автомобиля, представляют собой колебательное звено с сухим трением F_{TP} . Сила сухого трения подвески постоянна по величине, а её направление в процессе колебаний изменяется и всегда противоположно направлению движения подрессоренной массы. Формула расчёта силы сухого трения имеет вид (20) [9].

$$F_{TPij} = F_{TPconst} \cdot \text{sgn}(V_a) \quad (20)$$

где sgn — кусочно-ступенчатая функция действительного аргумента.

Представленный математический аппарат был дополнен соотношениями, учитывающими влияние стабилизаторов поперечной устойчивости.

При движении в повороте на АТС действует центробежная сила, вызывающая его боковой крен. Колесо, движущееся по внешнему радиусу, прижимается к дорожному покрытию, а внутреннее наоборот старается от него оторваться. Это приводит к тому что нагрузка на внешние колеса возрастает, а на внутренние уменьшается. Работа стабилизатора поперечной

устойчивости основана на перераспределении нагрузки между упругими элементами подвески (рис.4).

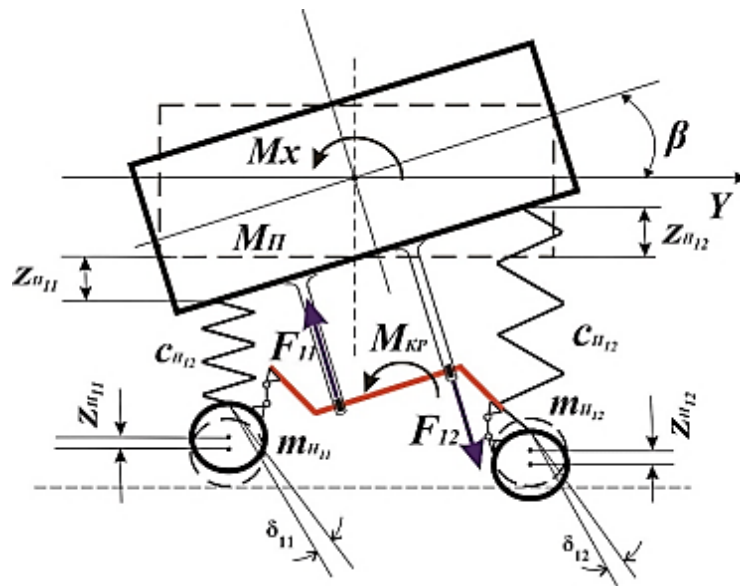


Рисунок 4 - Расчетная схема подвески АТС со стабилизатором поперечной устойчивости

При боковом крене или *поперечных угловых колебаниях* концы стабилизатора выполняющие роль рычагов, перемещаются в разные стороны на углы δ_{11} и δ_{12} , под действием сил F_{11} и F_{12} (21), а в его средней части возникает $M_{кр}$ (23), (24) [10].

$$F_{CT_{ij}} = K_{УЖСТ} \cdot \Delta z_{ij} \quad (21)$$

$$\Delta z_{ij} = z_{\Pi_{ij}} - z_{H_{ij}} \quad (22)$$

$$M_{TSTi} = M_Y(\beta) - M_{ELi}(\Delta z_{ij}) \quad (23)$$

$$M_{КРСТT} = M_X(\beta) - \sum F_{УЖP_i}(\Delta z_{ij}) \cdot \frac{S_i}{2} \quad (24)$$

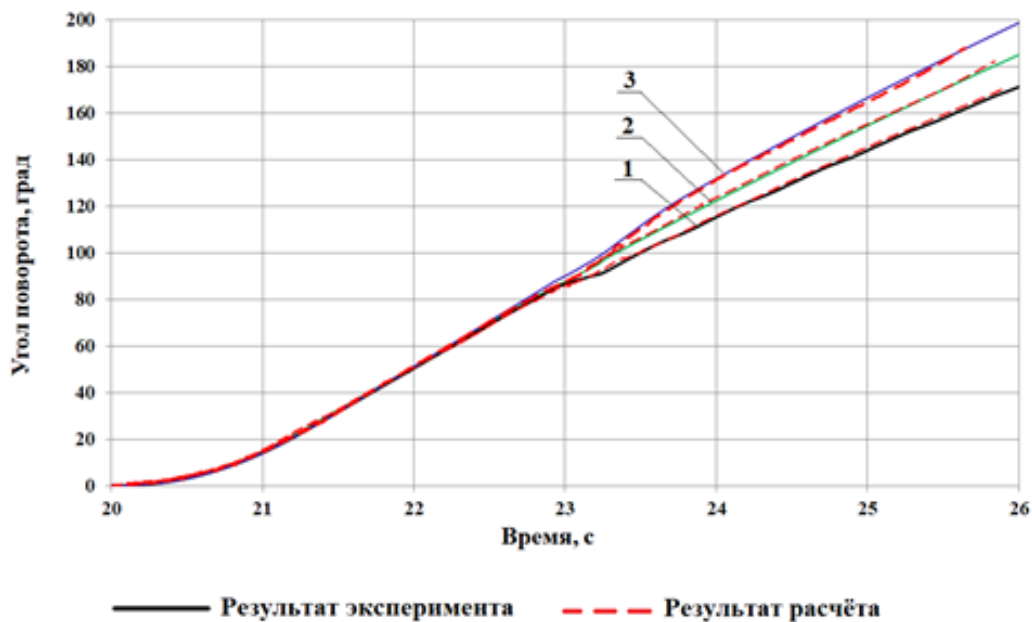
Суммарное усилие, возникающее при деформации стабилизатора находится из уравнения динамического равновесия (25) [11].

$$F_{CTi} = (M_Y(\beta) - \sum F_{УЖP_i}(\Delta z_{ij}) \cdot \frac{S_i}{2}) \cdot \frac{1}{S_i} \quad (25)$$

Эффективная работа стабилизатора поперечной устойчивости обеспечивается его жесткостью. Жесткость стабилизатора определяется свойствами материала-модулем сдвига G , диаметром сечения d и длиной L (26).

$$K_{yжст} = \frac{G \cdot \pi \cdot d^4}{32 \cdot L} \quad (26)$$

Результаты аналитического исследования изменения угла поворота АТС при его движении под действием центробежной силы позволяют сделать вывод о том, что изменение технического состояния амортизаторов значительно влияет на изменение угла поворота γ при переезде единичной неровности (рис.5). Угол его поворота γ относительно оси OZ был принят в качестве параметра, позволяющего контролировать устойчивость АТС при движении под действием боковой силы заданной величины [12,13,14]. Техническое состояние амортизаторов оценивали в баллах: лучшее техническое состояние -10 баллов, худшее – 1 балл.

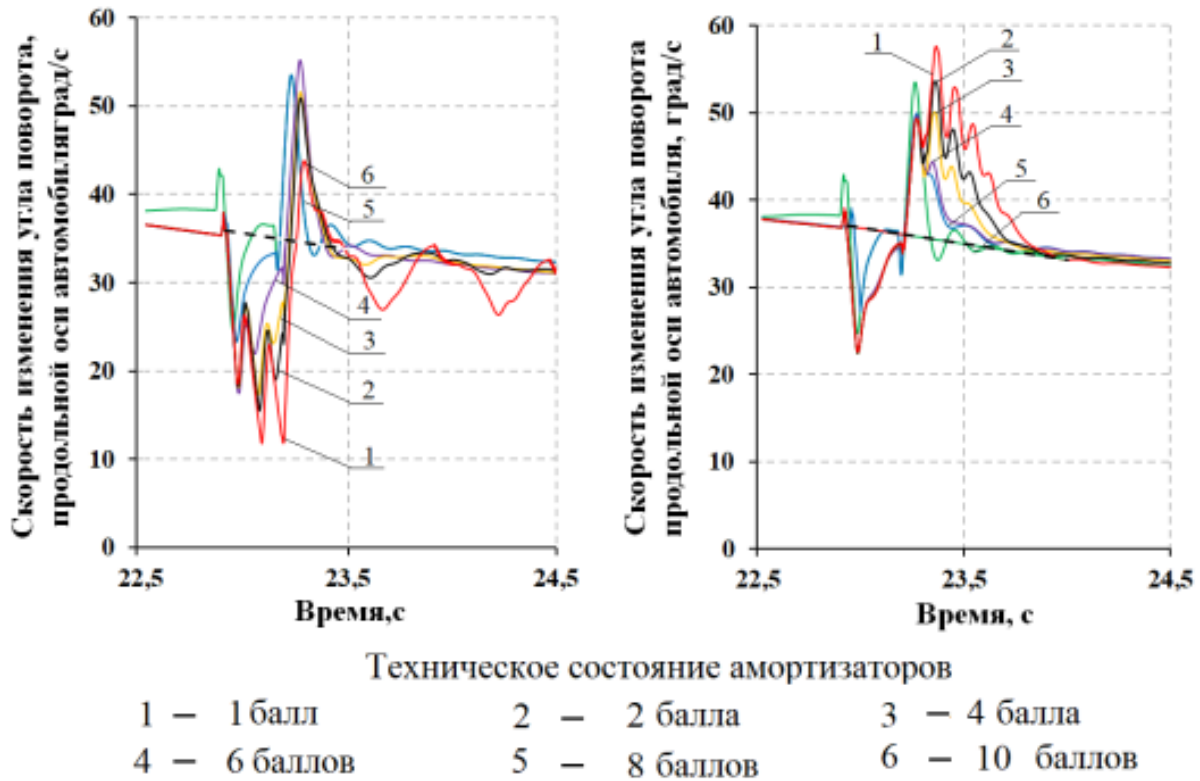


1 – Все амортизаторы исправны; 2 – передние амортизаторы неисправны; 3 – задние амортизаторы неисправны.

Рисунок 5 - График изменения угла поворота подпрессоренной массы автомобиля Ford -Focus, при его движении по окружности радиусом 15 м со скоростью 40 км/ч, и переездом единичной неровности, имеющей профиль 50×50 мм, в зависимости от технического состояния амортизаторов

Курсовая устойчивость АТС характеризуется отклонением продольной его оси от заданного направления движения.

Исследование скорости её отклонения под действием боковой силы и переезде через единичную неровность позволило установить, что на неё значительно влияет техническое состояние амортизаторов (рис.6).



а)

б)

Рисунок 6 – График изменения скорости изменения угла поворота продольной оси АТС от заданного направления движения АТС под действием боковой силы и переезде через единичную неровность:

а) с исправными амортизаторами задней подвески и варьировании технического состояния амортизаторов передней подвески от 1 до 10 баллов;

б) с исправными амортизаторами передней подвески и варьировании технического состояния амортизаторов задней подвески от 1 до 10 баллов

Интегрирование полученных зависимостей скорости изменения угла отклонения продольной АТС от заданного направления движения позволяет определять суммарные углы γ_1 и γ_2 её отклонения при переезде через неровность передними и задними колёсами(27), (28). А так же находить разность этих углов – $\Delta\gamma$ (29).

Нормированные значения найденных диагностических параметров предложены в качестве критериев для оценки устойчивости АТС при движении под действием боковой силы.

Критерий №1

Угол γ_1 отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде передних колёс через единичную неровность

$$\gamma_1 = \int_{t_1}^{t_2} \omega_1(t) \cdot dt \quad (27)$$

Критерий №2

Угол γ_2 отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде задних колёс через единичную неровность.

$$\gamma_2 = \int_{t_3}^{t_4} \omega_2(t) \cdot dt \quad (28)$$

Критерий №3

Разность углов $\Delta\gamma$ отклонения продольной оси АТС при движении под действием боковой силы и переезде передних и задних колёс через единичную неровность (оценка поворачиваемости АТС)

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 \quad (29)$$

Разработанный математический аппарат позволил сделать теоретическое обоснование возможности разработки нового метода контроля влияния технического состояния амортизаторов АТС на показатели устойчивости в условиях эксплуатации;

Результаты аналитического исследования процесса движения поддрессоренных и неподдрессоренных масс АТС в пространстве, а также процессов взаимодействия его эластичных шин с опорной поверхностью дороги при движении под действием боковой силы позволяют научно обосновать выбор тестового режима и диагностических параметров, дорожного метода контроля технического состояния амортизаторов в условиях эксплуатации;

В качестве количественных показателей для расчета критериев устойчивости АТС, движущегося под действием боковой силы заданной величины, приняты углы отклонения его продольной оси от заданного направления движения при переезде передними и задними колёсами через единичную неровность.

Список использованной литературы

1. Федотов А. И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей, учебник для аспирантов вузов / А. И. Федотов. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, — 2016. 254 с.
2. A I Fedotov, D A Tikhov-Tinnikov, N I Ovchinnikova, A V Lysenko Simulation of car movement along circular path To cite this article: et al 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 87 082018, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 082018 doi :10.1088/1755-1315/87/8/082018
3. Дика А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: Сибирский автомобильно-дорожный институт, 1988. 187 с.
4. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Кузнецов Н.Ю. Прокопьев И.С. Корректировка математической модели процесса движения автомобиля по окружности. Наземные транспортно-технологические средства: проектирование[2] производство, эксплуатация: материалы II Всерос. науч.-практ. конф.— Чита: ЗабГУ, 2018. – 211-220 с.
5. Неволин Д.Г., Новосёлов Л.И. Математическое моделирование динамического процесса в подвески полуприцепа // Транспорт урала. 2014. №4 (42). С. 119-122.
6. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. М.: Машиностроение, 1969. 236 с.
7. Дубровская О.А. Об аналитическом представлении рабочей характеристики амортизатора автомобиля // Вестник СибАДИ, выпуск 1 (19), 2011, С.17-19.
8. Емельянов А.Е., Зверев И.Н. Емельянов А.Е. Расчет цилиндрических пружин подвески автомобиля с нелинейной характеристикой упругости. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Автомобиле - и тракторостроение»: МГТУ «Маши», 2007. – 31 с.
9. Вахламов В.К. Автомобили. Эксплуатационные свойства // Учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Академия, 2005. — 240 с.
10. Вербилов А.Ф., Ковалев В.В., Пространственная модель подвески транспортного средства со стабилизатором поперечной устойчивости // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, №1(2), 2011. – 422-425 с.
11. Ахмедов А. А., Улучшение управляемости и устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге методами многокритериальной параметрической оптимизации тема Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: Московский государственный технический университет МАМИ, 2004. 169с.

12. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Международ. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 9–10 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 232–238.

13. Fedotov A I, Kuznetsov N Yu, Lysenko A V and Tikhov-Tinnikov D A Tire tester to study elastictire characteristics when a wheel rolls with a skid. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016. № 2 (109). P. 123-126.

14. Fedotov A I, Kuznetsov N Y, Lysenko A V and Vlasov V G, Car Suspension System Monitoring under Road Conditions, *AIP Conference Proceedings Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2017)*, Dec 11-15, 2017, Ekaterinburg, Russia, UNSP 040014

УДК 629.113.001

**МНОГОФАКТОРНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ,
СВЯЗЫВАЮЩИЕ МЕЖДУ СОБОЙ ПОКАЗАТЕЛИ
ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДОВОГО И ДОРОЖНОГО
МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АТС**

А.С. Марков, А.И. Федотов, В.В. Винокуров

Аннотация. В статье приведены многофакторные регрессионные модели, полученные на основании экспериментальных исследований зависимости показателей тормозной эффективности АТС стендового и дорожного методов контроля технического состояния тормозных систем. Полученные уравнения позволяют прогнозировать поведение АТС в дорожных условиях, на основе результатов стендового контроля их тормозных систем.

Ключевые слова: тормозная эффективность, коэффициент сцепления, установившееся замедление, регрессионная модель, силовой тормозной стенд.

Алексей Сергеевич Марков - аспирант кафедры "Автомобильный транспорт"ИрНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89834449374, ауд. К-020, E-mail: buran.005@mail.ru.

Александр Иванович Федотов - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Автомобильный транспорт"ИрНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-115, тел.: 89025605582, E-mail: fai.abs@yandex.ru.

Виктор Викторович Винокуров - студент кафедры "Автомобильный транспорт" ИрННТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-020, тел.: 89526317697.

Автомобильный транспорт является самым массовым и при этом самым опасным видом транспорта. Ежегодно на территории Российской Федерации происходит более 150 тысяч дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых гибнет более 16 тысяч человек и получают ранения более 190 тысяч человек. При этом подавляющее большинство ДТП либо происходят при торможении автотранспортных средств (АТС), либо сопровождается торможением. Количество ДТП и тяжесть их последствий во многом зависят от технического состояния и эффективности работы тормозной системы АТС [1].

Для контроля технического состояния тормозной системы АТС в условиях эксплуатации предполагается использовать дорожный или стендовый методы контроля [2,3]. Оба эти метода контроля технического состояния тормозной системы имеют свои достоинства и недостатки. На территории нашей страны с её большим разнообразием климатических условий, предпочтительными являются стендовые испытания.

Согласно результатам исследований, выполненным в Волжском политехническом институте, 50% из четырех десятков автобусов «Волжанин 5270» не обеспечили нормативных значений установившегося замедления и превысили линейное отклонение АТС при контроле дорожным методом. Хотя при этом все они показали положительные результаты контроля технического состояния тормозной системы на роликовых силовых тормозных стендах [4]. Выполненные исследования повторяемости результатов измерения тормозных сил на силовом роликовом стенде, также показывают низкую стабильность повторяемости результатов стендового контроля [5].

Одним из направлений для повышения достоверности стендового контроля тормозной эффективности АТС, является использование закономерностей, связывающих показатели стендового и дорожного методов контроля технического состояния тормозных систем АТС. Таким образом одним из наиболее доступных методов повышения достоверности может стать применение многофакторной регрессионной модели.

Необходимость создания многофакторных регрессионных моделей, обуславливается необходимостью спрогнозировать поведение АТС в дорожных условиях, на основе стендового контроля его тормозной эффективности. Для создания многофакторной регрессионной модели были использованы результаты экспериментальных исследований изменения реализованного коэффициента сцепления эластичной шины с опорными поверхностями [6], а также результаты по исследованию тормозной эффективности АТС в дорожных условиях [7]. Создание многофакторной регрессионной модели осуществлялось встроенными инструментами среды

Microsoft Excel. В среде Microsoft Excel использовался пакет «Анализ данных» с инструментом «Регрессия», где указывался входной и выходной диапазоны исходных данных для каждой линейки экспериментальных данных.

Результатом работы инструмента «Регрессия» является таблица с выходными данными, в которой указаны сведения о полученной регрессионной модели, коэффициент детерминации, коэффициенты регрессионной модели, стандартные ошибки и t -статистика коэффициентов модели, F -критерий Фишера и его критическое значение. На рис. 1 представлена таблица с выходными данными регрессионной модели для расчета установившегося замедления АТС при торможении в дорожных условиях.

Подставив полученные коэффициенты и свободный член уравнения многофакторной регрессии получим следующую формулу (Формула 1), для расчета величины установившегося замедления АТС при торможении в дорожных условиях

$$j_{уст} = 12,5038614 - m_a \cdot 0,00376235 - t_{oc} \cdot 0,01506409 - \Delta_{np} \cdot 0,00217735 \quad (1)$$

где m_a – масса автомобиля, кг;
 Δ_{np} – износ рисунка протектора, %;
 t_{oc} – температура окружающей среды, °C.

Полученные абсолютные значения t -статистики (Рис.1) для каждого из коэффициентов модели сравнивались с t -критическим равным 2,045 для 29 степеней свободы взятым из справочника по математической статистике, можно сделать вывод что все переменные многофакторной регрессионной модели имеют высокую значимость для расчета величины установившегося замедления АТС при торможении в дорожных условиях.

Регрессионная статистика						
Множественный R	0,916066661					
R-квадрат	0,839178128					
Нормированный R-квадрат	0,820621758					
Стандартная ошибка	0,122633164					
Наблюдения	30					
Дисперсионный анализ						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	3	2,040319846	0,680106615	45,22318387	1,8578E-10	
Остаток	26	0,391011213	0,015038893			
Итого	29	2,431331059				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	12,50386136	0,479453588	26,07939888	3,60534E-20	11,5183304	13,48939233
Переменная X 1	-0,003762348	0,000395797	-9,505756905	6,02649E-10	-0,004575921	-0,002948776
Переменная X 2	-0,015064091	0,002742161	-5,493510939	9,18157E-06	-0,020700683	-0,009427498
Переменная X 3	-0,002177348	0,000559741	-3,889919645	0,000622571	-0,003327913	-0,001026784

Рисунок 1 - Выходные данные регрессионной модели для расчета установившегося замедления АТС при торможении в дорожных условиях

Проанализировав значимость каждого из коэффициентов регрессионной модели, выявлено что самым значимым фактором является температура окружающей среды t_{oc} , при повышении которой происходит снижение сцепных свойств шины; вторым по значимости фактором, является масса АТС m_a и самым мало значимым параметром является износ протектора беговой дорожки шины Δ_{np} .

Аналогичные действия по анализу проводились с полученными многофакторными регрессионными моделями для расчета реализованного коэффициента сцепления на плоской опорной, одной и двух цилиндрических опорных поверхностях.

При торможении колеса с эластичной шиной на плоской опорной поверхности, была получена следующая регрессионная модель (Формула 2) для расчета величины реализованного коэффициента сцепления при торможении заблокированного колеса на плоской опорной поверхности

$$\varphi = 0,913418367 - 0,003617347 \cdot \Delta_{np} \quad (2)$$

где Δ_{np} – износ рисунка протектора, %.

В данной регрессионной модели (Формула 2) был исключен такой параметр как нормальная нагрузка на колесо G_k , т.к. полученное абсолютное значение t -статистики данного параметра было меньшего критического значения для 27 степеней свободы равным 2,052. В результате можно сделать вывод что в данной модели этот параметр оказывает минимальное влияние на величину реализованного коэффициента сцепления φ и не оказывает значительного влияния на качество расчета этой регрессионной модели. Для параметра износ протектора беговой дорожки шины Δ_{np} , абсолютное значение t -статистики равно 25,53.

Выполнив построение регрессионной модели для торможения заблокированного автомобильного колеса на одном опорном ролике была получена формула 3.

$$\varphi = 0,5747703 + 9,27 \cdot 10^{-6} \cdot G_k - 0,001232707 \cdot \Delta_{np} \quad (3)$$

где G_k – нормальная нагрузка на колесо, Н;
 Δ_{np} – износ рисунка протектора, %.

Проанализировав влияния внешних параметров на реализованный коэффициент сцепления φ для полученной многофакторной регрессионной модели показывает, что все включенные в модель параметры оказывают значительное влияние на качество расчета данной модели, критическое значение t -статистики для 20 степеней свободы равно 2,086. Главным по

значимости фактором является величина износа рисунка проектора Δ_{np} , абсолютное значение t -статистики равно 22,18; вторым по значимости нормальная нагрузка на колесо G_k , абсолютное значение t -статистики равно 5,10.

Регрессионная модель для расчета реализованного коэффициента сцепления эластичной шины при торможении в «блоке» на двух опорных роликах, описывается формулой 4.

$$\varphi = 0,56442513 - 8,895 \cdot 10^{-6} \cdot G_k - 0,003140669 \cdot \Delta_{np} \quad (4)$$

где G_k – нормальная нагрузка на колесо, Н;
 Δ_{np} – износ рисунка протектора, %.

Проанализировав влияние внешних факторов на величину реализованного коэффициента сцепления φ для полученной многофакторной регрессионной модели видно, что все включенные параметры оказывают значительное влияние на качество расчета данной модели, критическое значение t -статистики для 13 степеней свободы равно 2,16.

Аналогично, как и в двух предыдущих многофакторных регрессионных моделях, первым по значимости фактором, влияющим на величину реализованного коэффициента сцепления φ эластичной шины с двумя опорными роликами является величина износа рисунка проектора Δ_{np} , абсолютное значение t -статистики равно 40,39; вторым по значимости нормальная нагрузка на колесо G_k , абсолютное значение t -статистики равно 3,81.

Регрессионные модели для расчета реализованного коэффициента сцепления φ автомобильного колеса при торможении в «блоке» на плоской опорной, одной и двух цилиндрических поверхностях, представляют собой уравнения вида

$$\varphi = A_c + B_c \cdot G_k + C_c \cdot \Delta_{np} \quad (5)$$

Регрессионная модель для расчета величины установившегося замедления АТС при экстренном торможении, представляет собой уравнение вида

$$j_{уст} = A_d + B_d \cdot m_a + C_d \cdot \Delta_{np} + D_d \cdot t_{oc} \quad (7)$$

Проанализировав переменные и коэффициенты, входящие в данные уравнения, связь между ними можно установить через величину износа рисунка протектора Δ_{np} . Проведя простые математические преобразования с формулой 6 получим следующее уравнение

$$\Delta_{\text{ПП}} = \frac{\varphi - A_c - B_c \cdot G_k}{C_c} \quad (8)$$

Подставим получившееся выражением в формулу 7 получим выражение, позволяющее прогнозировать величину установившегося замедления $j_{уст}$ АТС на основе результатов его стендового контроля

$$j_{уст} = A_d + B_d \cdot m_a + C_d \cdot \sum_{n=1}^K \left(\frac{\varphi - A_c - B_c \cdot G_k}{C_c} \right) / K + D_d \cdot t_{oc} \quad (9)$$

где K – число тормозящих колес АТС.

Полученное уравнение 9 позволяет спрогнозировать поведение АТС в дорожных условиях, используя результаты контроля его тормозной эффективности на стендах с двумя опорными роликами.

Полученная формула (9) имеет следующие области допустимых значений для корректного расчета установившегося замедления АТС в дорожных условиях:

- реализованный коэффициент продольного сцепления φ эластичной шины при торможении на двух опорных роликах - от 0,31 до 0,53;
- реализованный коэффициент продольного сцепления φ эластичной шины при торможении на одном опорном ролике- от 0,51 до 0,65;
- реализованный коэффициент продольного сцепления φ эластичной шины при торможении на плоской опорной поверхности- от 0,57 до 0,88;
- нормальная нагрузка G_k на каждое колесо АТС с эластичной шиной в диапазоне - от 1750 Н до 4750 Н;
- температура окружающей среды - от 5°C до 45°C;
- масса АТС от 950 кг до 1650 кг.

Полученные зависимости позволяют осуществлять прогнозирование поведения АТС при торможении в дорожных условиях. Используя полученные многофакторные регрессионные модели, связывающие между собой результаты стендового и дорожного методов контроля тормозной эффективности, можно использовать для создания новых высоко достоверных методов для контроля технического состояния тормозной системы АТС на силовых тормозных стендах.

Список использованной литературы

1. <http://stat.gibdd.ru/> - Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения.

2. Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств, утвержден постановлением Правительства Российской Федерации № 720 от 10.09.2009 г.

3. ГОСТ 33997-2016 «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки».

4. Кулько П.А., Ушаков К.В., Государственный технический осмотр. Проблемы и решения // Автотранспортное предприятие. 2005. № 9. С. 15–19.

5. Марков А.С., Бойко А.В., Яньков О.С. Исследование повторяемости результатов измерения тормозных сил на роликовом силовом стенде в зависимости от износа автомобильной шины // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й междунар. науч.-техн. конф. (Иркутск, 20–21 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2017. 452-458 с.

6. Федотов А.И., Марков А.С., Яньков О.С., Овчинникова Н.И. Влияние износа рисунка протектора беговой дорожки шины на характеристики ее сцепления с опорной поверхностью // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11. С. 216–225 DOI: 10.21285/1814-3520-2017-11-216-225.

7. Марков А.С., Салчак Э.С., Федотов А.И. Экспериментальное исследование влияния износа беговой дорожки шины на величину установившегося замедления АТС при торможении в блоковом режиме. сб. статей X Международной научно-практической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» Изд-во ИРНИТУ, Иркутск. 2018. - 425 с.

УДК 629.113.001

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ АТС В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ УЧИТЫВАЮЩАЯ ИЗНОС РИСУНКА ПРОТЕКТОРА БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ ШИНЫ

А.С. Марков

***Аннотация.** В статье предлагается разработанная плоская математическая модель торможения АТС в дорожных условиях, учитывающая износ рисунка протектора и температуру окружающей среды, позволяющая исследовать параметры тормозной эффективности АТС.*

Ключевые слова: математическая модель, эластичная шина, износ рисунка протектора, температура окружающей среды.

Алексей Сергеевич Марков - аспирант кафедры "Автомобильный транспорт" ИрННТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89834449374, ауд. К-020, E-mail: buran.005@mail.ru.

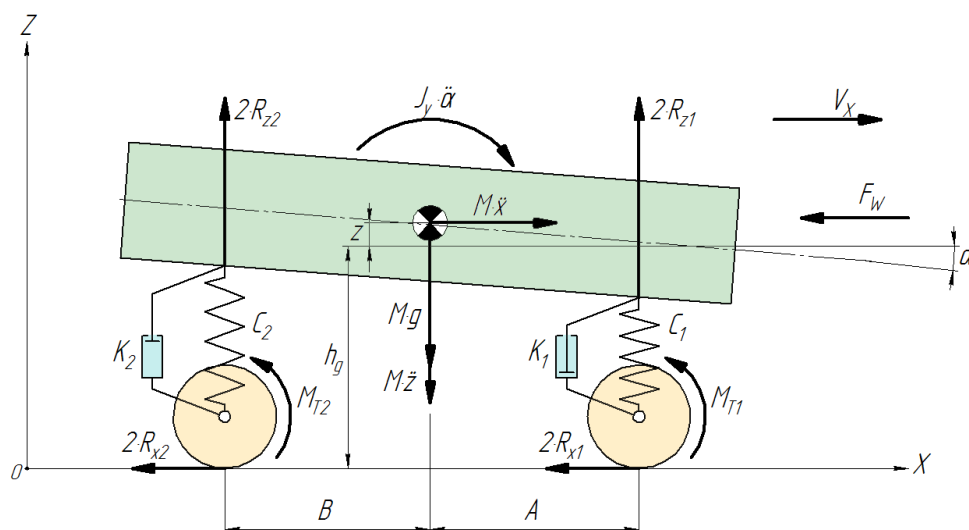
Торможение автомобильного колеса с эластичной шиной сопровождается множеством сложных физических процессов. Исследование процесса торможения эластичной шины на реальном автомобиле затрачивает много времени и средств на подготовку и проведение эксперимента. Для экономии времени и средств широко используются различные математические модели процесса торможения колеса с эластичной шиной, так и процесса торможения АТС в целом.

Как известно на объект исследования влияют внешние и внутренние факторы, а также управляющие параметры. В свою очередь совокупность этих факторов оказывает значительное влияние на выходные параметры исследуемого процесса.

Составим расчетную схему процесса торможения автомобиля в дорожных условиях (Рис. 1). При разработке математического описания колебаний поддрессоренной массы приняты следующие допущения:

- центр масс АТС совпадает с центром его деферента;
- при повороте (*деференте*) поддрессоренной массы относительно центра масс в продольном направлении, расстояния *A* и *B* от центра масс до передней и задней осей АТС остаются неизменными.

Расположение автомобиля в пространстве задается системой координат в плоскости *XOZ*. Поддрессоренная масса обладает возможностью совершать перемещение вдоль оси *Z*, а также совершать поворот (*деферент*) относительно оси *Y*, которая проходит через центр масс автомобиля.



R_{x1} и R_{x2} - Продольные касательные реакции в пятнах контакта эластичных шин передней и задней оси с дорогой; R_{z1} и R_{z2} - нормальные

реакции, возникающие от элементов передней и задней осей автомобиля; M - масса автомобиля; J_Y - осевой момент инерции автомобиля относительно оси Y ; h_g - высота центра масс автомобиля; Z_T - координата изменения положения высоты центра масс автомобиля; A и B - расстояния от осей автомобиля до его центра масс; C_1 и C_2 - жесткость передней и задней подвески включающая жесткость шины; K_1 и K_2 - коэффициенты демпфирования передней и задней подвески.

Рисунок 1 - Расчетная схема торможения АТС в дорожных условиях

Исходя из расчетной схемы с использованием принципа Д'аламбера, составим дифференциальные уравнения динамического равновесия подрессоренной массы АТС, описывающие этот процесс торможения АТС в дорожных условиях. И решим их относительно старшей производной [1]:

1) Ускорение АТС по оси X

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{2 \cdot R_{x1} + 2 \cdot R_{x2}}{M} \quad (1)$$

2) Ускорение АТС по оси Z

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{2 \cdot R_{z1} + 2 \cdot R_{z2} + G_a}{M} \quad (2)$$

3) Угловое ускорение относительно центра масс

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{-2 \cdot R_{z1} \cdot A + 2 \cdot R_{z2} \cdot B + (2 \cdot R_{x1} + 2 \cdot R_{x2}) \cdot (h_g + Z_T)}{J_Y} \quad (3)$$

Используя принципа Д'аламбера, и расчетную схему (Рис. 1) составим уравнения статического равновесия для расчета нормальных реакций на передней и задней осях автомобиля

$$R_{z1} = \frac{G_a \cdot B}{2 \cdot (A + B)}; R_{z2} = \frac{G_a \cdot A}{2 \cdot (A + B)} \quad (4)$$

Нормальные реакции от действия упругих элементов передней и задней подвески выражаются как

$$R_{z1} = Z_{z1} \cdot C_1 + K_1 \cdot V_{z1}; R_{z2} = Z_{z2} \cdot C_2 + K_2 \cdot V_{z2} \quad (5)$$

где Z_{z1} и Z_{z2} - координата смещения подрессоренной массы над передней и задней осями;

V_{z1} и V_{z2} – скорость перемещения подрессоренной массы над передней и задней осями.

Используя принцип численного интегрирования дифференциальных уравнений методом Эйлера, запишем уравнения для расчета перемещений подрессоренной массы над передней и задней осями АТС [1]

$$Z_{z1} = Z_{z1-1} \cdot V_{z1} \cdot dt; Z_{z2} = Z_{z2-1} \cdot V_{z2} \cdot dt \quad (6)$$

Деформация упругих элементов подвески передней и задней осей [1]

$$\Delta Z_i = \frac{R_{zi}}{C_i} \quad (7)$$

Сила аэродинамического сопротивления движению АТС определяется как [3]

$$F_w = K_B \cdot S_x \cdot \left(\frac{V_a}{3,6} \right)^2 \quad (8)$$

где K_B - коэффициент обтекаемости формы кузова автомобиля;

S_x – площадь миделя;

V_a – скорость автомобиля.

Для определения коэффициента обтекаемости формы кузова автомобиля воспользуемся формулой [3]

$$K_B = \frac{C_x \cdot \rho_B}{2} \quad (9)$$

где C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ_B - плотность воздуха.

При торможении АТС именно эластичные шины связывают АТС с опорной дорожной поверхностью. Возникающие в процессе их взаимодействия продольные касательные и нормальные реакции передаются от колес на кузов АТС, вызывая его торможение.

Используя принципа Д'аламбера, и расчетную схему (Рис. 2) составим уравнение динамического равновесия тормозящего колеса [4]

$$M_J = M_f + M_T - M_\varphi \quad (10)$$

где M_T - тормозной момент;
 M_f - момент сопротивления качению;
 M_φ - реализованный момент по сцеплению.

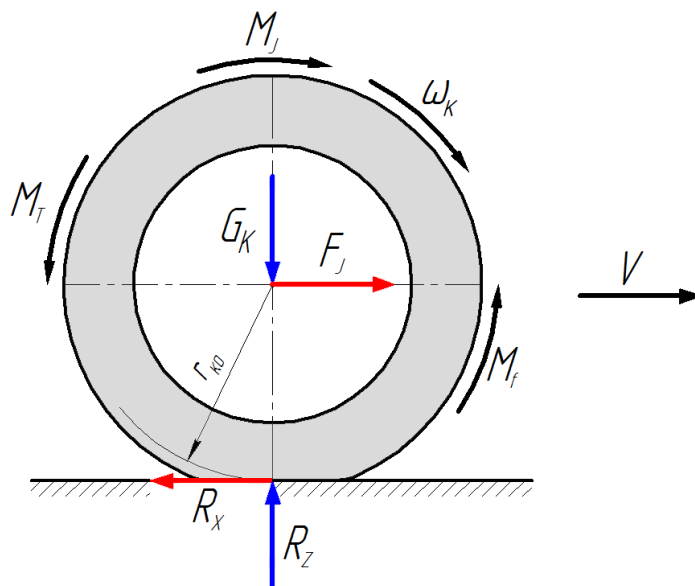


Рисунок 2 - Расчетная схема динамики процесса торможения автомобильного колеса

Решив уравнение (10) относительно старшей производной получим следующее выражение[6]

$$\frac{d^2 \omega_K}{dt^2} = \frac{M_T + M_f - R_X \cdot r_{ко}}{J_K} \quad (11)$$

где $r_{ко}$ - радиус качения колеса в ведомом режиме;
 J_K - момент инерции колеса.

Момент сопротивления качению определяется из следующего выражения [4]

$$M_f = R_Z \cdot f(V) \cdot r_{ко} \quad (12)$$

где $f(V)$ - коэффициент сопротивления качению, как функция от скорости;
 R_Z - величина нормальной нагрузки, приложенной к колесу.

Коэффициент сопротивления качению зависит от скорости и рассчитывается по формуле [5]

$$f(V) = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V^2}{20000} \right) \quad (13)$$

где f_0 - коэффициент сопротивления качению;
 V - линейная скорость движения колеса.

Для расчета силового радиуса колеса используется следующее выражение

$$r_{ко} = r_K \cdot \left(1 - CC1 \cdot \sqrt{\frac{R_z}{1000}} + CC2 \cdot \frac{R_z}{1000} \right) \quad (14)$$

где $CC1$ и $CC2$ – корректирующие коэффициенты.

Для описания характеристик сцепления эластичной шины с опорной поверхностью используется достаточно популярная и распространенная модель Расејка Н.В., а именно её частный случай модель Расејка Н.В. – Дика А.Б. с упрощенной нормированной функцией проскальзывания [7]

$$f(S) = \sin[a_1 \cdot \arctan(b_1 \cdot S)] \quad (15)$$

где a_1 и b_1 - коэффициенты, определяющие функцию $f(S)$.

$$a_1 = \frac{\eta_s}{b} \quad (16)$$

$$b_1 = \frac{(1 + b_{11}^2) \cdot \arctan(b_{11}) - b_{11}}{K_z \cdot (1 + b_{11}^2) - 1} \quad (17)$$

$$b_{11} = \frac{\pi}{2 \cdot K_z} \quad (18)$$

$$K_z = \frac{\pi - \arcsin(f_{БЛ})}{\eta_s} \quad (19)$$

где η_s - коэффициент «жёсткости» проскальзывания;

$f_{БЛ}$ - коэффициент снижения фрикционных свойств шины в блоке.

Коэффициент η_s характеризует крутизну нарастания нормированной $f(S)$ -диаграммы (Рис. 3) и определяется как отношение приращения функции к приращению аргумента [6,8] в начале координат

$$\eta_s = \frac{\Delta f}{\Delta S} \text{ при } S \rightarrow 0 \quad (20)$$

Коэффициент $f_{БЛ}$ характеризует величину снижения фрикционных свойств шины, и рассчитывается при заблокированном колесе по формуле [6, 8]

$$f_{БЛ} = \frac{R_{X_{бл}}}{R_{X_{max}}} \text{ при } S = 1 \quad (21)$$

где $R_{X_{бл}}$ - величина продольной касательной силы при заблокированном колесе;

$R_{X_{max}}$ - максимально возможная продольная касательная реакция по сцеплению.

Режим торможения колеса с эластичной шиной в дорожных условиях определяется коэффициентом проскальзывания S , рассчитываемого по формуле [6, 8]

$$S = 1 - \frac{\omega_k \cdot r_{KO}}{V} \quad (22)$$

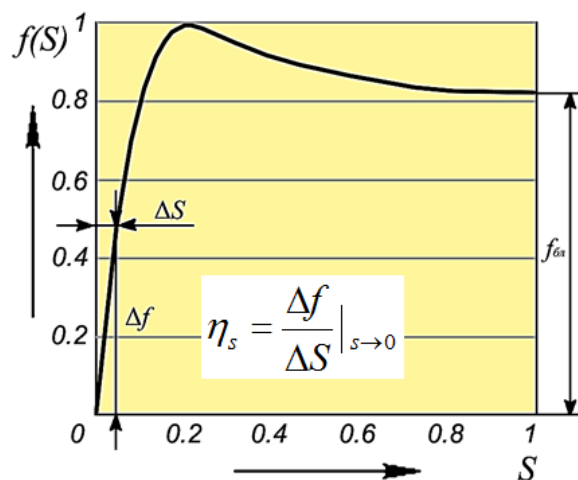


Рисунок 3 - Нормированная $f(S)$ – диаграмма

Для определения величины реализованной продольной касательной реакции R_X используются параметры стационарной характеристики сцепления колеса с эластичной шиной с опорной поверхностью [6, 8]

$$R_X = R_z \cdot \varphi_{\max} \cdot f(S) \quad (23)$$

где φ_{\max} - максимальное значение коэффициента сцепления эластичной шины с опорной поверхностью.

Для расчета коэффициента сцепления $\varphi_{\text{бл}}$ при $S=1$, воспользуемся следующим выражением, полученным методом регрессионного анализа экспериментальных данных [9], учитывающим массу АТС, износ рисунка протектора и температуру окружающей среды

$$\varphi_{\text{бл}} = \frac{12,5038614 - m_a \cdot 0,00376235 - t_{\text{oc}} \cdot 0,01506409 - \Delta_{\text{np}} \cdot 0,00217735}{9,81} \quad (24)$$

где m_a – масса автомобиля, кг;
 Δ_{np} – износ рисунка протектора, %;
 t_{oc} – температура окружающей среды, °C.

Расчет коэффициента сцепления φ_{max} выполняем по формуле

$$\varphi_{\text{max}} = \frac{\varphi_{\text{бл}}}{f_{\text{БЛ}}} \quad (25)$$

Математическое описание характеристик тормозного механизма базируется на его экспериментальных диссипативных динамических выходных характеристиках, представленных на рис. 4 (а). Для математического описания динамических диссипативных характеристик тормозного механизма применен метод кусочно-линейной аппроксимации (рис. 4 (б)).

Разработанное математическое описание выходных характеристик тормозного механизма учитывает зону его нечувствительности, а также снижение величины тормозного момента M_T до величины момента по сцеплению M_φ при блокировании колеса [1].

$$M_T = \begin{cases} K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_0), & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_0) - M_{TP} > 0 \\ K_2 \cdot P_{TM}, & \text{если } \Delta P_{TM} \leq 0 \text{ и } K_2 \cdot P_{TM} - M_{T3} < 0 \\ M_{TP}, & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_0) - M_{TP} \leq 0 \\ M_{T3}, & \text{если } \Delta P_{TM} \leq 0 \text{ и } K_2 \cdot P_{TM} - M_{T3} \geq 0 \\ 0, & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } P_{TM} < \Delta_0 \text{ или } P_{TM} \leq 0 \\ R_z \cdot \varphi_{\max} \cdot f_{Бл} \cdot r_{ко}, & \text{если } \omega_k \leq 0 \end{cases} \quad (26)$$

где Δ_0 - зона нечувствительности тормозного механизма при нарастании давления в исполнительном механизме;

P_{TM} - давление в исполнительном механизме;

M_{T3} и M_{TP} - значение тормозного момента в момент изменения знака первой производной давления в исполнительном механизме;

K_1 и K_2 - коэффициенты темпа нарастания и снижения тормозного момента.

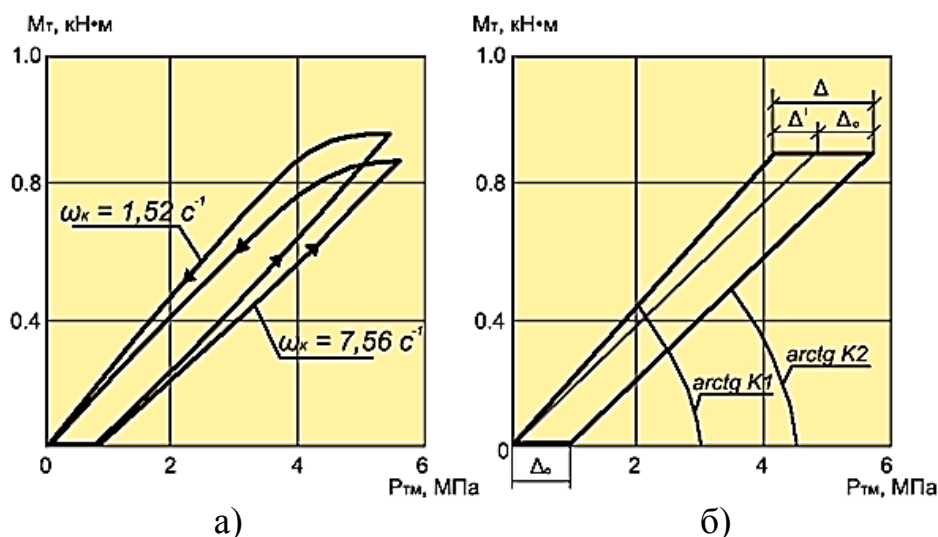


Рисунок 4 - Диссипативные характеристики тормозного механизма:
а) экспериментальные; б) расчетные

В связи с ростом скорости относительного скольжения пар трения в тормозном механизме происходит снижение тормозного момента, это учитывается корректировкой коэффициентов K_1 и K_2 в зависимости от угловой скорости вращения тормозящего колеса [1, 2]

$$K_1 = K_{10} - K_{\omega 1} \cdot \omega_k; K_2 = K_{20} - K_{\omega 2} \cdot \omega_k \quad (27)$$

где K_{10} , K_{20} , $K_{\omega 1}$ и $K_{\omega 2}$ - корректирующие коэффициенты.

Инерционность тормозного механизма описана как уравнение динамического звена первого порядка [1, 2]

$$T_{TM} \cdot \Delta \dot{P}_{TM} = P_T - P_{TM} \quad (28)$$

где P_T - давление на входе в исполнительный механизм;
 $\Delta \dot{P}_{TM}$ - первая производная давления в исполнительном механизме;
 T_{TM} - постоянная времени тормозного механизма.

В заключение отметим, что разработанная математическая модель позволяет проводить исследования влияния износа рисунка беговой дорожки шины, а также температуры окружающей среды на показатели тормозной эффективности АТС.

Список использованной литературы

1. Федотов А.И., Бойко А.В. Математическое моделирование процессов функционирования автомобилей // Учебное пособие. ИрГТУ, 2012.
2. Федотов А.И. Повышение эффективности работы антиблокировочных систем при колебаниях нормальной нагрузки на колесах автомобиля. [Текст]: Дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. М.: МАМИ, 1986
3. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. - М.: Машгиз, 1963.
4. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: Учебник для вузов. Изд-во ИрГТУ, Иркутск. 2012. 463с
5. Чудаков Е.А. Качение автомобильного колеса. - М. : Машгиз.1947. 72 с.
6. Федотов, А.И., Дик А.Б. Качение тормозящего колеса, нагруженного переменной нормальной нагрузкой // Активная и пассивная безопасность и надежность автомобиля: сб. науч. тр. М.: МАМИ, 1984. С. 94-110
7. Pacejka H.V. Some recent investigations into dynamics and frictional behavior of pneumatic tires // Phys. Tiretract.:TheoryandExp. New-York – London. 1974.
8. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1988.
9. Федотов А.И., Марков А.С., Салчак Э.С. Экспериментальное исследование влияния износа беговой дорожки шины на величину установившегося замедления АТС при торможении в блоковом режиме // В сборнике: Авиамашиностроение и транспорт Сибири - 2018 конференции Института Авиамашиностроения и транспорта. ИРННТУ. Иркутск, 2018. С. 376-383.

УДК 629.1.02

СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

И.К. Масленников, К.Е. Карпухин

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы реализации энергоэффективного движения электротранспорта с целью минимизации затрат энергии тяговой аккумуляторной батарееизатрачиваемой на перемещение транспортного средства. Показано, каким образом может быть построена модель оптимизации, рассмотрена оптимизация движения транспортного средства по маршруту методом динамического программирования и представлен принцип однопедальной системы управления тяговым моментом электродвигателя. На основе проведенного обзора авторами сделан вывод о преимуществах и недостатках рассмотренных систем управления и возможности их дальнейшего развития.*

Ключевые слова: *однопедальное управление, энергоэффективное движение, динамическое программирование, электромобили, энергоэффективность, комбинированные энергоустановки.*

Иван Константинович Масленников - аспирант ФГУП «НАМИ», 125438, г. Москва, ул. Москва, ул. Автомоторная, д. 2.

Кирилл Евгеньевич Карпухин - директор проекта, доцент, к.т.н., ФГУП «НАМИ», 125438, г. Москва, ул. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, E-mail: K.Karpukhin@nami.ru, тел.: 89169400006.

Введение

В настоящее время в области автомобилестроения серьезным и важным вопросом является улучшение влияния автотранспорта на окружающую среду. Постоянное ужесточение норм и требований по количеству вредных выбросов в атмосферу, применяемых к колесному транспорту, а также задачи по улучшению эффективности преобразования энергии на самих транспортных средствах (ТС) приводит к тому, что наибольшее внимание автопроизводителями уделяется разработкам ТС, на которых используются комбинированные силовые установки или на альтернативном топливе [1]. Применение комбинированных энергетических установок (КЭУ), в которых двигатель внутреннего сгорания работает совместно с электрической машиной, посредством различных схем (параллельные, последовательные, смешанные), позволяет улучшить ряд характеристик ТС, таких как расход топлива, количество вредных выбросов в атмосферу. Однако, наибольшее внимание уделяется ТС у которых в качестве силовой установки используется тяговый электропривод (ТЭП), который при по-

мощи преобразователя напряжения преобразует энергию, запасенную в тяговой аккумуляторной батарее (ТАБ) в механическую энергию на валу электродвигателя. Более того, такой вид электротранспорта, как электробус становится неотъемлемой частью современного мегаполиса. Несмотря на современные достижения в области разработок различных типов литий-ионных аккумуляторных батарей, их емкость в определенных массогабаритных размерах по-прежнему ограничена, поэтому при проектировании транспортного средства емкость ТАБ подбирается исходя из требуемого запаса хода, которое ТС должно проезжать на одном заряде и допустимой нагрузке. Кроме того, величина запаса хода и отличия эксплуатации электротранспортного средства (ЭТС) от традиционных может вызвать определенное неприятие технологии ее конечным пользователем. В англоязычной литературе существует такое понятие, как *rangeanxiety*, что означает боязнь водителя того, что ЭТС имеет недостаточный запас хода, требуемого ему для повседневной жизни. Именно поэтому перед автопроизводителями стоит задача спроектировать такое ЭТС, запас хода, простота эксплуатации и управление, которым не будет представлять для конечного пользователя серьезную преграду при покупке ЭТС. Также системы управления (например, антиблокировочная система торможения) электрическими и транспортными средствами с КЭУ за счет применения в конструкции привода электрических машин (ЭМ) требует разработки алгоритмов для распределения тормозного усилия на колесе между ДВС и ЭМ [2] и ЭМ и штатной гидравлической или пневматической системы торможения.

В результате чего, одним из наиболее важных вопросов при разработке электротранспортного средства является разработка таких алгоритмов управления движением ЭТС, позволяющих осуществлять наиболее эффективное преобразование энергии ТАБ для движения ТС. Применение данных алгоритмов управления позволит увеличить запас хода при изначально заданной емкости ТАБ, либо при требуемой величине запаса хода позволит применять ТАБ меньшей емкости, что в свою очередь снизит ее массу и стоимость. Кроме того, разработанные алгоритмы управления не должны доставлять неудобств водителю и пассажирам.

Существующие разработки и алгоритмы управления для осуществления энергоэффективного движения ЭТС

Обзор существующих литературных источников показывает, что наиболее популярными разработками и исследованиями в данной области являются модели и системы, позволяющие определять оптимальные скоростные профили движения ЭТС, при которых минимизируются затраты энергии ТАБ [3]. Структурная схема такой системы представлена на рис.1[4].

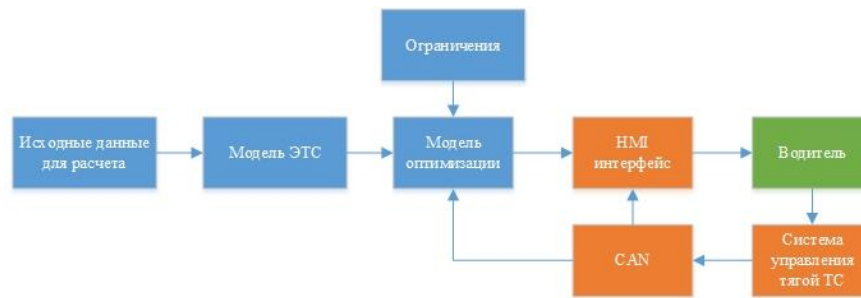


Рисунок 1 - Структурная схема системы определения энергоэффективного закона движения ЭТС

Структурно данную систему можно разделить на блоки, выполняющие функции в режиме *offline* и режиме реального времени. К ним относятся математическая модель ЭТС, модель оптимизации и статистические данные (скоростные ограничения, уклоны дорожного полотна на выбранном маршруте и пр.). В данном блоке перед началом движения по маршруту в модели оптимизации на основе исходных данных определяется энергоэффективный скоростной профиль движения ЭТС с учетом заданных ограничений. В дальнейшем при начале движения полученный скоростной профиль в режиме реального времени выводится на системы индикации, (например, дисплей с графическим интерфейсом) при помощи которых водитель может следить за тем, насколько он следует полученному закону движения. По окончании движения, водитель так же должен иметь доступ к информации и статистике, позволяющей оценить, является ли его стиль вождения энергоэффективным [4]. Стоит отметить, что подобные системы носят исключительно вспомогательный характер и не осуществляют никаких дополнительных управляющих воздействий на крутящий момент ТЭД.

Определение энергоэффективного скоростного профиля достигается путем решения задачи оптимизации, при которой целевой функцией, которую требуется минимизировать является затраченная энергия ТАБ [5].

Наиболее часто в транспортных системах данная задача решается математическим методом известным, как метод динамического программирования [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Основной принцип динамического программирования гласит, что вне зависимости от состояния системы в начальный момент времени, переходы в последующие должны составлять оптимальную стратегию управления относительно первого решения (рис.2).

Данный метод позволяет по заданному критерию оптимизации решать задачу оптимального управления системой с учетом заданных ограничений (величины максимальной скорости, ускорения, рывка ТС, конечного значения степени заряженности ТАБ). Однако, одним из существенных недостатков данной системы, является время вычисления, которое зависит от количество задаваемых фазовых координат и величины дискрети-

зации фазового пространства и сложности математической модели исследуемой системы [6].

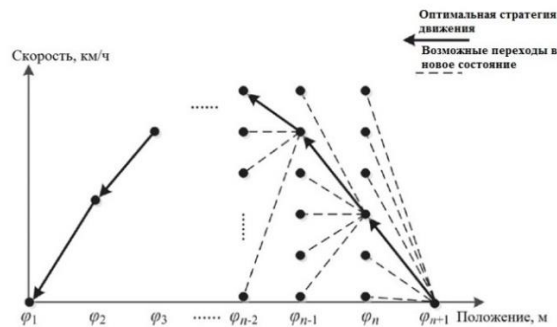


Рисунок 2 - Графическое представление метода динамического программирования

На рис.3 представлены полученные энергоэффективный скоростной профиль движения на горизонтальном участке длиной 300 м, тяговое усилие на колесе, ускорение и рывок, для электробуса КАМАЗ 6282, полученные методом динамического программирования. В качестве ограничений приняты следующие параметры: максимальная скорость ТС 50 км/ч, максимальное значение рывка $0,8 \text{ м/с}^3$, максимальное ускорение $1,6 \text{ м/с}^2$, время прохождения маршрута 50 с. В качестве критерия оптимизации была выбрана электрическая энергия, расходуемая на движения ТС. При этом модель ТАБ в оптимизации не учитывалась. На полученном скоростном профиле практически отсутствуют режимы, при которых ТС движется с постоянной скоростью, тем самым двигаясь большую часть времени в режиме выбега, расход энергии ТАБ уменьшается. Время вычислений составило 10 минут.

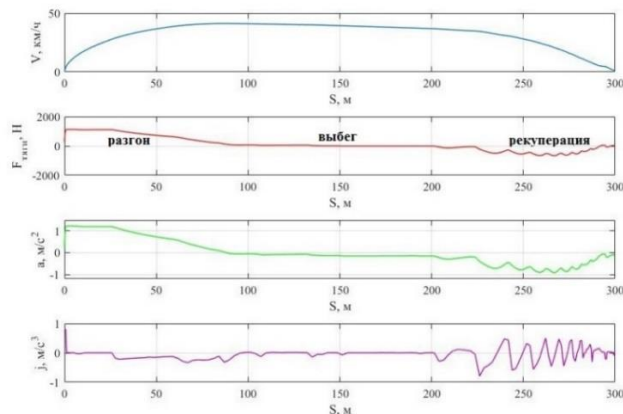


Рисунок 3 - Энергоэффективный закон движения электробуса КАМАЗ 6282

Системы определения энергоэффективного закона движения хорошо изучены при решении подобных задач в области железнодорожного подвижного состава, в том числе методом динамического программирования [10,11]. Однако в отличие от железнодорожного транспорта, в котором основным преимуществом являются изначально известные скоростные ограничения на каждом из участков железной дороги и перегонах, в дорожных ТС ситуация на дороге постоянно меняется в зависимости от большого ряда факторов (загруженность, время суток, погода). Именно поэтому применение таких систем для автомобильного транспорта является менее эффективным, так как водитель не всегда может следовать полученному скоростному профилю. Однако, для городского электротранспорта, такого как электробус, данный метод может быть более эффективным, так как такое ТС ежедневно движется по определенным маршрутам. Преимуществом является возможность использования накопленной статистики скоростных режимов движения ТС для каждого маршрута, на основе которых можно определить верхние и нижние границы наиболее вероятных скоростей ТС на заданном участке движения, которые в последствии могут быть использованы как ограничения, накладываемые при решении задачи оптимизации и определении энергоэффективного режима движения ТС.

Так как система, описанная выше является исключительно вспомогательной, и водитель решает самостоятельно с какой скоростью двигаться, то оптимальный расход энергии ТАБ не может быть гарантирован в ряде ситуаций (резкое изменение ситуации на дороге). Именно поэтому требуется разработка алгоритмов управления тяговым моментом ТЭД, позволяющих осуществлять эффективное преобразование энергии ТАБ не только в режиме реального времени, но и ограничивать управляющее воздействие водителем (положение педали акселератора) в определенных рамках (для обеспечения энергоэффективного разгона и рекуперативного торможения), при этом сильно не ограничивая динамические характеристики ТС.

В качестве основы для такого алгоритма может быть принят «однопедальный алгоритм управления» моментом (дословный перевод от One-Pedal Driving Algorithm, далее OPD) при котором, в отличие от традиционного способа управления, водитель имеет возможность управлять, как тяговым, так и тормозным моментом ТЭД исключительно при помощи педали акселератора, и лишь в экстренных случаях педаль тормоза для применения штатной тормозной системы [7].

Для четкого понимания такого принципа управления, на рис. 4б представлена карта распределения момента ТЭД, приведенная к развиваемой ТЭД величине ускорения ТС (рис. 4а), в зависимости от скорости и положения педали акселератора. Данная карта содержит 3 зоны: режим тягового момента 1, режимы выбега, когда на валу ТЭД не генерируется крутящий момент, и режим рекуперации. Зона выбега увеличивается с увели-

чением скорости ТС, для того, чтобы водителю было проще осуществлять данный режим движения ТС.

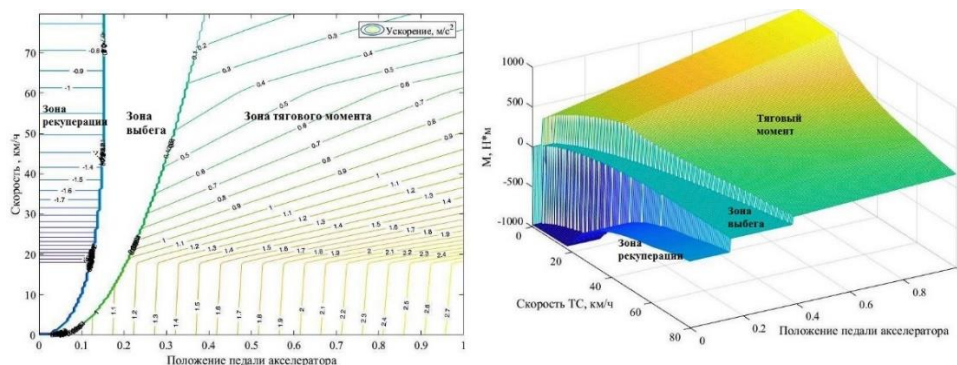
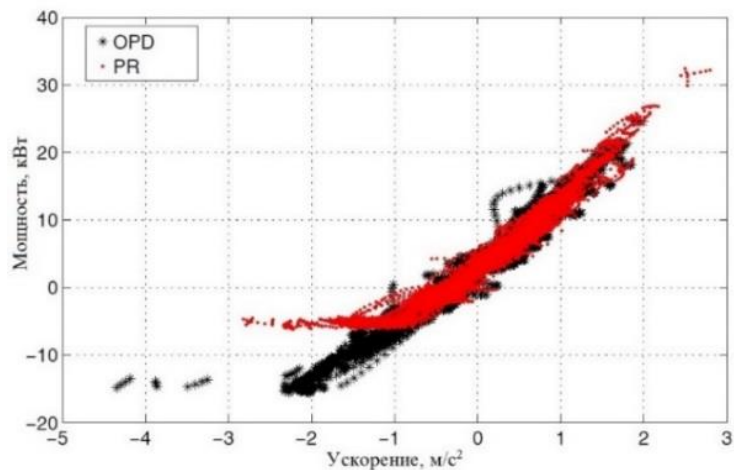


Рисунок 4 - Карта распределения ускорений и момента для «однопедального» режима управления

В [12] представлены исследования OPD режима управления тягой на специально разработанном компьютерном тренажере/симуляторе. Для чистоты эксперимента в число испытуемых были выбраны водители, ранее не управлявшие электрифицированными транспортными средствами. В результате, определено что в режиме OPD частота использования штатной гидравлической тормозной системы существенно сократилась, по сравнению с традиционным двухпедальным режимом управления, так как замедление, обеспечиваемое ТЭД в большинстве случаев, являлось достаточным. При этом почти половина водителей проехала маршрут ни разу не воспользовавшись педалью тормоза. В связи с этим, средний расход энергии ТАБ снизился за счет более частой работы ТЭД в режиме рекуперативного торможения. В [7] по результатам расчетов и экспериментальных исследований было так же определено, что количество энергии возвращенной в ТАБ в режиме рекуперации в режиме OPD для городского и загородного цикла движения составило 23 и 13% соответственно, и 14 и 9 % для двухпедального режима управления. Данные показатели объясняются представленным распределением рабочих точек мощности ТАБ в режиме заряда/разряда для этих двух режимов, на основе которого можно сделать вывод о том, что однопедальный режим управления OPD является наиболее энергоэффективным.

Кроме того, так же определено, что время нахождения ТС в режиме выбега при OPD режиме управления в процентном соотношении к общему времени в пути составило 6,6/8,6% (городской и загородный режим движения) и 0,9/1,2% для двухпедального. Полученный результат говорит о том, что однопедальное управление позволяет наиболее удобным образом осуществлять движение в режиме выбега, тем самым меньше расходуя энергию ТАБ.



OPD—однопедальный алгоритм; PR – двухпедальный алгоритм.

Рисунок 5 - Распределение мощностей ТАБ

Вопрос разработки такого алгоритма рассмотрены в [7, 13, 14]. В данных исследованиях приведена базовая методика расчета и построения карты распределений момента для педали акселератора. Однако ответа на вопрос, каким образом требуется распределять момент ТЭД при различных положениях педали акселератора и значениях скорости ТС в данных работах не представлено. В качестве дальнейшей работы, авторами данной статьи планируется разработать методику построения однопедального режима управления ТС в которой при различных значениях управляющего воздействия момент ТЭД будет распределен наиболее оптимальным образом с точки зрения расхода энергии ТАБ.

Заключение

Системы управления тяговым моментом современного ЭТС должны обеспечивать наиболее рациональный расход энергии ТАБ при этом оставаться достаточно простыми в освоении и понимании для водителя. В данной статье рассмотрены такие системы, позволяющие осуществлять энергоэффективное движение ЭТС. Наиболее популярным и часто предлагаемым решением является система, определяющая энергоэффективные скоростные профили на выбранном участке движения. Основным недостатком такой системы является невозможность водителем в ряде ситуаций постоянно следовать построенному скоростному профилю и соответственно расходовать энергию ТАБ менее эффективным способом. Именно поэтому требуются системы, позволяющие ограничивать управляющее воздействие на момент ТЭД в определенных рамках для обеспечения более оптимальных разгонов и торможений с точки зрения расхода энергии ТАБ, рывков при движении м/с³, и рабочих точек КПД ТЭД. В роли такого алгоритма управления может быть принята однопедальная OPD система управ-

ления моментом ТЭД, которая позволяет наиболее эффективно осуществлять рекуперативное торможения за счет уменьшения времени работы штатной тормозной системы.

Список использованной литературы

1. The strategy of creating urban electric vehicle: Challenges and solutions// Kamenev V.F., Terenchenko A.S., Karpukhin K.E., Kolbasov A.F. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2017, Vol. 8, Issue 12, p. 895-905.
2. Creation of operation algorithms for combined operation of anti-lock braking system (ABS) and electric machine included in the combined power plant// Bakhmutov, S.V., Ivanov, V.G., Karpukhin, K.E., Umnitsyn, A.A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, 012003.
3. A. Sciarretta, G. De Nunzio, L. Ojeda, "Optimal ecodriving control: Energy-efficient driving of road vehicles as an optimal control problem", IEEE Control Systems Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 71-90, Oct 2015.
4. Rios-Torres, J., Sauras-Perez, P., Alfaro, R., Taiber, J. et al., "Eco-Driving System for Energy Efficient Driving of an Electric Bus," SAE Int. J.Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 8(1):79-89, 2015.
5. Косицын, Б.Б. Метод определения энергоэффективного закона движения электробуса по городскому маршруту: дисс. ... канд.техн.наук/ МГТУ имени Н.Э. Баумана. – М., 2017 – 168 с.
6. D. Maamria, K. Gillet, G. Colin, Y. Chamailard, C. Nouillant, "On the use of Dynamic Programming in eco-driving cycle computation for electric vehicles", Proc. of Conference on Control Applications, pp. 1288-1293, 2016.
7. Jiquan Wang, Battery electric vehicle energy consumption modeling, testing and prediction: a practical case study. PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands, 2016.
8. L. Kang, H. Shen, A. Sarker, "Velocity optimization of pure electric vehicles with traffic dynamics consideration", Proc. of ICDCS, 2017.
9. X. Lin, D. Gorges, S. Liu, "Eco-driving assistance system for electric vehicles based on speed profile optimization", 2014 IEEE Conference on Control Applications CCA 2014, pp. 629-634, 2014.
10. Haahr, J.T.; Pisinger, D.; Sabbaghian, M. A dynamic programming approach for optimizing train speedprofiles with speed restrictions and passage points. Transp. Res. Part B Methodol. 2017, 99, 167–182.
11. E. Khmelnitsky, "On an optimal control problem of train operation", IEEE Trans. Autom. Control, vol. 45, no. 7, pp. 1257-1266, 2000.
12. M. Schmitz, C. Maag, M. Jagiellowicz, M. Hanig, "Impact of a combined accelerator-brake pedal solution on efficient driving", Intelligent Transport Systems IET, vol. 7, no. 2, pp. 203-209, 2013.

13. Wang, J., Besselink, I. J. M., van Boekel, J. J. P., & Nijmeijer, H. (2015). Evaluating the energy efficiency of a one pedal driving algorithm. 1-10. Paper presented at 2015 European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress (EEVC 2015), Brussels, Belgium.

14. Van Boekel, J.; Besselink, I.; Nijmeijer, H. Design and realization of a One-Pedal-Driving algorithm for the TU/e Lupo EL. World Electr. Veh. J. 2015, 7, 226-237.

УДК 621.431

**АНАЛИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА
В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

В.Н. Коноплев, З.Г.Мельников, А.С. Корзин, Н.А. Хрипач

***Аннотация.** В данной работе рассмотрены научные исследования и проведенные эксперименты по применению водорода на транспорте с целью повышения энергоэффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотранспортных средств (АТС). Рассматриваются модели с модулями, содержащими интерметаллические соединения TiFeV, удерживающих водород и установок электрохимического генератора водорода (электролизера) на борту АТС. Предлагаются технические мероприятия для упрощения компоновочно-конструкторской схемы систем хранения водорода.*

Ключевые слова: *системы регенерации энергии, электролизер, гидроксигаз, интерметаллические соединения, повышение эксплуатационной эффективности.*

Владимир Николаевич Коноплев - доцент, д.т.н., Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, тел. : +7-(495) 434-70-27, E-mail: rudn@rudn.ru, konoplev_vn@pfur.ru.

Захар Георгиевич Мельников - студент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, тел.: +7-(495) 434-70-27, E-mail: rudn@rudn.ru, mrzakkimiller@gmail.com.

Андрей Сергеевич Корзин - лаборант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования «Российский университет дружбы народов», 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, тел.: +7-(495) 434-70-27, E-mail: rudn@rudn.ru, andrewkorzin@yandex.ru.

Николай Анатольевич Хрипач – доцент, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет»; 107023, г. Москва, ул. Б.Семёновская, д. 38, тел.: +7 (495) 539-55-19, E-mail: info@minobrnauki.gov.ru.

В соответствии с пятым законом термодинамики преимущественное развитие получают те технические системы, которые имеют повышенное значение КПД. А с учетом требований настоящего времени еще и экологическую чистоту выхлопных газов энергетических установок. [1] Одним из наиболее перспективных направлений является производство на борту транспортного средства и применение водорода, а также химических газовых соединений на его основе в качестве топлива или добавки к топливно-воздушной смеси, подаваемой в камеры сгорания ДВС. Эффективность от применения водорода объясняется его высокой удельной теплотой сгорания (см. табл. 1) среди веществ, использующихся в качестве энергоносителей и применяющихся в настоящее время. Для сравнения, удельная теплота сгорания бензина и дизельного топлива составляет 42...44 МДж/кг, а метана 50 МДж/кг [2], то есть более, чем в два раза меньше, чем у водорода (см табл. 1). Такой показатель, как удельная теплота сгорания, влияет на удельный расход топлива и тем самым дает возможность увеличить коэффициент полезного действия ДВС. Помимо этого, водород является активатором снижения выбросов NO_x в составе отработавших газов, что немаловажно при современном ужесточении экологических стандартов, регулирующих содержание вредных веществ в составе отработавших газов (ОГ). Так, например, было установлено положительное влияние водорода на процессы окисления и выделения сажи в дизельных двигателях. Наличие водорода в зоне реакции и горения топливовоздушной смеси (ТВС) сопровождается окислительно-восстановительными реакциями азота [3]



Необходимо также отметить, что по результатам проведенных исследований [4] наряду со снижением выбросов NO_x при порционной добавке продуктов конверсии метанола ~10% (с содержанием водорода ~1,25%) в ТВС дизельного двигателя наблюдалось снижение содержания сажи в составе ОГ на 45% во всем диапазоне нагрузочных режимов. В связи с вышеизложенным, водород по праву можно считать одним из наиболее перспективных энергоносителей для масштабного ис-

пользования на транспортных средствах. Однако существует ряд проблем, к числу которых относятся следующие:

- Отсутствие развитой инфраструктуры для хранения водорода с целью дозаправки АТС, использующих его в качестве топлива;
- Относительно высокая стоимость производства чистого водорода;
- Неблагоприятное воздействие на окружающую среду производственных мощностей при получении чистого водорода ввиду использования технологии паровой конверсии природного газа или нефтяных фракций;
- Высокие требования по безопасности к техническому исполнению оборудования для перевозки, хранения под давлением или в связанном состоянии с интерметаллическими соединениями, подачи водорода в камеры сгорания ДВС.

Интересен опыт совместных испытаний ГАТС ЗИЛ-431410 оборудованный специальной системой питания, системой хранения водорода в металлгидридных аккумуляторах на основе интерметаллического соединения – $TiFeV$ и контрольно-измерительными приборами (рис. 1) для определения энергопотребления, скоростных свойств и эксплуатационных характеристик. Общая масса четырех модулей, заполненных и заправленных водородом, составляла 255 кг (без учета соединительной арматуры из элементов крепления аккумуляторов и массы автомобиля).

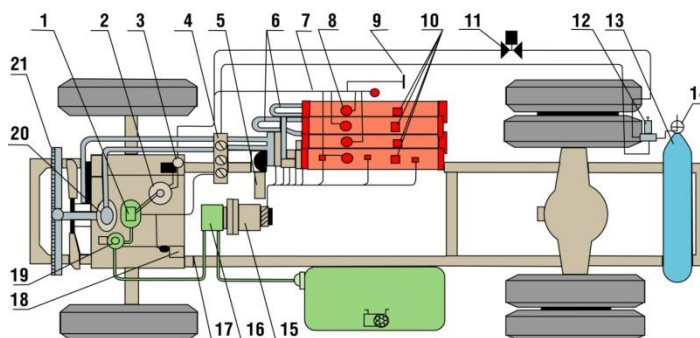
Установленная на автомобиле комбинированная система питания обеспечивала работу двигателя в 3-х режимах [1]:

- 1) без дозирования водорода;
- 2) с дозировкой водорода на режимах неполной нагрузки двигателя ($M < 0,65 M_{max}$);
- 3) с дозировкой водорода во всей рабочей смеси (от n_{xx} до M_{max}).

Система питания двигателя в режимах дозирования водорода обеспечивала работу двигателя с обедненными по бензину смесями $\alpha_B = 1,4-1,6$. При этом рабочая зона с удельными расходами не более 300 г/кВт·ч значительно расширилась – более чем в 3 раза (рис. 2).

Результаты испытаний (табл. 1) при движении автомобиля по городскому ездовому циклу (Гост 203016-91) показали, что за счет дозирования водорода в режимах неполной нагрузки двигателя, возможно, заменить до 8% бензина, а в случае дозирования водорода во всей рабочей области двигателя - до 17,2%. При этом использование тепловой энергии сокращается на 2,4 и 5,6%, соответственно. В случае движения автомобиля с постоянными скоростями экономия бензина за счет добавки водорода достигает 11-24% в зависимости от режимов дозирования водорода и скорости движения автомобиля. В случае движения автомобиля с $V_{CONST} = 80$ км/час и дозирования водорода на режимах неполной нагрузки наблюдалось возрастание использования суммарной энергии на 6,8%. Данное ухудшение эконо-

мичности двигателя объясняется неоптимальным законом управления электромагнитными клапанами подачи бензина и водорода. При движении автомобиля по ГЕЦ на 1 л бензина приходилось 0,18 м³ водорода, исходя из чего потребность в водороде на одну заправку бензобака (175л) составляет 31,5 м³. Определение возможности улучшения эффективности процесса горения за счет варьирования величины установочного угла опережения зажигания 9° и 15° было проведено на стенде с беговыми барабанами при имитации движения автомобиля с $V_{CONST}=60$ км/час. По результатам испытаний было отмечено, что увеличение установочного угла опережения зажигания позволяет сократить расход бензина и водорода на 4,9 и 13,0%, соответственно. Кроме того были получены данные (табл.2) [1], подтверждающие существенное снижение токсичности (от 17 до 96 %) выхлопных газов бензинового двигателя при дозировке в топливно-воздушную смесь водорода и увеличении нагрузки..



1 – Карбюратор – смеситель; 2 – водородный редуктор; 3 – электромагнитный клапан подачи водорода в редуктор; 4 – блок контрольных манометров; 5 – преобразователь напряжения; 6 – водоподводящие коллектора; 7 – водородоотводящий коллектор; 8 – водородные вентили; 9 – общий предохранительный клапан; 10 – предохранительные клапана гидридной системы; 11 – электромагнитный клапан водородного (мерного) баллона; 12 – редуктор высокого давления; 13 – баллон для хранения водорода под давлением 19,6 МПа; 14 – запорный вентиль; 15 – корпус прибора замера температур (ПЗТ); 16 – расходомер бензина; 17 – реле режимов подачи водорода; 18 – вакуумный датчик разрежения; 19 – бензонасос; 20 – байпас (система охлаждения двигателя); 21 – радиатор.

Рисунок 1 - Схема бензопроводной системы питания и контрольно-измерительных приборов грузового автомобиля ЗИЛ-431410

Замещение газобаллонного оборудования для хранения под давлением 20.0 МПа и системы дозировки водородного топлива или модулей с инертметаллическими соединениями на оборудование, способное произво-

диль водород на борту транспортного средства позволяет упростить конструкцию энергетической установки и снизить массу автотранспортного средства на 250 кг.

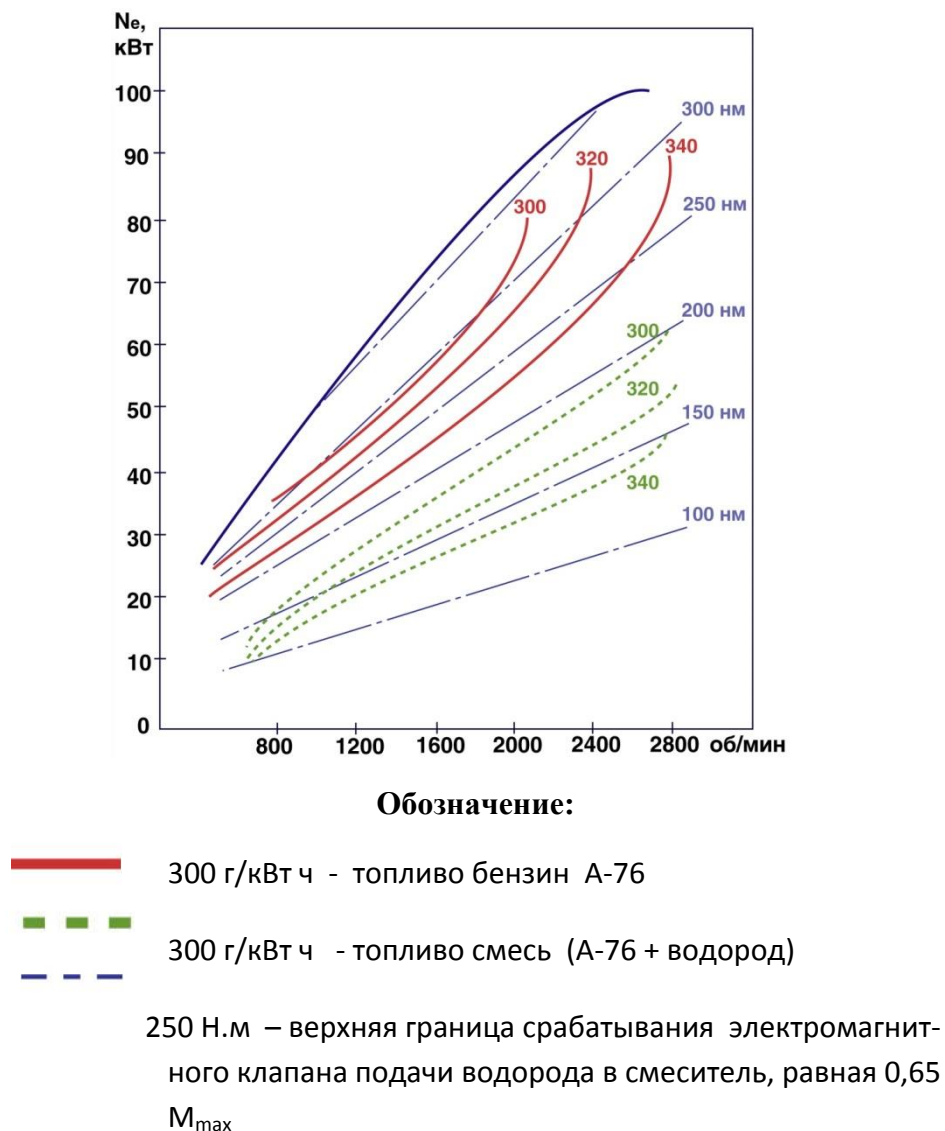


Рисунок 2 - Рабочее поле двигателя ЗИЛ-431410

Этим требованиям удовлетворяет метод производства водородной смеси посредством ее электрохимического преобразования. За счет протекания окислительно-восстановительных реакций на электродах, погруженных в электролит (вода или химический раствор), при прохождении через них постоянного электрического тока. При этом данный электрохимический процесс сопровождается выделением кислорода O_2 на аноде и водорода H_2 на катоде.

Таблица 1 - Используемая энергия топливных смесей при различных режимах движения грузового автомобиля ЗИЛ-431410*[1]

Режим движения	Топливо А-76, МДж	Бензоводородная смесь (А-76 + Н ₂)	
		Подача водорода на режимах неполной нагрузки двигателя, МДж ($M \leq 0,65 M_{max}$)	Подача водорода во всей рабочей области двигателя, МДж
ГЕЦ	1470,0	1434,0	1387,0
$V_{const} 40 \frac{км}{час}$	856,5	816,0	857,6
$V_{const} 60 \frac{км}{час}$	1035,5	926,0	974,0
$V_{const} 80 \frac{км}{час}$	1268,8	355,2	1120,4

* Примечание: При расчетах плотность бензина принята 0,727 кг/л; водорода – 0,09 кг/м³; низшая теплотворная способность бензина – 44,2 МДж/кг, водорода – 112,0 МДж/кг

Таблица 2 - Результаты сравнения выбросов токсичных компонентов ДВС при дозировке водорода по сравнению с работой ДВС на бензине А-76*[1]

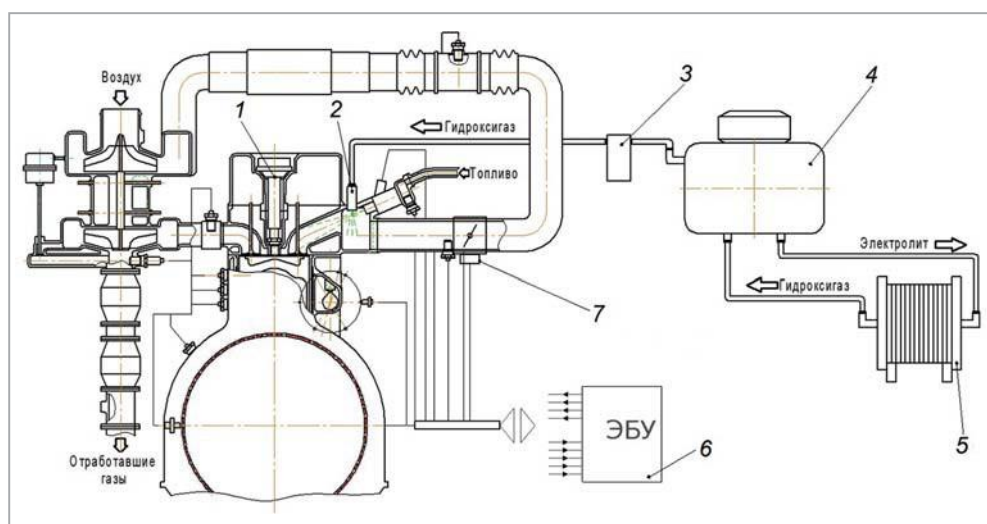
Режим нагрузки на барабанах стенда Р, кгс	Показатели токсичности	Степени изменения, %	
		V=15 км/час	V=45 км/час (Δ=30 км/ч)
162	СО, %	+82	+78
	СН, млн ⁻¹	-100	+17
	NO, млн ⁻¹	+89	+96
	NO _x , млн ⁻¹	+90	+96
	СО ₂ , %	+41	+43
192 (Δ=30 кгс)	СО, %	+86	+75
	СН, млн ⁻¹	-14	+20
	NO, млн ⁻¹	+86	+80
	NO _x , млн ⁻¹	+83	+80
	СО ₂ , %	+40	+41

+ - преимущество работы на Н₂

- - преимущество работы на бензине
- * Испытания на стенде с беговыми барабанами

Таким образом, на выходе мы имеем смесь газов в соотношении 2:1, то есть два моля водорода к одному молю кислорода. В целях обеспечения необходимой производительности (газовыделение) пластины разной полярности собираются в отдельные кассеты и соединяются последовательно, при этом учитываются их полярность, покрытие и габаритные размеры. Такое устройство в сборе и является электролизером (Рис. 3). Электролит для него представляет собой разбавленную высококонцентрированную щелочь (как правило, гидроксид натрия NaOH) в водном растворе. Вырабатываемый газ из электролизера 5 отводится через соединительную магистраль к резервуару с электролитом 4 и далее подается на фильтр тонкой очистки 3 (мембрана, поглощающая аэрозольную взвесь электролита). После этого газ поступает во впускной коллектор камеры сгорания ДВС через штуцер подачи газа 2.

Согласно экспериментальным исследованиям и анализа безопасности [4,5,6], использование электролизера с производительностью от 20 л/ч для двигателей с рабочим объемом 1,5...3,0 л при работе в городском цикле дало значительное снижение расхода топлива испытываемыми автомобилями от 25% и более.



1 - Модуль зажигания; 2 - штуцер подачи газа во впускной коллектор; 3 - фильтр тонкой отчистки газа; 4 - резервуар с электролитом; 5 -электролизер; 6-электронный блок управления; 7 - дроссельная заслонка.

Рисунок 3 - Схема установки электролизера и его компонентов в систему питания двигателя внутреннего сгорания

Кроме того необходимо отметить, что выработка водорода при помощи электролизера на борту транспортного средства – это энергозатратный процесс: для максимальной производительности электролизера (2...2,5 л/мин) на борту легкового автомобиля с рабочим объемом двигателя 1,5...2,5 л потребляемая мощность должна составить около 400 Вт электрической энергии (сила тока составит около 30 А) [2].

В связи с вышеизложенным по результатам использования водорода в топливных смесях ДВС можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные результаты на грузовых автомобилях и легковых подтвердили принципиальную возможность сокращения использования жидкого топлива, повышения энергоэффективности ДВС и снижение токсичности их выхлопных газов условиях крупного города за счет частичной добавки в бензиновую смесь водорода (так в режиме имитации городского ездового цикла энергопотребление сокращалось на 2,4 – 5,6 % при замещении бензина на 8-17%, токсичность выхлопных газов на установившихся режимах в стендовых условиях сокращалась по компонентам от 17-96 %)

2. Не внося существенных изменений в конструкцию АТС, можно добиться существенного снижения массы систем питания и хранения водорода на борту АТС за счет установки электролизера и его компонентов (см рис. 3)

При этом на транспортных средствах с электронным блоком управления двигателем необходима коррекция углов опережения зажигания и впрыска для различных режимов работы ДВС

Отсутствие больших емкостей для хранения водорода (гидроксигаз) существенно увеличивает безопасность использования АТС.

3. Выработка водорода при помощи электролизера на борту транспортного средства – это энергозатратный процесс (для максимальной производительности электролизера 1.0 л/мин на 1,0 л рабочего объема двигателя потребляемая мощность составляет около 400 Вт электрической энергии при силе тока около 30 А). В этой связи предлагается устанавливать на борту транспортного средства системы рекуперации энергии [3].

Список использованной литературы

1. Коноплев В.Н. // Научные основы проектирования автотранспортных средств, работающих на газомоторных топливах // диссертация на соискание докторской степени 2008г.
2. Овсянников Е.М., Гайтова Т.Б. и др// Устройство для производства и добавления водорода в топливовоздушную смесь двигателей внутреннего сгорания // «Транспорт на альтернативном топливе» №6 (54) 2016г.

3. Каменев В.Ф., Фомин В.М., Хрипач Н.А.// Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях // Альтернативная энергетика и экология – 2011- №7(27) – с 28-31.

4. Фомин В.М., Хахимов Р.Р., Шевченко Д.М. // Водород как химический реагент в кинетическом механизме образования углерода в дизеле // «Транспорт на альтернативном топливе» - 2011- №3(11) - с 10-13.

5. Konoplev V.N., Korzin A.S., Melnikov Z.G., Belitsky G.V.// Hydrogen Energy in the strategy of international energy consumption and its relationship with the perspective of the development of transport technologies. //IAA SciTech Forum 2018.

6. Konoplev V.N., Melnikov Z.G., Korzin A.S. //Analysis of the experience with hydrogen internal combustion engines of motor vehicles with the purpose of increasing theirior // Conference Series: Materials Science and Engineering.

УДК 519.218

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Н.И. Овчинникова, А.В. Косарева, В.В. Боннет

***Аннотация.** Для анализа уборочных процессов в сельском хозяйстве, реализуемых уборочно-транспортными системами (УТС), предложен математический аппарат теории полумарковских процессов. На его основе разработана простейшая полумарковская модель для стационарного режима функционирования системы, приводящей к финальным значениям вероятностей ее состояний. Полученная модель функционирования УТС апробирована на уборке картофеля с использованием картофелеуборочного комбайна КПК-2-01. Значения вероятностно-временных характеристик модели подтвердили правильность предложенного метода. Разработанная модель может найти применение в научной и практической деятельности при оценке эксплуатации уборочно-транспортных систем, изучении вопросов их надежности, разработке мероприятий по повышению эффективности их использования.*

Ключевые слова: *сельскохозяйственная уборочно-транспортная система, полумарковский случайный процесс, граф состояний системы, вероятности перехода системы из одного состояния в другое, финальные вероятности состояний системы.*

Наталья Ивановна Овчинникова - доктор технических наук, заведующая кафедрой Математики, тел.: 8(914)880-56-25, E-mail: nata54@bk.ru, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутский район, п. Молодежный, Иркутск, 664038, Россия.

Анна Викторовна Косарева - кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общепрофессиональных дисциплин, тел.: 8(914)944-42-28, E-mail: ankosar@mail.ru, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутский район, п. Молодежный, Иркутск, 664038, Россия

Вячеслав Владимирович Боннет - кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и физики, тел.: 8(914)8883113, E-mail: bonnet74@mail.ru, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутский район, п. Молодежный, Иркутск, 664038, Россия

Уборочный процесс в сельском хозяйстве (уборка зерновых и овощных культур, заготовка кормов и др.) в большинстве случаев осуществляется уборочно-транспортной системой (УТС), состоящей из уборочного агрегата и сопровождающего его транспортного средства [1]. На работоспособность такой системы воздействуют случайные факторы, обусловленные организационными, эксплуатационными, техническими, технологическими, природно-климатическими, человеческими и другими причинами. В связи с этим, система может находиться как в работоспособном, так и в неработоспособном состоянии из-за «отказа» одной из ее составляющих. Практика показывает, что наибольший вес имеет технико-технологическая группа событий, в которой УТС не может выполнять возложенные на нее функции. Время нахождения системы в каком-либо состоянии является непрерывной случайной величиной (НСВ), подчиняющейся какому-либо закону распределения с известной функцией распределения или плотностью вероятности. Поэтому для анализа функционирования подобных систем целесообразно применять вероятностно-статистический подход [2], в частности, использование теории марковских и полумарковских процессов.

Характерной особенностью марковского процесса с непрерывным временем является то, что в каждый конкретный момент времени дальнейший ход такого процесса обуславливается только его состоянием в этот момент и не зависит от характера течения процесса в предшествующие периоды (свойство «отсутствие последействия»). При этом распределение времени перехода из одного состояния системы в другое является экспоненциальным с параметром λ . В случае марковских процессов справедливы дифференциальные уравнения Колмогорова и системы алгебраических уравнений для предельных вероятностей состояний системы [3]. Большин-

ство реальных процессов характеризуется наличием последействия, что делает невозможным применение марковских моделей. Для системного анализа динамики широкого класса восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания на помощь исследователям приходят полумарковские модели, в которых распределение времени пребывания системы в любом из состояний представляет собой произвольную функцию распределения, отличную от функции распределения экспоненциального закона распределения. В учебно-научной литературе [4, 5, 6] применяется также термин «вложенный марковский процесс» (ВМП). Смысл этого термина состоит в том, что Марковский процесс перехода между состояниями системы происходит внутри другого, немарковского процесса, в который вложен другой процесс. Поэтому обоснование применения математического аппарата полумарковских процессов для оценки функционирования сложных систем, включая и сельскохозяйственные уборочно-транспортные системы, представляется весьма актуальным.

Рассматриваемая уборочно-транспортная система одновременно может находиться в одном и только в одном состоянии $S_i = S_1, S_2, \dots, S_n$. Пусть в начальный момент времени t_0 уборочно-транспортная система находится в одном из возможных состояний S_i и проводит в нем случайное время T_{ik} , и в момент времени t_k система мгновенно переходит в новое состояние S_k с вероятностью p_{ik} . В состоянии S_k система пребывает случайное время T_{k2} , затем с вероятностью p_{k2} переходит в состояние S_2 и так далее (рис. 1).

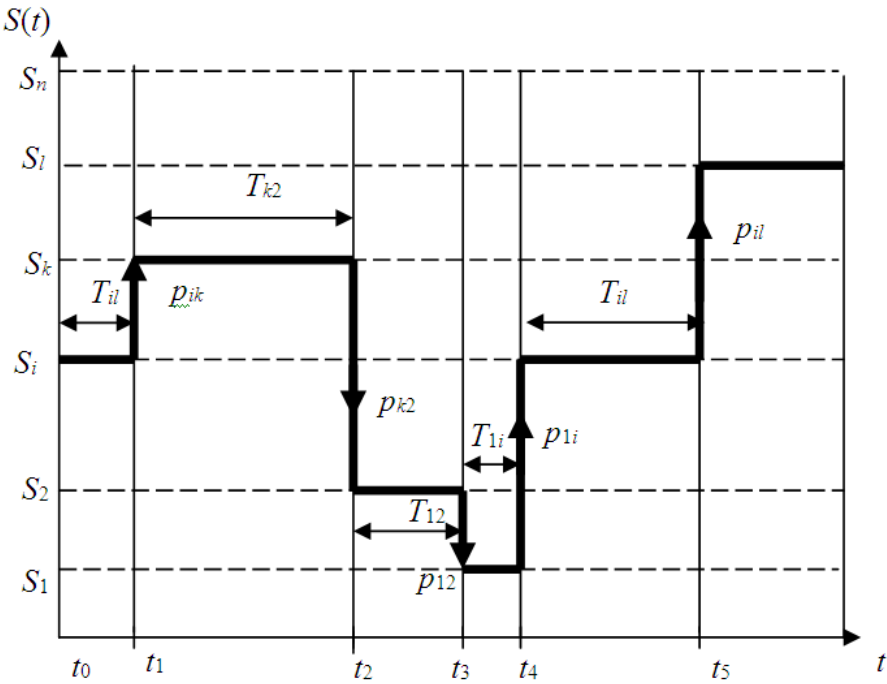


Рисунок 1 - Временная диаграмма визуализации полумарковского процесса уборки урожая

Если длина каждой ступеньки, изображающей время пребывания системы в состоянии, будет случайной величиной с произвольной функцией распределения, то мы получим реализацию полумарковского процесса. Таким образом, можно выделить два основных свойства полумарковского процесса [5]:

- переходы между состояниями являются марковскими как для марковской цепи;
- распределение времени нахождения в любом из состояний является произвольным с функцией времени (кроме экспоненциальной), в том числе она может быть постоянной величиной.

Так как использование полумарковских моделей затруднено в случае большого числа состояний системы, остановимся сначала на трех состояниях: S_0 - безотказная работа УТС, S_1 – неработоспособное состояние системы из-за возникновения отказа уборочного агрегата по технико-технологической причине, S_2 – неработоспособное состояние системы из-за отказа транспортного средства или его ожидания. Граф состояний рассматриваемой системы представлен на **рис. 2**. Вероятности p_{ij} перехода из состояния i в состояние j в момент скачка характеризуют “марковскую” часть рассматриваемого полумарковского процесса, смысл которых заключается в том, что после n -го шага УТС окажется в S_j состоянии, если до этого она находилась в состоянии S_i .

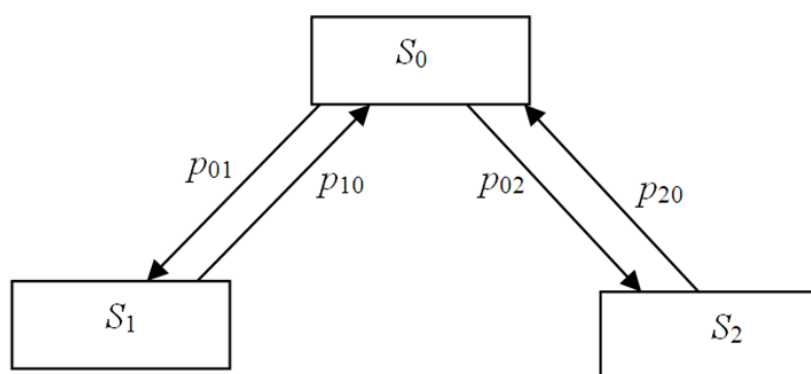


Рисунок 2 - Граф состояний и переходов сельскохозяйственной уборочно-транспортной системы

Матрица переходных вероятностей имеет вид

$$S_0 \quad S_1 \quad S_2$$

$$P = \{p_{ij}\} = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & p_{01} & p_{02} \\ p_{10} & 0 & 0 \\ p_{20} & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Сумма вероятностей каждой строки матрицы (1) должна быть равна единице, т.е. выполняется условие

$$\sum_{i=1}^n p_{ij} = 1. \quad (2)$$

На практике p_{ij} вычисляются как доля времени при возникновении технико-технологических отказов в общей совокупности времени отказов различных типов на основе физической сущности сельскохозяйственного уборочного процесса с использованием статистических данных. Каждому ненулевому элементу p_{ij} матрицы (1) вероятностей перехода сопоставляется случайная величина T_{ij} – время пребывания системы в состоянии S_i (при условии, что следующим состоянием системы будет состояние S_j). Данной величине соответствует условная функция распределения $Q_{ij}(t)$ (вероятность того, что время пребывания в состоянии i не превосходит t) или условная плотность распределения $f_{ij}(t) = Q'_{ij}(t)$. Зададим матрицу (3) $Q(t) = \{Q_{ij}(t)\}$ условных функций распределения времени пребывания системы в i -том состоянии перед переходом в j -е состояние. Аналитический вид функций распределения $Q_{ij}(t)$ можно определять статистическим путем за счет выдвижения и проверки статистических гипотез о видах законов распределения [7].

$$Q(t) = \{Q_{ij}\} = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & Q_{01} & Q_{02} \\ Q_{10} & 0 & 0 \\ Q_{20} & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Теоретические исследования и анализ функционирования некоторых технических систем [5, 8, 9] показывают, что при выборе независимых функций распределения $Q_{ij}(t)$ наиболее часто используют функции вида

$$\begin{aligned} Q_{ij} &= 1 - e^{-\lambda_i t}, \\ Q_{ij} &= 1 - (1 + q_i t) e^{-q_i t}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$Q_{ij} = \begin{cases} 0, t < 0 \\ \frac{t}{T_i}, t < T_i \\ 1, t \geq T_i \end{cases},$$

где λ_i – параметр экспоненциального распределения;
 q_i – параметр закона Эрланга;
 t, T_i – временные характеристики состояний системы.

Согласно теоремам умножения и сложения вероятностей безусловная функция распределения и плотность вероятности общего времени ожидания системы в состоянии S_i будут иметь вид

$$F_i(t) = P(t_i < t) = \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot Q_{ij}(t), \quad (5)$$

$$f_i(t) = \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot Q'_{ij}(t). \quad (6)$$

Предельные значения переходных вероятностей $p_{ij}(t)$ системы вложенного марковского процесса за время не более t определяются по формуле [6]

$$P_{ij} = \lim_{t \rightarrow T} p_{ij} = \int_0^t \prod_{k \neq j} [1 - Q_{1k}(t)] dQ_{ij}(t) = \int_0^t \prod [1 - Q_{1k}(t)] \cdot Q'_{ij}(t) dt. \quad (7)$$

Математическое ожидание времени пребывания УТС в i -ом состоянии требует учета безусловной функции распределения или независимых функций $Q_{ij}(t)$ распределения времени пребывания системы в состоянии i перед переходом в j -е состояние и определяется выражением [5]

$$\bar{t}_i = \int_0^t [1 - F_i(t)] dt = \int_0^t \prod [1 - Q_{ij}(t)] dt. \quad (8)$$

Важной характеристикой полумарковского процесса являются предельные значения вероятностей π_i состояний системы вложенного марковского процесса, определяемые из системы алгебраических уравнений, которая составляется по матричному уравнению

$$\pi = \pi^T \cdot P, \quad (9)$$

где π - матрица-столбец, элементами которой являются вероятности стационарного (устоявшегося) режима функционирования системы,
 π^T - транспонированная ей матрица-строка;
 P - матрица предельных переходных вероятностей УТС.

Согласно правилу умножения матриц [10] матричное уравнение (9), дополненное нормировочным условием, запишется в виде системы

$$\begin{cases} \pi_i = \sum_j \pi_j P_{ji}, \\ \sum_{i=1}^n \pi_i = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Эта система линейных алгебраических уравнений является линейно зависимой. Исключая одно из уравнений (оно вытекает как следствие из остальных) и, применяя метод последовательных подстановок, получают значения финальных вероятностей π_i вложенного марковского процесса.

Для нашего случая система (10) примет вид

$$\begin{cases} \pi_0 = P_{10}\pi_1 + P_{20}\pi_2, \\ \pi_1 = P_{01}\pi_0, \\ \pi_2 = P_{02}\pi_0, \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \pi_0 = \frac{P_{20}}{1 + P_{20} + P_{20}P_{01} - P_{10}P_{01}}, \\ \pi_1 = \frac{P_{20}P_{01}}{1 + P_{20} + P_{20}P_{01} - P_{10}P_{01}}, \\ \pi_2 = \frac{1 - P_{10}P_{01}}{1 + P_{20} + P_{20}P_{01} - P_{10}P_{01}}. \end{cases} \quad (11)$$

Для полумарковского процесса в целом предельные (финальные) вероятности P_i состояний уборочно-транспортной системы определяются из выражения

$$P_i = \pi_i \cdot \bar{t}_i \left(\sum_{j=1}^n \pi_j \cdot \bar{t}_j \right)^{-1}, \quad (12)$$

где \bar{t}_i - среднее время нахождения системы в i -ом состоянии.

Учитывая, что $P_{10} = P_{20} = 1$, формулы (11) упростятся

$$\begin{cases} \pi_0 = 0,5, \\ \pi_1 = 0,5P_{01}, \\ \pi_2 = 0,5(1 - P_{01}). \end{cases} \quad (13)$$

Для нахождения числовых значений величин π_i необходимо найти P_{01} . Пусть независимая функция распределения Q_{01} времени пребывания УТС в работоспособном состоянии S_0 перед переходом в неработоспособное состояние S_1 из-за возникновения отказа уборочного агрегата задается по формуле

$$Q_{01} = 1 - (1 + q_1 t) e^{-q_1 t},$$

где q_1 – параметр закона Эрланга. Учитывая, что

$$Q'_{01} = \left[1 - (1 + q_1 t) e^{-q_1 t} \right]' = q_1^2 t e^{-q_1 t},$$

применим формулу (7), проинтегрируем по частям дважды и вычислим определенный интеграл по формуле Ньютона-Лейбница [11]. Опуская подробные выкладки, предельная переходная вероятность P_{01} будет иметь вид

$$\begin{aligned} P_{01} &= \int_0^{t_{\text{вк}}} \left[1 - (1 + q_1 t) e^{-q_1 t} \right] \cdot q_1^2 t e^{-q_1 t} dt = q_1^2 \int_0^{t_{\text{вк}}} (t + q_1 t^2) e^{-2q_1 t} dt = \\ &= \frac{3}{4} - e^{-2q_1 t_{\text{вк}}} \left(\frac{1}{2} q_1^2 t_{\text{вк}}^2 + q_1 t_{\text{вк}} + \frac{3}{4} \right), \end{aligned}$$

где $t_{\text{вк}}$ – среднее время восстановления уборочного комбайна.

Для подсчета числового значения P_{01} воспользуемся статистическими данными, полученными на уборке картофеля при использовании уборочно-транспортной системы в виде комбайна КПК-2-01 и трактора МТЗ-80 [12], т.е. $P_{01}=0,75$. Тогда значения финальных вероятностей π_i вложенного марковского процесса определяются по формулам (13)

$$\pi_0 = 0,5, \quad \pi_1 = 0,375, \quad \pi_2 = 0,125.$$

Окончательно, предельные (финальные) вероятности P_i состояний уборочно-транспортной системы в стационарном режиме функционирования на уборке картофеля будут равны

$$P_0 = \frac{\pi_0 \cdot \bar{t}_0}{\pi_0 \cdot \bar{t}_0 + \pi_1 \cdot \bar{t}_1 + \pi_2 \cdot \bar{t}_2} = 0,614, \quad P_1 = \frac{\pi_1 \cdot \bar{t}_1}{\pi_0 \cdot \bar{t}_0 + \pi_1 \cdot \bar{t}_1 + \pi_2 \cdot \bar{t}_2} = 0,289,$$

$$7. \quad P_2 = \frac{\pi_2 \cdot \bar{t}_2}{\pi_0 \cdot \bar{t}_0 + \pi_1 \cdot \bar{t}_1 + \pi_2 \cdot \bar{t}_2} = 0,095.$$

8.

Полученные результаты указывают на то, что разработанная полумарковская модель (11), (12) может быть использована для нахождения вероятностно-временных показателей уборочных процессов в сельском хозяйстве. Значения финальных вероятностей, вычисленные по статистическим данным комбайновой уборки картофеля с КПК-2-01, соответствуют действительности и удовлетворяют нормировочному условию $\sum_{i=1}^n P_i \approx 1$.

Любой сельскохозяйственный уборочный процесс с транспортным обеспечением целесообразно описывать с помощью теории полумарковских процессов в силу наличия последствия, когда состояния уборочно-транспортной системы зависят от характера течения процесса в предшествовавшие периоды. Используемый подход в построении модели функционирования УТС в стационарном режиме обладает широкой универсальностью. Изменяя граф состояний системы и, используя известные законы распределения временных интервалов в потоках восстановления ее работоспособности, можно получать более сложные модели. Значения выходных вероятностно-временных показателей моделей позволят проводить более точный анализ установившегося режима выполнения сельскохозяйственных уборочных работ, разрабатывать соответствующие мероприятия по их усовершенствованию, а также осуществлять расчеты параметров надежности уборочно-транспортных систем.

Список использованной литературы

1. Овчинникова Н.И., Косарева А.В. Композиционный метод оценки времени между отказами сельскохозяйственной уборочно-транспортной системы// Вестник ИрГТУ. 2018 т. 22 № 10. С. 46-55.

2. Овчинникова Н.И., Быкова М.А., Косарева А.В. Вероятностно-статистическая модель кормоуборочной технологической системы// Вестник ИрГСХА. 2017. вып. 81 (2). С.84-89

3. Каштанов В.А. Элементы теории случайных процессов. Учебное пособие/ М.: МИЭМ, 2010. 113 с.

4. [Каштанов В.А.](#) Стратегия технического обслуживания на основе полумарковских процессов с конечным множеством состояний // [Надежность и качество сложных систем](#). 2013. № 1. С. 41-46.

5. Ицкович А.А., Кабков П.К. Вероятностно-статистические модели эксплуатации летательных аппаратов. Ч. 2. / М.: МГТУ ГА, 2011. 87 с.

6. Курочкин В.Н. Научно-методические основы эффективности и надежности функционирования технологических систем машинноиспользования. / Зеленоград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2010. 510 с.

7. Мищенко В.И. Анализ подходов к моделированию процесса эксплуатации сложных технических систем // Вестник академии военных наук. 2002. № 3–4. С. 34–38.

8. Grabski F. Applications of semi-Markov processes in reliability // RTA №3-4. 2007. December-Special Issue. p. 66-75.

9. Grabski F. Semi-Markov failure rates processes // Applied Mathematics and Computation. 217 (2011). p. 9956-9965.

10. Бортаковский А.С., А. В. Пантелеев. Линейная алгебра в примерах и задачах: учебное пособие: рекомендовано УМО вузов РФ / М.: ИНФРА. Изд 3-е., 2017. 592 с.

11. Шипачев В.С. Высшая математика: учеб. пособие для вузов / под ред. А. Н. Тихонова, М.: Юрайт. 2011. 447 с.

12. Боннет В.В. Влияние технического состояния картофелеуборочного комбайна на надежность и экономичность функционирования технологического процесса (на примере КПК-2-01): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. / Новосибирск: СибИМЭ, 2001. 198 с.

УДК 629.027

МЕХАНИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА С БАРАБАНОМ

А.Н. Мамаев, Т.А. Балабина, И.В. Одиноква, В.В. Гаевский

Аннотация. *В настоящее время оценка сопротивления качению автомобильных шин, как и определение коэффициента сопротивления боковому уводу, часто выполняется на барабанных стендах.*

Также все большее распространение приобретают испытания автомобилей на барабанных стендах различной конструкции: с разным числом барабанов, их расположения и видом привода.

Однако в литературе отсутствуют работы, рассматривающие механику взаимодействия эластичного колеса с барабаном и определяющие его кинематические и силовые характеристики.

Данная работа нацелена на устранение этого пробела.

В работе рассматриваются общие вопросы механики качения колеса по барабану с учетом фрикционного взаимодействия пары «колесо-

барабан», в том числе определяется сопротивление качению, обусловленное гистерезисными потерями в материале колеса, тангенциальная сила, действующая в контакте, момент на колесе, мощность потерь на трение в контакте, координата участков сцепления и скольжения в контакте колеса с барабаном, относительная потеря скорости (проскальзывание) колеса, взаимодействие колеса с двумя барабанами.

Ключевые слова: *колесо, барабан, сопротивление, трение, контакт, мощность, сила, гистерезис.*

Алексей Николаевич Мамаев - профессор, к.т.н., Московский политехнический университет, Москва, ул. Б. Семеновская, 38.

Татьяна Александровна Балабина - доцент, к.т.н., Московский политехнический университет, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38, E-mail: balabinata@gmail.com, mamist-man@rambler.ru.

Ирина Вячеславовна Одинокова - доцент, к.т.н., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Ленинградский проспект, д. 64, E-mail: Odinokova_iv@mail.ru.

Виталий Валентинович Гаевский - профессор, д.т.н., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Ленинградский проспект, 64, E-mail: vit-life@rambler.ru.

Введение

В настоящее время вопросы, связанные с механикой качения колеса по плоской поверхности рассмотрены достаточно широко. Однако процесс качения колеса по барабану остается малоизученным, хотя это и требует пристального изучения, так как в настоящее время широко применяются как испытания шин, так и обкаточные и исследовательские испытания автомобилей на барабанных стендах. Это обуславливает необходимость получения зависимостей, определяющих силы в контакте колеса с барабаном, потери мощности на трение в контакте, проскальзывание колеса и так далее.

Основная часть

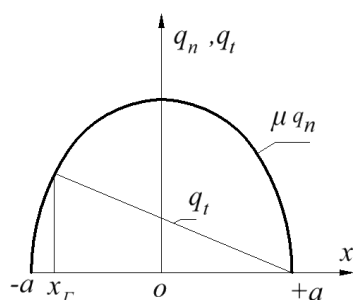
Механика качения эластичного колеса по барабану такая же, как и при качении колеса по плоской жесткой опорной поверхности.

При качении ведомого колеса, нагруженного только нормальной нагрузкой, вследствие несовершенной упругости материала имеют место потери на внутреннее трение в материале колеса (гистерезис), которые обуславливают возникновение момента сопротивления M_f и появление силы сопротивления качению F_f - продольной касательной силы, действующей в контакте колеса с основанием в направлении, противоположном

движению колеса. Подобная сила сопротивления качению возникает и у тормозного колеса, нагруженного, в сравнении с ведомым колесом, дополнительным тормозным моментом M_T . Наличие этой силы приводит к проскальзыванию элементов его беговой дорожки относительно основания в зоне контакта и к потере угловой скорости колеса.

При качении ведущего колеса, движение которого происходит под действием крутящего момента M_k , в контакте возникает ведущая (тяговая) сила, направленная по ходу колеса. Как и в предыдущем случае, эта сила вызывает проскальзывание элементов беговой дорожки колеса в зоне контакта с основанием и к потере линейной скорости оси колеса.

Механизм возникновения скольжения элементов поверхности колеса относительно основания подробно рассмотрен в работах [1,2,3,4,5]. С использование схемы обращенного механизма «упругое колесо – жесткое основание», на основе теории предварительного смещения им показано, что при установившемся качении вступающие в зону контакта элементы поверхности колеса, не будучи ещё “подготовленными” к восприятию касательной силы и в то же время прижатые к основанию нормальной силой, начинают движение без скольжения, получая при этом тангенциальные смещения (направленные противоположно качению для тормозного и ведомого колес, и по направлению качения – для ведущего колеса). По мере перемещения сцепленных элементов колеса и основания в обращенном механизме в зоне контакта их тангенциальные смещения нарастают, следовательно, нарастает и действующая между сцепленными элементами касательная сила трения. В том месте контакта, где возросшая сила трения достигает предельной по сцеплению, происходит срыв и на всей части контакта, расположенной за точкой срыва (координата x_T на рис. 1), вне зависимости от того, находится ли она в зоне убывающих или возрастающих нормальных давлений, происходит скольжение.



x_T – Координата границы участков сцепления и скольжения,
 a – полудлина площадки контакта.

Рисунок 1 - Нормальные q_n и тангенциальные q_t напряжения
 контакте колеса с барабаном

С увеличением потери скорости колеса и соответствующим увеличением действующей в контакте касательной силы, увеличивается зона скольжения, а также мощность потерь на трение в контакте, характеризующая интенсивность износа беговой дорожки и частично – сопротивление качению колеса.

Сопротивление качению ведомого колеса, как уже отмечалось, определяется моментом сопротивления качению, обусловленным гистерезисными потерями в материале колеса. Величину этого момента удобнее определять [6] через мощность гистерезисных потерь $M_T = P_T / \omega_k$.

Для определения мощности потерь на гистерезис в материале эластичного колеса, катящегося по жесткому барабану будем учитывать лишь нормальную деформацию колеса, которую можно представить в виде суммы слагаемых (рис.2): $W = W' + W''$.

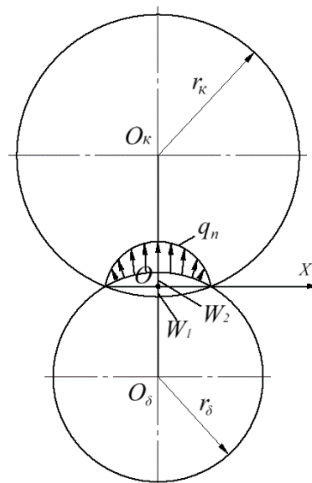


Рисунок 2 - Нормальные напряжения q_n и прогиб w при прижатии колеса к барабану

Так как

$$W' = \frac{a^2 - x^2}{2r} \quad \text{и} \quad W'' = \frac{a^2 - x^2}{2r_d},$$

то

$$W = \frac{a^2 - x^2}{2} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_d} \right) \quad (1)$$

Потери мощности на гистерезис можно найти, используя следующую зависимость

$$P_{\Gamma} = \beta_{\Gamma} \int_0^a q_n \left| \frac{dW}{dt} \right| dx 2b \quad (2)$$

где β_{Γ} - коэффициент гистерезисных потерь;
 dW/dt - скорость деформирования колеса

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dW}{dx} V_{\text{окр.}} = \frac{dW}{dx} \omega_k r \quad (3)$$

Здесь координата x лежит на оси ОХ (рис.2); $\frac{dx}{dt} = V_{\text{окр.}} = \omega_k r$ - так как изменение нормальной деформации dW/dt по мере перемещения элемента беговой дорожки колеса вглубь контакта, происходит со скоростью, равной окружной скорости колеса.

С учетом (1)

$$\frac{dW}{dt} = -x \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_{\delta}} \right) \omega_k r \quad (4)$$

В результате,

$$P_{\Gamma} = \frac{3}{16} \beta_{\Gamma} F_n a \omega_k r \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_{\delta}} \right) \quad (5)$$

При найденной зависимости для P_{Γ} момент от гистерезиса в материале шины может быть представлен в виде

$$M_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{\omega_k} = \frac{3}{16} \beta_{\Gamma} a F_n \left(1 + \frac{r}{r_{\delta}} \right) \quad (6)$$

Тогда плечо сдвига нормальной реакции барабана будет равно

$$h_0 = \frac{M_{\Gamma}}{F_n} = \frac{3}{16} \beta_{\Gamma} a \left(1 + \frac{r}{r_{\delta}} \right) \quad (7)$$

Согласно [4,5]

$$3\beta_{\Gamma} a^{nn} / 16 = f_0 r_k^c \approx f_0 r.$$

Тогда

$$h_0 = f_0 r \left(1 + \frac{r}{r_\delta}\right) \frac{a}{a^{nn}} \quad (8)$$

Здесь a^{nn} - полудлина контакта колеса с плоской жесткой опорной поверхностью при той же нагрузке F_n .

Зная плечо h_0 , можно найти зависимость для касательной силы (она же сила сопротивления качению ведомого колеса), обусловленной гистерезисом

$$F_{\tau_0} = F_n f_0 \left(1 + \frac{r}{r_\delta}\right) \frac{a}{a^{nn}} \quad (9)$$

Так как отношение силы сопротивления качению к нормальной силе $F_{\tau_0} / F_n = f_0^\delta$ есть коэффициент сопротивления качению колеса, то для рассматриваемого случая качения эластичного колеса по жесткому барабану

$$f_0^\delta = f_0 \left(\frac{r}{r_\delta} + 1\right) \frac{a}{a^{nn}} \quad (10)$$

При $r_\delta \rightarrow \infty$ зависимости (6), (9), (10) приводят к выражениям, выведенным для случая качения эластичного колеса по плоской жесткой опорной поверхности. Сравнение этих выражений с вышеуказанными зависимостями приводит к заключению, что как момент от гистерезиса, так и сила, и коэффициент сопротивления качению ведомого эластичного колеса по жесткому барабану, обусловленные гистерезисом, возрастают в $a(1+r/r_\delta)/a^{nn}$ раз по сравнению с качением того же колеса по плоской жесткой поверхности.

Увеличение сопротивления качению по барабану приводит к различию коэффициентов сопротивления боковому уводу, определяемых на барабане и при движении колеса по плоской опорной поверхности.

При использовании коэффициентов сопротивления боковому уводу и сопротивления качению, полученных экспериментально на барабанном стенде, для случая движения колеса по плоской опорной поверхности, следует вводить соответствующие поправочные коэффициенты.

Тангенциальные смещения точек беговой дорожки в зоне контакта, обусловленные реализацией касательной силы в контакте, определяются [1...5] зависимостью

$$U = (a - x) \left(\frac{\omega_k r_k^c}{V} - 1\right) \quad (11)$$

Применительно к качению колеса по жесткому барабану $V=V_{\delta}=\omega_{\delta}r_{\delta}$ где ω_{δ} и r_{δ} - угловая скорость и радиус барабана. В результате тангенциальные смещения точек поверхности эластичного колеса, обусловленные реализацией в контакте с барабаном касательной силы, на участке сцепления могут быть представлены выражением

$$U = (a - x)\left(\frac{\omega_k r_k^c}{\omega_{\delta} r_{\delta}} - 1\right) = \xi(a - x) \quad (12)$$

где $\xi = \frac{\omega_k r_k^c}{\omega_{\delta} r_{\delta}} - 1$ - относительная разность скоростей. (13)

При известной величине ξ отношение угловых скоростей колеса и барабана будет равно

$$\frac{\omega_k}{\omega_{\delta}} = (1 + \xi) \frac{r_{\delta}}{r_k^c} \quad (14)$$

Исходя из пропорциональности тангенциальных напряжений (удельных касательных сил) тангенциальным смещениям можем написать, что тангенциальные напряжения, обусловленные реализацией касательной силы в контакте, равны

$$q_t = \lambda U = \lambda \xi (a - x), \quad (15)$$

где λ - коэффициент тангенциальной жесткости колеса, определяемый [1] как

$$\lambda = \lambda_k \frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + r} = \frac{1.5qr}{a^3} \frac{1}{1 + r / r_{\delta}} \quad (16)$$

При параболическом законе распределение нормальных давлений по длине площадки контакта координата границы участков сцепления и скольжения (рис.1), определяемая из равенства $q_t = \mu q_n$, может быть представлена зависимостью [1,2,3]

$$x_{\Gamma} = -a \pm \frac{\lambda \xi}{\mu q_{n_0}} \quad (17)$$

Момент на барабане, обусловленный действием касательной силы, равен:

$$M_t = 2b \int_{-a}^{x_\Gamma} r_\delta q_t^{ck} dx + 2b \int_{x_\Gamma}^{+a} r_\delta q_t dx = \left[2b \int_{-a}^{x_\Gamma} q_t^{ck} dx + 2b \int_{x_\Gamma}^{+a} q_t dx \right] r_\delta = F_t r_\delta \quad (18)$$

Величину в квадратных скобках, равную алгебраической сумме всех удельных касательных сил в контакте, назовем окружной силой тяги

$$F_t = 2b \left[\frac{\lambda \xi}{2} (a - x_\Gamma)^2 \pm \frac{1}{3} \mu q_{n_0} (2a^3 + 3a^2 x_\Gamma - x_\Gamma^3) \right] \quad (19)$$

Подставляя в (19) выражение $\lambda \xi = \pm \mu q_{n_0} (a + x_\Gamma)$, полученное из (17), после преобразований приходим к уравнению, решение которого дает зависимость для нахождения координаты границы участков сцепления и скольжения

$$x_\Gamma = a \left(1 - 2 \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right) \quad (20)$$

В результате

$$\xi = \frac{\pm 1}{\lambda} 2 \mu q_{n_0} \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right) \quad (21)$$

или, с учетом выражений для q_{n_0} , [1...5], (12) и (16)

$$\xi = \pm \frac{\mu a}{s} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_\delta} \right) \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right) \quad (22)$$

Последнее выражение, если не учитывать коэффициент насыщенности рисунка беговой дорожки s (для колеса без рисунка беговой дорожки $s=1$), совпадает с аналогичной формулой, полученной Г.Фроммом [9,10] (различие заключается лишь в степени радикала: у Г.Фромма - корень квадратный), а затем Р.В.Виравовым [1] для фрикционной передачи, состоящей из двух цилиндров.

При известной зависимости для ξ отношение угловых скоростей эластичного колеса и жесткого барабана в функции реализуемой в контакте силы тяги F_t и нормальной нагрузки в соответствии с формулами (4), (12) и (13), может быть представлено, как

$$\begin{aligned} \frac{\omega_k}{\omega_\delta} &= \frac{r_\delta}{r_k^c} \left[1 \pm \frac{2\mu q_{n_0}}{\lambda} \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right) \right] = \\ &= \frac{r_\delta}{r} \left[1 \pm \frac{\mu a}{s} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_\delta} \right) \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right) \right] \end{aligned} \quad (23)$$

При малых (по сравнению с предельной по сцеплению $F_t^{nped.} = \mu F_z$) касательных силах последние формулы могут быть упрощены, если выражение $\sqrt[3]{1 - F_t / \mu F_z}$ разложить в степенной ряд, отбросив затем величины второго порядка малости

$$x_T = a \left(-1 + \frac{2}{3} \frac{F_t}{\mu F_z} \right) \quad (24)$$

$$\xi = \frac{a}{3s} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_\delta} \right) \frac{F_t}{F_z} \quad (25)$$

$$\frac{\omega_k}{\omega_\delta} = \frac{r_\delta}{r} \left[1 - \frac{a}{3s} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_\delta} \right) \frac{F_t}{F_z} \right] \quad (26)$$

В последних выражениях сила F_t положительна для ведущего колеса и отрицательна для ведомого и тормозного.

Потери мощности на трение в контакте эластичного колеса с жестким барабаном, обусловленные реализацией в контакте силы тяги, определяются по такой же зависимости, как и для случая качения колеса по плоской опорной поверхности

$$P_{mp.} = F_t \xi V = F_t \xi \omega_\delta r_\delta \quad (27)$$

Точка приложения результирующей касательной силы в контакте (рис.3) находится из зависимости [7]

$$x_{F_t} = a \left(1 - \frac{\mu F_z}{F_t} \right) \left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{F_t}{\mu F_z}} \right), \quad (28)$$

которую при малых по сравнению с предельной по сцеплению касательных силах можно представить в упрощенном виде, если разложить $\sqrt[3]{1 - F_t / \mu F_z}$ в степенной ряд

$$x_{F_t} = a \left(1 - \frac{\mu F_z}{F_t} \right) \frac{F_t}{3\mu F_z} = \frac{a}{3} \left(\frac{F_t}{\mu F_z} - 1 \right) \quad (29)$$

Плечо действия касательной силы относительно центра колеса находится из геометрических соображений (рис.3)

$$h_{\tau} = O_{\delta}O_k \cos \alpha_{\tau} - r_{\delta} = (r_{\delta} + r_{\delta}) \cos \alpha_{\tau} - r_{\delta}, \quad (30)$$

где угол

$$\alpha_{\tau} = x_{F_{\tau}} / r_{\delta} \quad (31)$$

После преобразований получаем

$$h_{\tau} = r_{\delta} (1 - x_{F_{\tau}}^2 / 2r_{\delta}r_{\delta}) \quad (32)$$

Как и при качении эластичного колеса по плоской опорной поверхности, в случае взаимодействия колеса с жестким барабаном имеет место перераспределение нормальных давлений по длине площадки контакта и, как следствие, смещение точки приложения нормальной реакции барабана относительно центра колеса (рис.3).

Плечо действия нормальной реакции барабана относительно центра колеса находится, как

$$h_n = (r - h_{\tau}) F_{\tau} / F_n \quad (33)$$

Рассмотрим случай [10], когда эластичное колесо катится по двум опорным барабанам (рис.4). Так устанавливаются, в частности, колеса автомобиля при обкаточных испытаниях на барабанных стендах.

Обозначим e' и e'' расстояние между центром колеса и центрами соответственно левого и правого барабанов

$$e' = r'_{\delta} + r'_{\delta} \quad e'' = r''_{\delta} + r''_{\delta},$$

где r'_{δ} и r''_{δ} - кратчайшее расстояние от оси колеса до левого и правого барабанов.

Под действием приложенного к колесу момента M_k , нормальные реакции барабанов смещаются на величину h' и h''

$$h' = h'_n + h'_0 \quad h'' = h''_n + h''_0, \quad (34)$$

где h'_n и h''_n - смещения нормальных реакций, обусловленные реализацией в контакте тангенциальных сил F_{τ_0}' и F_{τ_0}'' ; h'_0 и h''_0 - смещения нор-

мальных реакций, обусловленные гистерезисом в материале шины, которые могут быть рассчитаны как

$$h_0^{(\prime)} = f_0 r \left(1 + \frac{r}{r_\delta}\right) \frac{a^{(\prime)}}{a^{nl(\prime)}} \quad (35)$$

где a' и a'' - полудлина площадки контакта колеса с барабанами при действии нормальных сил F_n' и F_n'' ; $a^{nl(\prime)}$ - полудлина площадки контакта на плоскости при действии сил $F_z' = F_n'$ и $F_z'' = F_n''$.

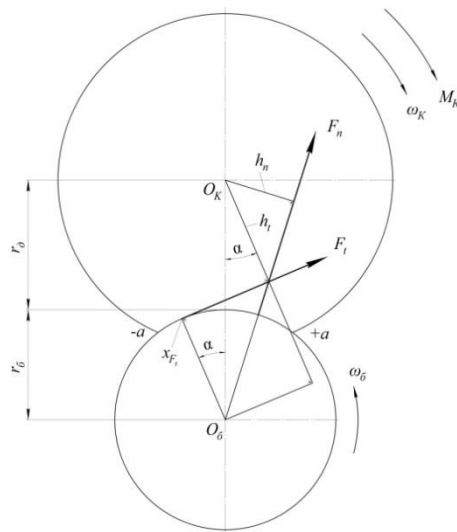


Рисунок 3 - Плечи сил, действующих на колесо

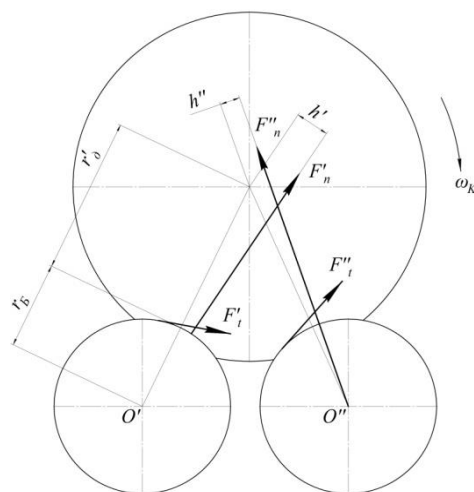


Рисунок 4 - Силы, действующие на колесо при к качении по двум барабанам

Точки приложения тангенциальных сил определяются из формул (28) (при малых касательных силах - по (29)).

Углы γ_i , определяющие смещение точки приложения нормальных реакций барабанов, найдутся из геометрических соображений

$$\gamma' = \arcsin \frac{h'_n + h'_0}{e'} \quad \gamma'' = \arcsin \frac{h'_n + h''_0}{e''} \quad (36)$$

При действии момента M_k центр колеса располагается несимметрично относительно осей барабанов; при этом (рис.5)

$$\alpha' = \arccos \frac{(e')^2 + c^2 - (e'')^2}{2e'e''} \quad (37)$$

$$\alpha'' = \arcsin \left(\frac{e' \sin \alpha'}{e''} \right)$$

Заключение

1. Получены зависимости, позволяющие рассчитывать силовые и кинематические параметры колеса при его качении по одному или двум жестким барабанам.

2. Коэффициент сопротивления качению ведомого колеса по жесткому барабану возрастает в $a(1+r/r_s)/a^{nl}$ раз по сравнению с качением по плоской жесткой поверхности.

3. Увеличение сопротивления качению по барабану приводит к различию коэффициентов сопротивления боковому уводу, определяемых на барабане и при движении колеса по плоской опорной поверхности.

4. При использовании коэффициентов сопротивления боковому уводу и сопротивления качению, полученных экспериментально на барабанном стенде, для случая движения колеса по плоской опорной поверхности, следует вводить соответствующие поправочные коэффициенты.

Список использованной литературы

1 Вирабов Р.В. Тяговые свойства фрикционных передач // Вирабов Р.В. – Москва: Машиностроение. – 1982. – 263 с.

2 Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. Анализ кинематических и силовых соотношений при качении эластичного колеса по жесткому основанию / Механика машин. – 1980. – вып. 57. – С. 101 – 106.

3 Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. Определение мощности потерь на трение в контакте фрикционной пары – колесо с пневматической шиной- жесткое основание // Бесступенчато-регулируемые передачи: межвуз. сб. научн. тр. – Ярославль. – 1978. – Выпуск 3. – С. 61 – 67.

4 Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Балабина Т.А. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью // ААИ “Автомобиле- и тракторостроение”: тезисы докладов Международной

научно-практической конференции секция 5 "Колеса и шины" (Москва, 2010). – Москва. – 2010. – С. 73 – 80.

5 Балабина Т.А., Мамаев А.Н. Механика качения эластичного колеса по жесткой опорной поверхности // Сборник: Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития. – 2014. – С. 20 – 25.

6 Мамаев А.Н. Сопротивление качению ведомого колеса по жесткому барабану. - Сб. трудов международной н/т конференции, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».- М., МГТУ «МАМИ», 2010.

7 Мамаев А.Н., Вирабов Р.В., Португальский В.М., Чепурной С.И. Определение силовых и кинематических характеристик эластичного колеса при качении по жесткому барабану. - Сб. трудов международной н/т конференции, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».-М.,МГТУ «МАМИ», 2010.

8 Fromm H. Berechnung des Schlupfes beim Rollendeformierbaren Scheiben. Z.f.Angew. Math. Und Mech. Bd. 7, H.I, 1927.

9 Fromm H. Arbeitsverlust, Formänderungen und Schlupf beim Rollen von treibenden und gebremsten Radern oder Scheiben. Beitrag zur Analyse der Reibungsgesetze. Z.f. technische Physik, '9, 1928.

10 Абузов В.И., Мамаев А.Н. Качение эластичного колеса по двум жестким барабанам. Автомоб. пром., 2012, №10, с. 19.

УДК 629.113.001

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЯХ В КЛИМАТИЧЕСКИХ И ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ РФ

В.В. Петин, А.В. Келлер

Аннотация. Проблема повышения безопасности дорожного движения в настоящее время является одной из самых значимых в автомобилестроении. Один из перспективных путей повышения безопасности дорожного движения является развитие и распространение интеллектуальных систем активной безопасности автомобиля. Для решения задачи повышения безопасности мировые лидеры автопрома активно занимаются разработкой и внедрением интеллектуальных систем управления, которые обеспечивают контроль за движением автомобиля и могут частично вмешиваться в управление транспортным средством. Статья посвящена пристальному анализу эффективности применения и внедрению систем автоматического экстренного торможения в соответствии с климатическими и дорожными условиями России. В докладе проводится обзор существующих и перспективных зарубежных систем активной безопасно-

сти, а также перспективных научных статей по тематике повышения эффективности работы системы автоматического экстренного торможения.

Ключевые слова: *автоматическое экстренное торможение, безопасность дорожного движения, интеллектуальные системы помощи водителю, системы активной безопасности.*

Виктор Викторович Петин - инженер-конструктор, Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), ул. Автомоторная, 2, 125438, Москва, Российская Федерация, E-mail: viktor.petin@nami.ru.

Андрей Владимирович Келлер - доктор технических наук, профессор, начальник управления повышения квалификации отраслевых сотрудников, Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), ул. Автомоторная, 2, 125438, Москва, Российская Федерация.

На сегодняшний день автомобиль является самым распространенным транспортным средством, применяемым в самых различных сферах деятельности человека. Естественно, что с ростом числа автомобилей появляется проблема с оптимизацией передвижения, устранения заторов на дорогах, предупреждение и предотвращение ДТП, связанных с человеческим фактором. В последнее время для решения этих проблем стремительное развитие получили интеллектуальные системы помощи водителю.

Активное внедрение в последние годы получают системы помощи водителю второго уровня, которые должны повысить безопасность движения автомобилей. Именно эти системы в настоящее время являются самым востребованными на рынке автомобилей, но имеют крайне малую реализацию на автомобилях отечественного производства. Это такие системы, как: адаптивный круиз-контроль, автоматическое экстренное торможение, контроль слепых зон, помощь при парковке.[1]

В целях определения единой терминологии, технических требований и методик испытаний для наиболее востребованных на рынке функций ADAS Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization – ISO) в настоящее время разработаны и изданы соответствующие международные стандарты, например: ISO 17361:2007, ISO 15622:2010, ISO 15623:2013 и т. д.[2]

Целью данной научной работы является системный анализ проблемы создания конкурентоспособной системы автоматического экстренного торможения, способной эффективно функционировать в дорожных и климатических условиях России.

Любые новые автомобильные системы на этапе внедрения неэффективны и дороги при создании. Поэтому они имеют ограниченный спрос и ограниченный рынок. К тому же, не всегда сразу очевиден размер рынка в будущем. Поэтому одним из направлений анализа является выбор, какая из функций новой системы может создать массовую потребность и спрос. Но помимо спроса существуют и законодательные предписания к установке различных автомобильных систем. Так, например, было с антиблокировочной системы тормозов (ABS) и системой электронной курсовой устойчивости (ESP). [3]

Рассмотрев законодательство по безопасности в Европе, в соответствии с предложением Европейской комиссии от 16.02.2016 мы можем найти рекомендации по обязательному введению систем автоматического экстренного торможения по годам:

- 2016 АЕВ для грузовиков;
- 2020 АЕВ движущиеся объекты;
- 2022 АЕВ неподвижные объекты;
- 2024 АЕВ VRU Пешеходы. [4]

Как мы можем видеть, Европейской комиссией предлагается активно внедрять системы автоматического экстренного торможения на автомобили уже в ближайшие несколько лет. Соответственно, такие требования с высокой вероятностью будут рассмотрены и в России.

Сложности разработки системы автоматического экстренного торможения в Российском регионе несомненно имеют свою специфику. Наиболее распространенным, надежным и доступным техническим решением для обнаружения возможного препятствия является использование радара, расположенного в районе переднего бампера автомобиля. Это связано с его относительно невысокой стоимостью, высокой дальностью обнаружения, малой зависимостью от погодных условий. При разработке систем и алгоритмов принятия решений о вмешательстве в пилотируемое управление автомобилем неотъемлемой частью процесса являются виртуальные тесты и моделирование различных внешних условий. В виртуальных тестах моделируются физические свойства испытуемого автомобиля и внешние факторы, влияющие на его управляемость. Но в крайне малой степени можно искусственно смоделировать сигнал сенсора в условиях сильного снегопада, попадания автомобиля в глубокую яму или яму, наполненную водой, переезд через железнодорожные пути и так далее. Данный список сценариев можно очень долго продолжать и дополнять. Отсюда можно сделать вывод, что одной из проблем разработки систем для регионов со сложными климатическими условиями заключается в не-

возможности стабильной работы сенсорной аппаратуры для качественной оценки и прогнозирования опасных ситуаций[5].

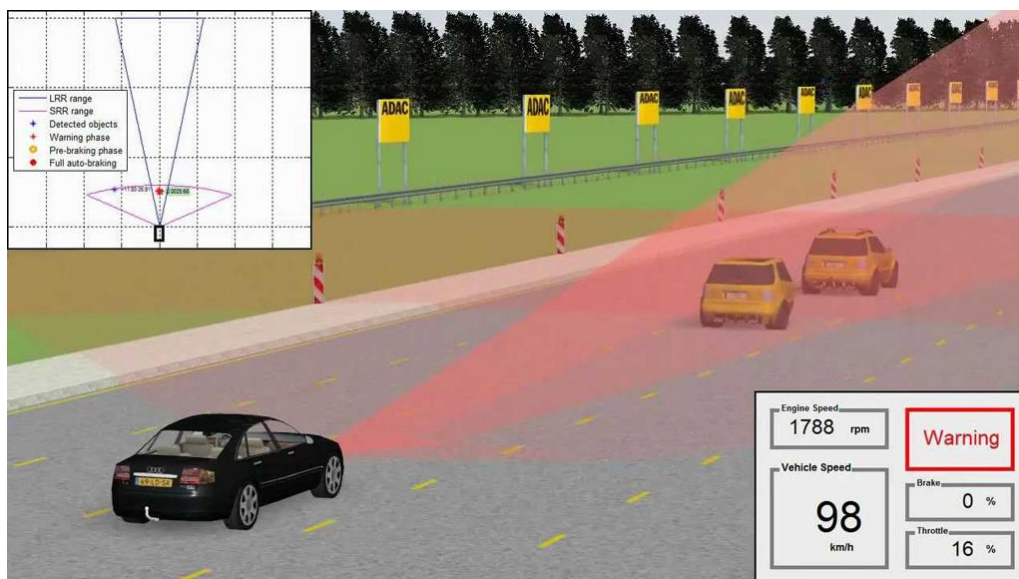


Рисунок 1 - Программная калибровка системы автоматического торможения

Необходимым условием для работы экстренного торможения является минимизация возможности ложного срабатывания. При ложном срабатывании системы очень высока вероятность получить удар от идущего позади автомобиля, либо потерять управление на заснеженной или обледенелой трассе. Доказательством этому может послужить случай ДТП, зарегистрированный в Китае в 2013 году. На автомобиле, где была установлена система автоматического экстренного торможения, произошло ложное детектирование препятствия. В следствие этого был получен удар от двигавшегося сзади автомобиля[6].

В то время, как обычная система автоматического экстренного торможения помогает автомобилю избежать столкновение только с впереди идущим транспортным средством, она может создать аварийную ситуацию для автомобиля, идущего позади. Во избежание ДТП или смягчения негативных последствий столкновения сразу нескольких транспортных средств, была разработана модель контроля дистанции и скорости движения не только впереди, но и позади идущего автомобилей. В результате разработанного алгоритма, автомобиль с автоматическим экстренным торможением может в динамике корректировать своё замедление и избежать или минимизировать последствия столкновения и с впереди идущим и позади идущим транспортными средствами[7].

Также в 2013 году в Китае изучением поведения и реакции водителей непосредственно перед ДТП занимались QiangChen, MiaoLin, BingDai

и JiguangChen. Они проделали работу по сбору ДТП с участием пешеходов. Были собраны данные для анализа поведения водителей и пешеходов непосредственно перед аварийной ситуацией для выявления причин возникновения ДТП с целью улучшения алгоритма прогнозирования детектирования возможной аварийной ситуации. Для обзора были взяты данные из различных источников, в том числе из экспертиз дорожной полиции. Для статистики были взяты данные различных городов Китая. Из 358 случаев 291 (81%) произошел на сухой поверхности дороги и 42 (12%) на мокрой поверхности, остальные были на обледенелой поверхности (6%) и на поверхности снежного покрова (1%). Исходя из собранных данных было получено, что более 50% наездов на пешеходов происходило, когда пешеходы передвигались по проезжей части автомобильных дорог в неустановленных местах [8].

Данный вид аварий подразумевает позднее обнаружение пешеходов, приложение недостаточного тормозного усилия, неэффективные действия водителя для предотвращения столкновения в экстренной ситуации.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка и широкое внедрения системы автоматического экстренного торможения поможет предотвратить значительную часть ДТП, связанную с человеческим фактором. При этом алгоритмы работы системы требуют улучшения, развития и обширного тестирования в различных условиях для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с конструктивными и логическими недостатками автоматического экстренного торможения.

На основании проведенного анализа можно сформировать следующие выводы:

1. Современная система автоматического экстренного торможения потенциально позволяет сократить до 30% типовых столкновений.
2. В условиях сложных климатических и дорожных условий система автоматического экстренного торможения нуждается в усовершенствованных алгоритмах работы.
3. Разработка и внедрение систем активной безопасности позволит значительно повысить конкурентоспособность и безопасность отечественных автомобилей на международном рынке.

Список использованной литературы

1. Geiger A., Lenz P., Urtasun R. Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR): IEEE Conference, 2012.06.16. – P. 3354–3361.
2. <http://www.1gai.ru/baza-znaniy/519743-top-6-samyh-rasprostranennyh-scenariyev-avtomobilnoy-avarii.html> [Электронный источник] (Дата обращения 15.03.2019)

3. Gaspar, J., Brown, T., Schwarz, C., Chrysler, S. et al., "Driver Behavior in Forward Collision and Lane Departure Scenarios," SAE Technical Paper 2016-01-1455, 2016, doi:10.4271/2016-01-1455.

4. Bosch Системы помощи водителю: тенденции и перспективы//Материалы конференции МАНФ, октябрь 2017г. – С. 5-15.

5. Hsu, P., Li, M., and Chang, K., "Noise Filtering in Autonomous Emergency Braking Systems with Sensor Fusions," SAE Technical Paper 2015-01-0216, 2015, doi:10.4271/2015-01-0216

6. Noise Filtering in Autonomous Emergency Braking Systems with Sensor Fusions//Ping-Min Hsu, Ming Hung Li, and Kuo-Ching Chang//Automotive Research & Testing Center - Published 04.14.2015

7. Design of Autonomous Emergency Braking System Based on Impedance Control for 3-Car Driving Scenario//I-Hsuan Lee and Bi-Cheng Luan //Haitec - Published 04.05.2016

8. Chen, Q., Lin, M., Dai, B., and Chen, J., "Typical Pedestrian Accident Scenarios in China and Crash Severity Mitigation by Autonomous Emergency Braking Systems," SAE Technical Paper 2015-01-1464, 2015, doi:10.4271/2015-01-1464.

УДК 621.432

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ КОНДЕНСАТОРА СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РАДИАТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

А.П. Петров, С.Н. Банников, В.П. Петрова

Аннотация. *Системы кондиционирования салона легкового автомобиля устанавливаются уже на многие автомобили. Система приводит к прямым затратам энергии. Кроме этого элементы системы оказывают дополнительное влияние на эффективность системы охлаждения двигателя, поскольку та и другая системы используют для охлаждения один и тот же поток воздуха. Исследован механизм прохождения потока воздуха через теплообменники. Исследования показали, что часть потока воздуха не проходит через сердцевину конденсатора, а обтекают его по внешнему контуру. Степень обтекания зависит от нескольких факторов.*

Ключевые слова. *Система охлаждения, система кондиционирования, радиатор, конденсатор, поток охлаждающего воздуха, обтекание.*

Александр Павлович Петров - к.т.н., доцент, Курганский государственный университет, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, E-mail: alex_p2@mail.ru.

Семен Николаевич Банников - аспирант, Курганский государственный университет, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, E-mail: semenwrx@kgsu.ru.

Вера Павловна Петрова - к.э.н., доцент, Курганский государственный университет, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4.

Одной из основных экологических проблем настоящего времени является загрязнение атмосферного воздуха. В больших городах основными источниками загрязнения воздуха относятся автотранспорт. В связи с этим перед инженерами автомобильной промышленности стоит задача по снижению потребления топлива и выбросов вредных веществ, для этого требуется поиск таких возможностей. Одна из областей, где потенциал до сих пор тщательно исследуется это аэродинамика. Аэродинамика легкового автомобиля зависит от множества факторов, одним из которых является прохождение охлаждающего воздуха через его внутреннее пространство [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Коэффициент аэродинамического сопротивления легкового автомобиля зависит от количества охлаждающего воздуха, проходящего через его подкапотное пространство. Для того, чтобы более эффективно использовать этот воздух необходимо определить факторы, влияющие на этот процесс. Оптимизация системы кондиционирования и охлаждения легкового автомобиля возможна только после изучения процессов прохождения охлаждающего воздуха через воздушный тракт системы охлаждения. Решить эту задачу с помощью физического моделирования в аэродинамической трубе или на специализированном аэродинамическом стенде будет довольно дорого, да и время тестирования значительно увеличивается. В качестве альтернативы, производители автомобилей используют моделирование с помощью вычислительной гидродинамики (CFD), это дает возможность выполнять исследования в кратчайшие сроки [8]. За счет применения CFD сокращаются затраты, повышаются точности и достоверности результатов. В работе отмечается, что для снижения аэродинамического сопротивления автомобиля нужно уменьшить поток воздуха через моторный отсек, но такая оптимизация ограничена эффективностью системы охлаждения.

В работе [9] рассматриваются вопросы оптимизации передней части воздушного тракта легкового автомобиля. Исследования выполнялись с использованием численного моделирования CFD. Модель CFD была построена для различных условий движения. Модель содержала полный и подробный макет геометрии под капотом, включающий в себя конденсатор и радиатор. Отмечается, что расположение некоторых элементов влияет на воздушный поток, проходящий через конденсатор и радиатор. Тщательным образом анализируется поле скоростей по фронтальной поверхности теплообменников. Задача состояла в том, чтобы выявить застойные зоны

воздушного потока на фронтальной поверхности теплообменников, выявить причины этой проблемы и наметить пути устранения. Неравномерное распределение воздушного потока в теплообменниках косвенно уменьшает их эффективную площадь. Фронтальная зона с ограниченным потоком воздуха фактически не принимает участия в тепловыделении.

В работе [10] рассматривается вопрос совместного влияния конденсатора и радиатора друг на друга. Исследования показывают, что тепло, выделившееся на конденсаторе, отрицательно влияет на температуру охлаждающей жидкости радиатора, при этом входная температура охлаждающей жидкости при включенном кондиционере увеличивается на 7°C. Исследования выполнялись для различных условий нагрузки двигателя и скорости автомобиля. Сравнивались расчетные значения, выполненные с использованием CFD, с результатами экспериментальных исследований. Прогнозы CFD и экспериментальные данные температуры теплоносителя на входе в радиатор хорошо коррелируются и находятся в пределах от 2 до 3 °C.

Анализ представленных работ показывает, что оптимальная организация потока воздуха через теплообменники системы охлаждения и кондиционирования легкового автомобиля позволяет снизить расход воздуха, а вместе с этим снижается аэродинамическое сопротивление автомобиля [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. В этом направлении существует большой потенциал. С другой стороны, для снижения расхода охлаждающего воздуха и повышения эффективности системы охлаждения и кондиционирования необходимо знать механизм формирования потока воздуха через теплообменники [8, 9, 10]. Анализ проведенных работ позволяет с полной уверенностью доверять результатам CFD расчетов. На практике очень трудно получить подобные результаты с помощью натурального моделирования вследствие ограниченности технических средств измерения скорости воздуха.

Цель работы — исследование механизма взаимного влияния конденсатора системы кондиционирования салона автомобиля и радиатора системы охлаждения двигателя на поток охлаждающего воздуха, проходящего через них.

Исследования выполнялись с использованием CFD. Конденсатор, радиатор и вентиляторная установка были представлены в виде трехмерных моделей с полной детализацией (рис. 1). Аэродинамические характеристики конденсатора и радиатора были получены экспериментальным путем.

Газодинамическое моделирование осуществлялось с использованием модели «аэродинамической камеры», имитирующей подкапотное пространство автомобиля. Камера разделена на две части перегородкой, на которой размещен блок охлаждения. В передней части располагалась предрадиаторная камера с двумя воздухозаборными отверстиями. За пере-

городкой располагалось подкапотное пространство с упрощенной «моделью двигателя» и в нижней части выпускное отверстие.

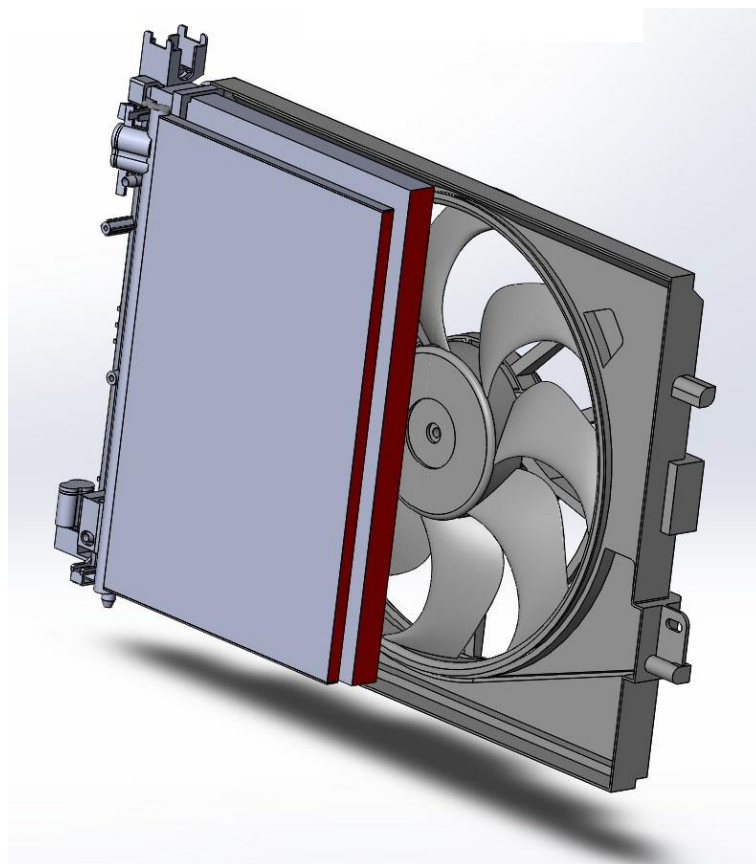


Рисунок 1 - Модель блока охлаждения

Моделирование воздушного потока осуществлялось за счет имитации набегающего потока на автомобиль при его движении. Было замечено, что расход воздуха через конденсатор меньше чем через радиатор на 11%, при том что конденсатор установлен перед радиатором (рис. 1). В принципе это факт легко объяснить, через радиатор проходит весь охлаждающий воздух, поскольку радиатор закреплен на перегородке «моторного отсека» и ему негде больше пройти, то конденсатор установлен «свободно», поэтому часть воздуха обтекает конденсатор по внешней стороне (рис. 2). На рисунке видны траектории потока воздуха, обтекающие конденсатор. Механизм этого явления нужно рассмотреть более детально, нужно выяснить сколько воздуха проходит через сердцевину конденсатора, сколько мимо, от чего это зависит и как это отражается на прохождении воздуха через радиатор, для этого был выполнен комплекс дополнительных исследований.

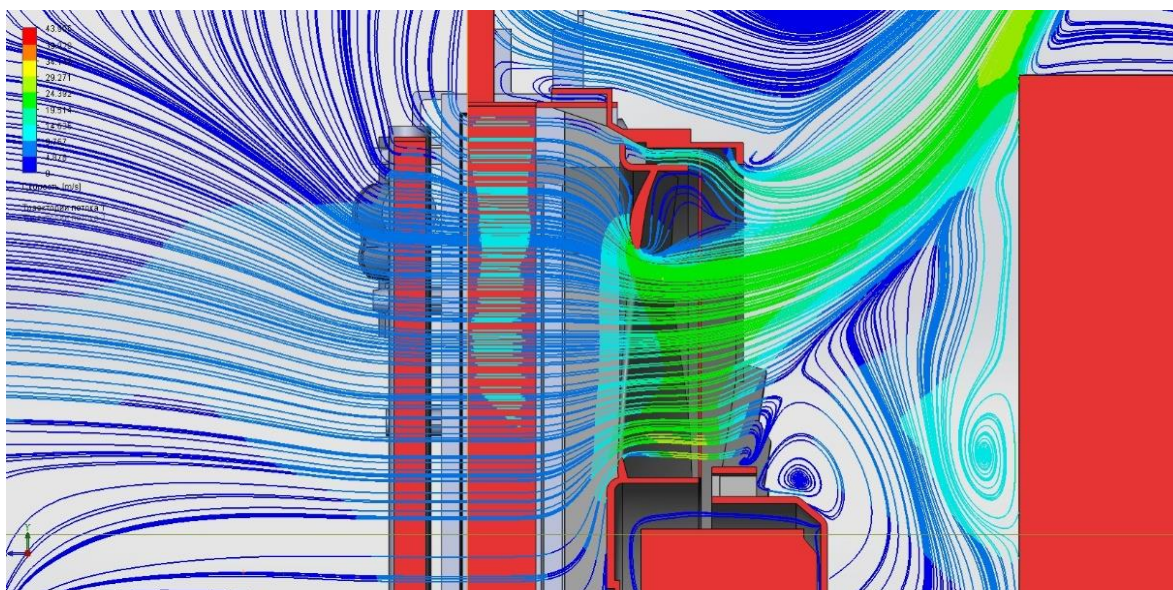


Рисунок 2 - Траектория движения потока воздуха через блок охлаждения (в горизонтальной плоскости сечения, вид левой части)

Для того, чтобы исследовать механизм взаимного влияния конденсатора и радиатора на поток воздуха, модель «аэродинамической камеры» была упрощена. В предрадиаторной камере забор воздуха осуществлялся по всему сечению камеры, таким образом начальная деформация потока была исключена. Вентиляторная установка и «двигатель» были удалены по той же причине. Моделирование течения воздуха осуществлялось за счет использования набегающего потока. Для того, чтобы можно было сравнивать разные варианты, расход воздуха во всех случаях была задан $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ (что соответствует высокой скорости движения автомобиля).

На рис. 3 видно, что скорость по краям конденсатора меньше чем в средней части. Сердцевина конденсатора, впрочем, как и радиатора имеет рассредоточенноравномерно по всему фронту сопротивление. Поэтому поток воздуха за счет динамического напора на центральной части сердцевины конденсатора вынужден идти в прямолинейном направлении, т.е. сразу же входит в сердцевину радиатора. По краям конденсатора поток идет по пути наименьшего сопротивления, т.е. большая часть потока обтекает конденсатор и попадает в радиатор по изогнутой траектории. Поскольку, при изгибе траектории поток также испытывает сопротивление, поэтому часть его все-таки проходит через сердцевину конденсатора.

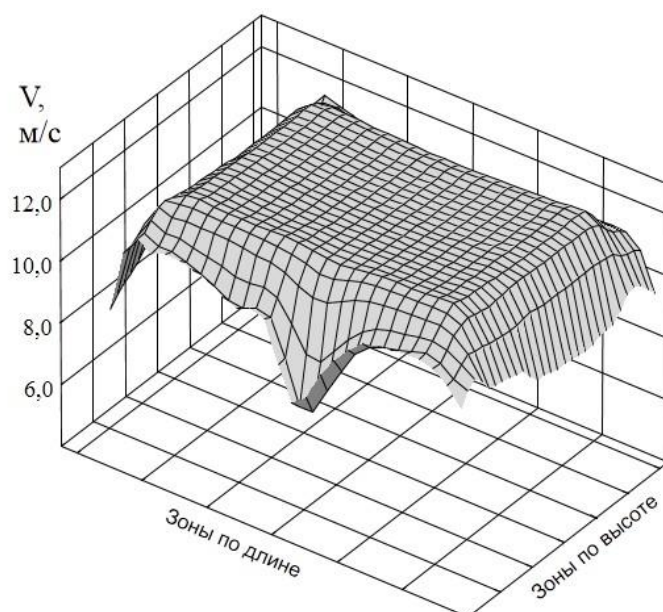


Рисунок 3 - Эпюра распределения скорости по фронтальной поверхности конденсатора

Глубина поперечного проникновения потока между теплообменниками и количество воздуха в обход конденсатора ограничено сопротивлением течения вдоль этого канала.

Как уже отмечалось в работе [10] поток воздуха на выходе из конденсатора подогревает воздух, входящий в радиатор, но кроме этого конденсатор влияет на поток воздуха входящий в радиатор. На рис. 4 видно, что эпюра скоростей воздуха по фронтальной поверхности радиатора имеет обратную форму по сравнению с конденсатором. Здесь наоборот скорость воздуха по периферии выше чем в центральной части. Это дополнительный воздух, который обошел конденсатор.

CFD технология позволяет проследить весь процесс распространения потока воздуха через теплообменники. Условия распространения воздуха, обтекающего конденсатор, анализировались по скорости в поперечном направлении между сердцевинкой конденсатора и радиатора. Воздух обтекает конденсатор по всему периметру, т.е. обтекает его в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Условия распространения воздуха во всех направлениях различные.

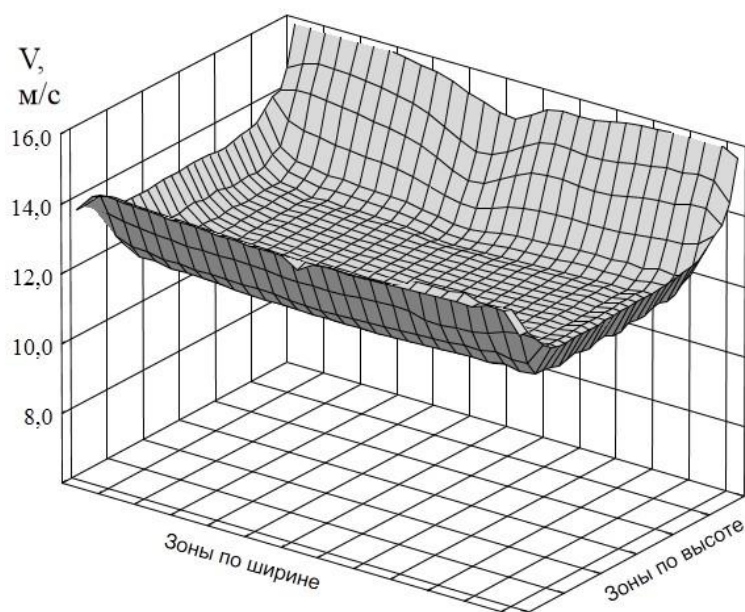


Рисунок 4 - Эпюра распределения скорости по фронтальной поверхности радиатора

В горизонтальной плоскости конденсатор не симметричный, с правой стороны от конденсатора конструктивно расположен ресивер-осушитель. Он занимает всю правую сторону конденсатора и является дополнительной преградой для прохода воздуха. Поэтому в качестве контрольного варианта рассматривалось обтекание конденсатора слева. На рис. 5 показаны результаты исследований. Контроль течения воздуха осуществлялся в поперечной плоскости вдоль поверхности сердцевин конденсатора и радиатора. Определялась средняя скорость вдоль этой плоскости.

Оценка осуществлялась для трех вариантов установки кондиционера относительно радиатора, в базовом варианте расстояние между ними было 16 мм, затем расстояние было увеличено до 22 и 28 мм. Как видно глубина проникновения воздушного потока между теплообменниками находится в диапазоне примерно 70 мм от кромки радиатора. Причем чем дальше от кромки, тем меньшая скорость поперечного потока, т.е. часть воздуха постепенно уходит через сердцевину радиатора. По скорости потока легко оценить количество воздуха, обтекающего конденсатор сбоку и на какую «глубину» он проникает. Как видно по рисунку чем больше расстояние между теплообменниками, тем больше воздуха идет в обход конденсатора. Эти результаты объясняют, почему скорость воздуха по краям конденсатора снижается рис. 3, а по краям радиатора растет рис. 4.

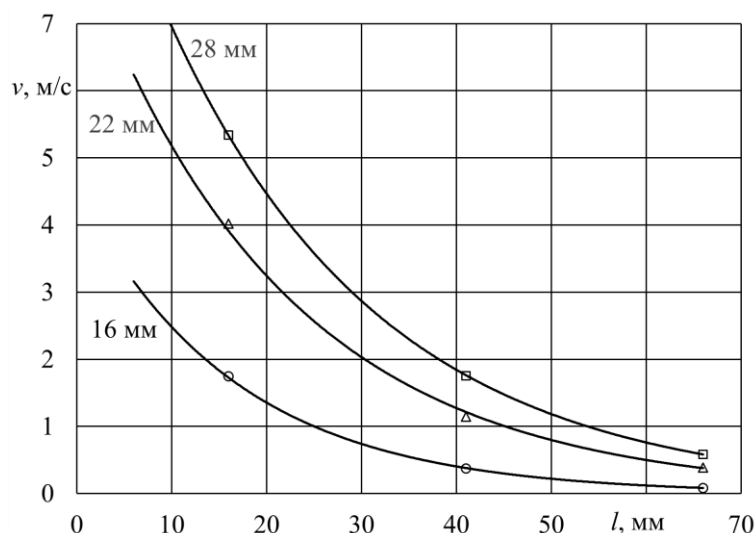


Рисунок 5 - Скорость воздуха в поперечном горизонтальном направлении вдоль сердцевин теплообменников в зависимости от расстояния от их боковой кромки

В вертикальной плоскости конденсатор по отношению к радиатору установлен немного не симметрично, высота сердцевин конденсатора меньше сердцевин радиатора на 20 мм и он смещен вниз от оси на 7 мм. В качестве контрольного варианта для анализа была выбрана верхняя часть теплообменников. Картина обтекания в этом случае похожа на ту, что наблюдалась в горизонтальной плоскости (рис. 6). Отличие заключается в том, что верхняя кромка конденсатора ниже на 13 мм от кромки радиатора, поэтому скорость потока в этом случае больше и «глубина» проникновения от кромки радиатора больше.

Во всех трех случаях расход воздуха через радиатор был одинаковым, но расход через конденсатор значительно отличался, при зазоре между конденсатором и радиатором 16 мм расход был меньше на 13,8%, при зазоре 22 мм – меньше на 17,4%, при 28 мм - меньше на 21,4%.

Подобные закономерности наблюдались и в том случае, когда для охлаждения использовался вентилятор систем охлаждения и кондиционирования.

Проведенные исследования помогают решить еще одну немаловажную проблему. В аналитических расчетах конденсатор и радиатор рассматривают как последовательно включенные сопротивления, кажется это логично поскольку они расположены последовательно друг за другом. В таких расчетах оказывается, что общее сопротивление теплообменников оказывается завышенным, поскольку они по внешним границам не отделены друг от друга и часть потока идет мимо конденсатора. В таких случаях

расход воздуха через конденсатор можно учитывать через коэффициент от общего расхода.

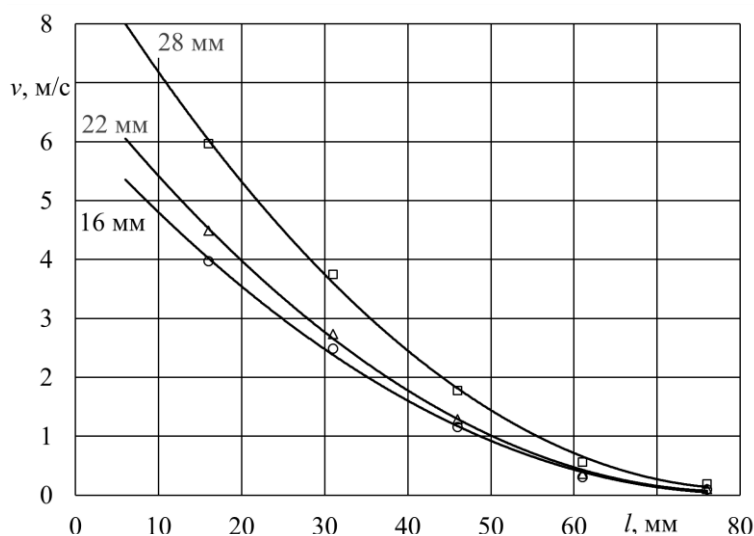


Рисунок 6 - Скорость воздуха в поперечном вертикальном направлении вдоль сердцевин теплообменников в зависимости от расстояния от верхней кромки

Выводы

1. Расход охлаждающего воздуха через радиатор системы охлаждения снижается, когда перед ним устанавливают конденсатор, происходит это в следствие увеличения общего сопротивления.

2. При работе кондиционера температура воздуха на входе в радиатор выше температуры окружающей среды. Конденсатор оказывает существенное влияние на протекание воздуха через воздушный тракт легкового автомобиля. Этот фактор оказывает дополнительное влияние на эффективность системы охлаждения и кондиционирования. Это связано с изменением расхода охлаждающего воздуха через теплообменники и увеличением неравномерности поля скоростей по их фронтальной поверхности.

3. Расход воздуха через конденсатор в значительной степени меньше чем через радиатор. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчетах. Причем необходимо иметь в виду, что эта часть воздуха не подогревается в конденсаторе.

4. Степень обтекания конденсатора зависит от нескольких факторов, от расстояния между сердцевинами теплообменников, от их относительных фронтальных геометрических размеров, от сопротивления того и другого, от внешних элементов, расположенных вблизи теплообменников.

Список использованной литературы

1. Thomas Schütz. Hucho – Aerodynamik des Automobils. Strömungsmechanik – Wärmetechnik – Fahrdynamik – Komfort. 6. vollständig neu überarbeitete und erweiterte Auflage mit 1171 Abbildungen und 49 Tabellen
2. Williams, J., Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow with External Interference, SAE 2003-01-0996, 2003.
3. Marion D'Hondt¹ and Patrick Gilliéron. Aerodynamic drag and flow rate through engine compartments of motor vehicles, 28th AIAA Applied Aerodynamics Conference 28 June - 1 July 2010, Chicago, Illinois.
4. Marion D'Hondt. Etude théorique, expérimentale et numérique de l'écoulement de refroidissement et de ses effets sur l'aérodynamique automobile. Engineering Sciences. Université d'Orléans, 2010.
5. Katz, J.: Race Car Aerodynamics. Cambridge, Ma.: Bentley Publishers, 1995.
6. Petrov, A. Effect of Inner Air Flow on the Aero-dynamics of the Car, Periodica Polytechnica Transportation Engineering. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10376>. Received 08 December 2016; accepted 25 May 2017. <https://pp.bme.hu/tr/article/view/10376>. (дата обращения 10 июня 2018).
7. Петров А.П. Факторы, связывающие аэродинамику автомобиля с его внутренней аэродинамикой. Журнал автомобильных инженеров. 2016. № 1 (96). С. 8-11.
8. Teddy Hobeika. On Tyre Rotation Modelling and Cooling Flow Measurements. Thesis for the degree of Licentiate of Engineering in machine and vehicle Systems. Department of Applied Mechanics. Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden 2015.
9. S.C. Pang, M.A. Kalam, H.H. Masjuki, I.A. Badruddin, R. Ramli and M.A. Hazrat. Underhood geometry modification and transient coolant temperature modelling for robust cooling networks. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol. 7 (2012), No. 3, 251-258.
10. B. Shome, V. Kumar, R. Kumar, G. Arora. CFD Prediction to Optimize Front End Cooling Module of a Passenger Vehicle. (2006). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 845. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/845>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЕЙНОГО ДВУХСЕКЦИОННОГО РЕЖИМА РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ЖАЛЮЗИ

А.П. Петров, С.Н. Банников

Аннотация. В настоящее время большое распространение на автомобилях «премиум класса» получили активные жалюзи, позволяющие уменьшить аэродинамическое сопротивление автомобиля, тем самым уменьшить расход топлива и уменьшить выброс вредных веществ, сократить время прогрева двигателя. Недостатками такой системы является ее сложность и дороговизна. В статье рассматривается возможность применения жалюзийной системы с релейным регулированием охлаждающего воздуха через моторный отсек легкового автомобиля. В предлагаемой системе предусмотрено только четыре режима регулирования, поэтому исследования были направлены на определения оптимальной регулировочной характеристики системы.

Ключевые слова: активные жалюзи, регулирование воздушного потока, система охлаждения, система кондиционирования, аэродинамическое сопротивление автомобиля.

Александр Павлович Петров - к.т.н., доцент, Курганский государственный университет, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, E-mail: alex_p2@mail.ru.

Семен Николаевич Банников - аспирант, Курганский государственный университет, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, E-mail: semenwrx@kgsu.ru.

Основным источником загрязнения окружающей среды являются отработавшие газы двигателей автомобилей, это касается и парка легковых автомобилей. Количество выбросов вредных веществ в единицу времени зависит от нескольких факторов, от совершенства двигателя, конструктивных особенностей автомобиля и от эксплуатационных условий. Чем экономичнее автомобиль, тем меньше вреда экологии он наносит. Рассмотрим несколько таких факторов, когда конструктивные особенности автомобиля влияют на его экономичность в разных эксплуатационных условиях.

Аэродинамическое совершенство формы кузова автомобиля позволяют снизить его аэродинамическое сопротивление, обеспечивая тем самым снижение расхода топлива. Если учесть, что при скорости автомобиля

100 км/ч около 70% энергии затрачивается на преодоление сопротивления воздуха, то становится очевидным, что необходимо уделять особое внимание этой проблеме. Эта проблема имеет еще одну сторону, уже давно было известно, что аэродинамическое сопротивление автомобиля в значительной степени зависит от потока воздуха, который проходит через его внутреннее пространство [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Этот воздух необходим для обдува радиатора системы охлаждения двигателя и конденсатора системы кондиционирования салона автомобиля. Количество этого воздуха достаточно большое. По некоторым данным, доля внутреннего потока воздуха в аэродинамическом сопротивлении легкового автомобиля может составлять 8–10% [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Чем больше количество воздуха проходит внутри автомобиля, тем большее влияние он будет оказывать на коэффициент c_x . Таким образом, необходимо стремиться к снижению количества воздуха, проходящего через моторный отсек автомобиля, при этом не нарушая эффективность систем охлаждения и кондиционирования.

Вторая проблема, также связана с выбросом вредных веществ в атмосферу, это режим прогрева двигателя и удержания тепла на стоянке. В зависимости от числа холодных пусков в течение года, за счет применения подогрева, можно уменьшить выбросов вредных на 60–80 % [9]. Исследования показали, что зимой после запуска холодного двигателя 90 % всех вредных выбросов CO и CH происходит именно во время первых километров движения. При запуске предварительно прогретого двигателя содержание вредных газов в выхлопе значительно уменьшается (в 5 раз), поэтому ускорение прогрева двигателя в холодное время года имеет огромный экологический эффект.

При пуске двигателя основная задача системы охлаждения сводится к накоплению и аккумуляции тепла и вывод двигателя на установившийся температурный режим, при этом любые потери тепла в окружающую среду увеличивает время прогрева [10, 11]. После остановки двигателя основная задача системы охлаждения сводится к сохранению тепла до следующего пуска двигателя. Все это приобретает особую актуальность в зимний период, когда тепло из подкапотного пространства выходит в окружающую среду, при этом наличие ветра значительно увеличивает отдачу тепла. Чем ниже температура окружающей среды, тем быстрее остывает двигатель. Отрицательные температуры влияют на время нагрева охлаждающей жидкости, а, следовательно, и на прогрев двигателя, например, при понижении температуры окружающей среды на 10°C, т. е. с минус 10°C до минус 20°C, время прогрева увеличивается на 5 минут. Понижении температуры окружающей среды при не работающем двигателе на 10°C приводит к уменьшению времени охлаждения двигателя на 80 минут.

Как показывают исследования, с увеличением скорости движения автомобиля температура в каждой точке подкапотного пространства стремится принять значение близкое к температуре окружающей среды, по-

этому при отрицательных температурах может происходить переохлаждение двигателя внутреннего сгорания [12]. Поэтому необходимо предусмотреть возможность регулирования потока воздуха в подкапотном пространстве во время эксплуатации автомобиля в зависимости от времени года, климатических условий и режима эксплуатации, т.е. обеспечить лишь такое количество воздуха через подкапотное пространство, которого будет достаточно для отвода тепла в конкретных условиях эксплуатации.

Для современных двигателей существует еще одна проблема холодного пуска, это работа катализатора отработавших газов. При холодном катализаторе эффективность очистки выхлопных газов практически отсутствует. В зависимости от температуры окружающей среды автомобиль должен проехать несколько километров, прежде чем катализатор разогреется и начнет эффективно работать.

С точки зрения расхода топлива и выброса вредных веществ в атмосферу, автомобиль должен рассматриваться как одноцелое, причем конструкции его компонентов должны быть взаимно согласованы. Двигатель, автомобиль, внешняя среда, условия эксплуатации взаимосвязанные элементы системы. Система охлаждения двигателя и система кондиционирования салона рассчитываются для обеспечения эксплуатации автомобиля в наиболее тяжелых условиях. В остальных случаях элементы этих систем используются лишь частично, но заложенные в них параметры могут оказывать «непроизводительный эффект» (избыточное поступление охлаждающего воздуха, нереализуемая масса элементов систем и т.д.).

Эти проблемы в определенной мере могут быть решены путем внедрения интеллектуальных систем управления компонентами автомобиля. Цель данной статьи заключается в рассмотрении возможности применения такой системы.

В настоящее время все больше автомобилей «премиум» класса применяют активные жалюзи решетки радиатора для регулирования потока охлаждающего воздуха. Можно отметить ряд таких автомобилей: FordKuga, FordFocus, FordEscape, OpelAstraecoFLEX, ChevroletCruze, ChevroletMalibu, ToyotaPrius, NissanMurano, Cadillac ATS, BuickLaCrosse, DodgeDartAero, Ram 1500. Активные жалюзи применяют такие производители, как BMW, Honda, Lincoln, Mazda, Mercedes-Benz, GM, Chrysler и RollsRoусей т.д. Такие жалюзи устанавливаются в передней части автомобиля в предрадиаторной камере и оборудуются автоматической системой открытия и закрытия. Жалюзи состоит из привода с электродвигателем. В зависимости от температурного режима двигателя могут закрываться и открываться автоматически. Это позволяет двигателю сохранить тепло (зимой меньше затрачивается энергии на послепусковой прогрев и обеспечивается более быстрый обогрев салона) и улучшить аэродинамику путем ограничения подачи воздуха в моторный отсек.

При движении с малыми нагрузками температура охлаждающей жидкости небольшая, поэтому жалюзи могут быть открыты лишь частично. При движении с малой скоростью длительное время, когда набегающего потока недостаточно и температура двигателя повышается, жалюзи открываются. При высоких нагрузках, например, когда автомобиль движется на подъем и при сильном ускорении, температура двигателя повышается, тогда жалюзи открываются полностью.

В работе [13] рассмотрен алгоритм управления активными жалюзи с шаговым электродвигателем. Положение жалюзи позиционируется на основе команд ЭБУ. Ламели жалюзи поворачиваются на 90 градусов от полностью закрытого к полностью открытому положению и имеют 16 фиксированных позиций (6 градусов между положениями). При закрытых жалюзи и скорости движения 100 км/ч коэффициент аэродинамическое сопротивление автомобиля снижается на 3%. При скорости 130 км/ч сопротивление уменьшается уже на 6%.

В работе [14] отмечается, что при закрытии жалюзи аэродинамическое сопротивление автомобиля уменьшается на 6%, увеличивая экономию топлива и уменьшая выбросы угарного газа до 2%.

Одним из недостатков, рассмотренных активных жалюзи, является их сложность и высокая стоимость. Поскольку эффективность подобных устройств нельзя переоценить, поэтому целесообразно их использовать и на «бюджетных» автомобилях. Для этого предлагается активная жалюзийная система, имеющая простую конструкцию и привод (рис. 1 и 2).

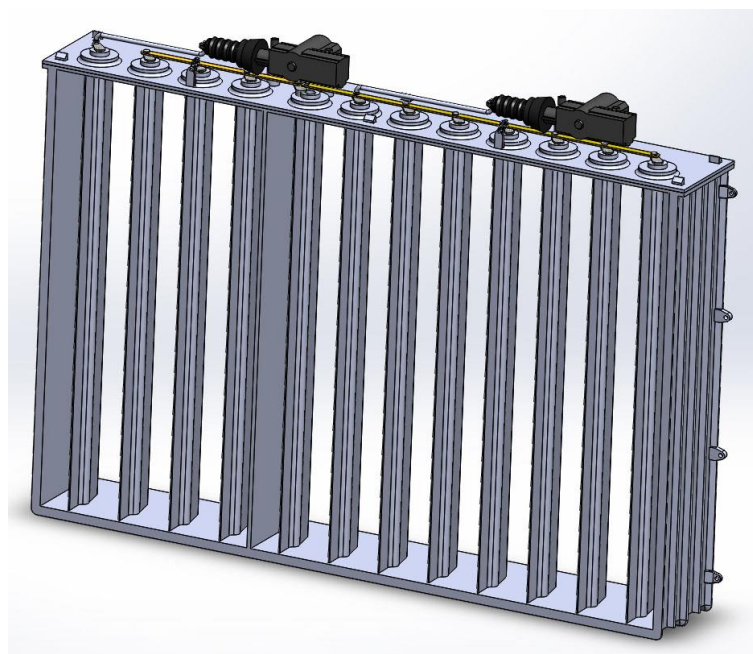


Рисунок 1 - Жалюзийная система, жалюзи открыты

В отличие от существующих конструкций предлагаемая система в первую очередь отличается тем что жалюзи работают в «релейном» режиме и состоят из двух независимых секций. Система имеет корпус, разделенный перегородкой на две неравные части. В секциях установлены вертикальные ламели жалюзи. Каждая группа жалюзи имеют отдельный привод, который осуществляется реечными мотор-редукторами, установленными в верхней части корпуса. Электронная система управления получает информацию о температуре охлаждающей жидкости двигателя, температуре окружающего воздуха, скорости автомобиля, давлении компрессора системы кондиционирования и отдает соответствующие команды на приведение в действие секций жалюзи. Таким образом система может находиться в четырех состояниях, это полностью открыты жалюзи обеих секций (рис. 1), закрыта малая секция, закрыта большая секция (рис. 2), закрыты обе секции.

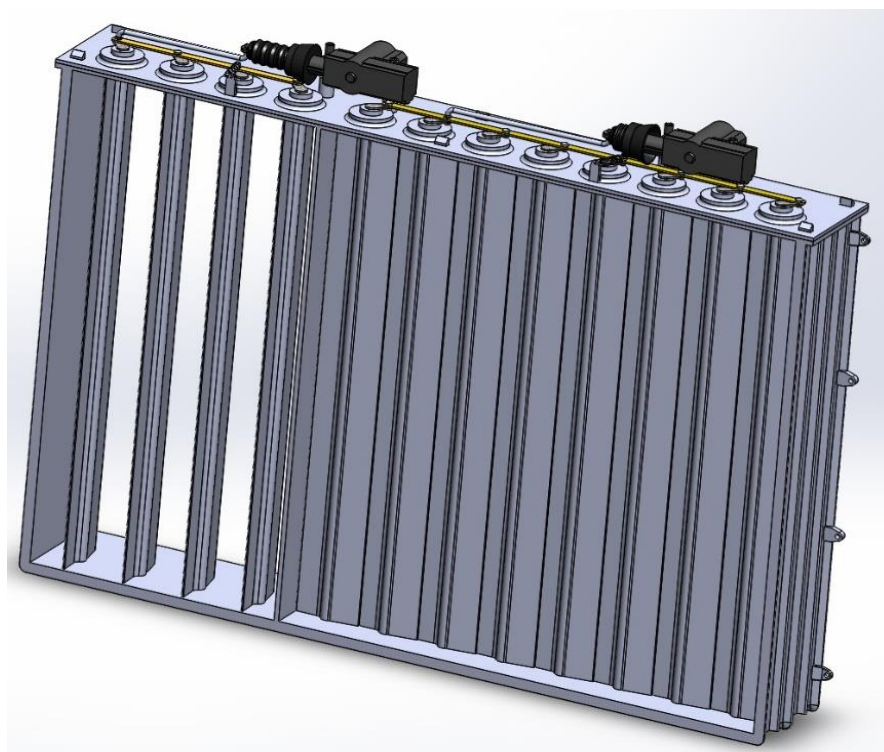


Рисунок 2 - Жалюзийная система, большая секция закрыта

Это некоторым образом ограничивает регулировочные возможности жалюзийной системы, в отличие от существующих конструкций, где режим регулирования плавный.

Для того, чтобы определить регулировочные возможности релейного двухсекционного режима регулирования охлаждающего воздуха через моторный отсек были проведены специальные исследования. Исследования выполнялись численными методами с помощью модуля CFD. Для того, чтобы исключить влияние посторонних факторов моделирование осуществлялось в воздушном канале, разделенном перегородкой, на которой был расположен радиатор системы охлаждения, перед которым «штатно» размещался конденсатор (рис. 3). Все объекты моделирования имели реальные размеры. Аэродинамические характеристики радиатора и конденсатора соответствовали реальным объектам. Исследования выполнялись при моделировании набегающего потока воздуха, который был задан разностью давлений на передней и задней стенке воздушного канала.

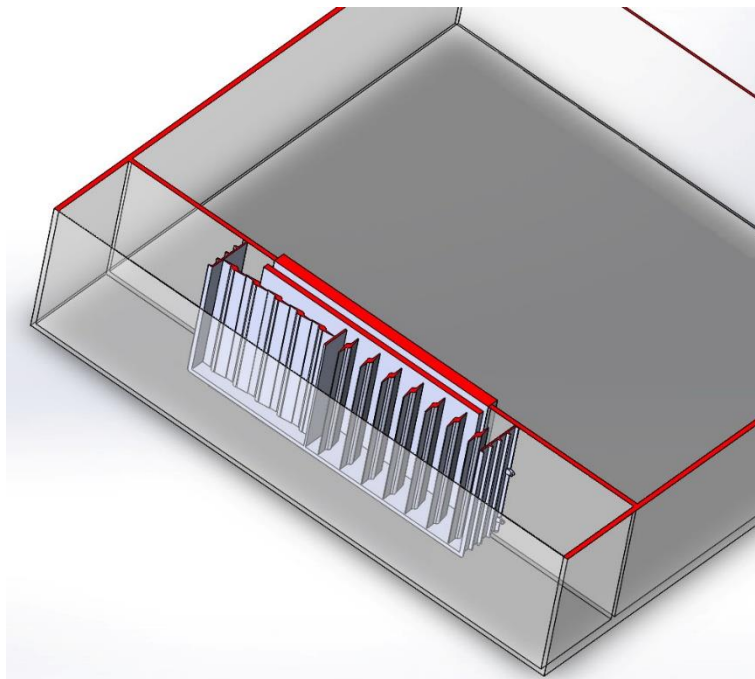


Рисунок 3 - Модель аэродинамического стенда, жалюзийной системы, конденсатора и радиатора (сечение в горизонтальной плоскости)

Жалюзийная система имеет четыре уровня регулирования. Первый – жалюзи обеих секций открыты (рис. 1), второй – малая секция закрыта, третий – малая открывается большая закрывается (рис. 2) и четвертый – обе секции закрыты. Цель исследований заключалась в определении приемлемого режима регулирования. Для этого были рассмотрены четыре ва-

рианта соотношений проходных сечений секций. Первый вариант – секции имели одинаковый размер, таким образом соотношение сечений 1:1, второй вариант - 1:1,38, третий – 1:1,95 и четвертый – 1:2,3. На рис. 4 (сплошные линии) представлены результаты расчетов. Видно, что наиболее предпочтительный вариант с соотношением размеров камер 1:1,95 имеет равномерную прогрессивную характеристику.

Такой вариант может обеспечить равномерное регулирование поступающего воздуха в моторный отсек, такая характеристика позволяет установить достаточно оптимальное поступление охлаждающего воздуха через радиатор системы охлаждения.

Регулировочные возможности предлагаемой жалюзийной системы были проверены при увеличенном сопротивлении воздушного тракта. Результаты показали, что и при этих условиях регулировочная характеристика сохранилась, при этом расход воздуха через моторный отсек во всем диапазоне регулирования значительно изменился. Расчеты производились по двум вариантам, это соотношение размеров секций 1:1,95 и 1:1,38 (рис. 4, пунктирные линии). В том и другом случае форма графиков сохранилась.

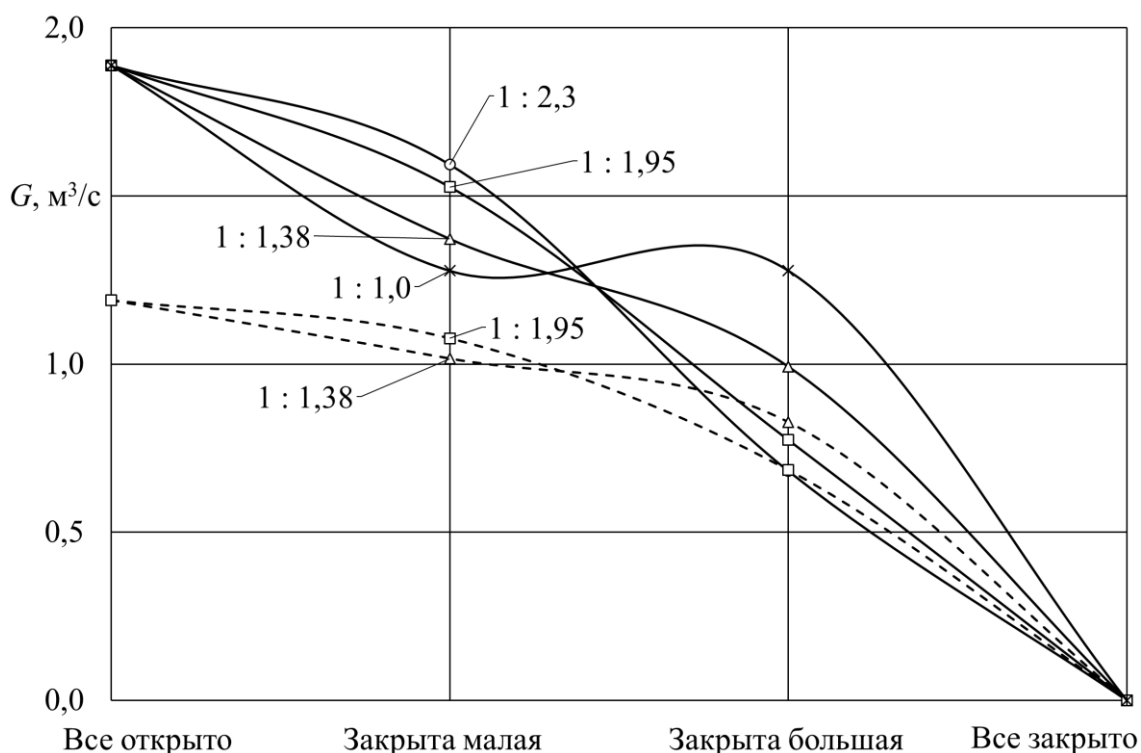


Рисунок 4 - Расход воздуха через воздушный тракт системы охлаждения в зависимости от положения жалюзи в секциях

Как было сказано соотношение сечения камер 1:1,95 имеет более предпочтительную характеристику. На самом деле это совсем не обязательно, дело в том, что в проведенных исследованиях проходное сечение воздушного канала было симметричным. В условиях реального автомобиля такая ситуация встречается не часто, обычно воздушный канал имеет не симметричную геометрию. Чаще всего асимметрия связана с конструкцией вентиляторной установки системы охлаждения и кондиционирования. В таких случаях жалюзийные секции могут быть с другим соотношением размеров, при этом регулировочная характеристика может быть подобрана наиболее оптимально.

Выводы

Таким образом, было установлено, что релейное регулирование с использованием двух неравных по сечению жалюзийных камер может обеспечить достаточно гибкий режим ограничения поступления охлаждающего воздуха через моторный отсек легкового автомобиля. Для предотвращения слишком частого срабатывания переключения секций, алгоритм работы жалюзийной системы должен быть построен соответствующим образом. Это в некоторой степени может незначительно ограничить эффективность регулирования, т.е. в некоторой степени сохранится избыточное поступление охлаждающего воздуха со всеми вытекающими последствиями. Но благодаря тому, что система имеет четыре уровня регулирования ограничения поступления воздуха все же сохранится на приемлемом уровне, тем более, что «пограничная» ситуация будет возникать не часто. Так, например, в холодное время года обе секции продолжительное время будут находиться в закрытом состоянии, тем более, что в работу не будет вмешиваться система кондиционирования. Противоположное состояние, когда включаются вентиляторы системы охлаждения или кондиционирования, обе секции должны быть открыты, чтобы обеспечить максимальную эффективность вентиляторов.

Список использованной литературы

1. Аэродинамика автомобиля; под ред. В.Г. Гухо. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
2. Hucho W.H. Aerodynamics of Road Vehicles. 4th Edition SAE International, 1998.
3. Williams, J. An automotive Front-End Design Approach for Improved Aerodynamics and Cooling. SAE Technical Paper Series 850281, International Congress & Exposition, Detroit, Michigan, 1985, doi: 10.4271/850281.
4. Carr, G. W. The Influence of Engine Cooling Airflow on Car Performance and Stability, C496/079/95, IMechE 1995, pages 491-498.

5. Baeder D., Indinger T., Adams N. and Unterlechner P. Aerodynamic Investigation of Vehicle Cooling-Drag, SAE Technical Paper 2012-01-0170, 2012, doi:10.4271/2012-01-0170.

6. Marion D'Hondt. Theoretical, experimental and numerical study of the cooling airflow and its effects on the aerodynamics of road vehicles. Engineering Sciences. Universities Orleans, 2010.

7. Petrov, A. Effect of Inner Air Flow on the Aero-dynamics of the Car, PeriodicaPolytechnica Transportation Engineering. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10376>. Received 08 December 2016; accepted 25 May 2017. <https://pp.bme.hu/tr/article/view/10376>. (дата обращения 10 июня 2018).

8. Петров А.П. Факторы, связывающие аэродинамику автомобиля с его внутренней аэродинамикой. Журнал автомобильных инженеров. 2016. № 1 (96). С. 8-11.

9. Найман, В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В.С. Найман – М.: АСТ, Астрель, Хранитель, 2006. - 160 с.

10. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания / В. И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.

11. Филатов М.И., Трунов В.В., Конопля В.В. Управление топливно-экологическими характеристикам и автомобиля за счёт теплообмена подкапотного пространства с окружающей средой. Вестник Оренбургского государственного университета 2015 № 4 (179), С. 126-130.

12. Трунов, В.В. Температурные поля подкапотного пространства автомобиля / В.В. Трунов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №10. – с. 216-220.

13. <https://www.focusst.org/forum/focus-st-maintenance/35971-active-grill-shutters-how-exactly-do-they-work-2.html>.

14. I. Amin, R. Duncan. Operating an Engine-Grille Shutter Motor With DRV8872-Q1. Texas Instruments Incorporated. Application Report SLVA858–December 2016. <http://www.ti.com/lit/an/slva858/slva858.pdf>.

УДК 629.33-52

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ САЭТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО МЕТОДИКЕ RuNCAP

**А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов,
М.А. Топорков; Д.В. Сидоров**

Аннотация. Описан необходимый комплекс испытательной аппаратуры для выполнения исследования эффективности действия САЭТ по

методике RuNCAP. Измерительный комплекс позволяет оценить возможности САЭТ по распознаванию различных «целей», момент поступления сигнала предупреждения о столкновении и эффективность автоматического торможения. Приведена параметрическая запись при обработке результатов испытаний САЭТ автомобиля Subaru Outback. Для оценки своевременности поступления сигнала предупреждения о столкновении и фазы автоматического торможения используется параметр TTC (Time to collision – время до столкновения).

Ключевые слова: *RuNCAP, САЭТ, автоматическое торможение, цель, TTC, время до столкновения, полигонные испытания*

Андрей Михайлович Иванов - д.т.н., заведующий кафедрой «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Николай Викторович Попов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Максим Алексеевич Топорков - аспирант кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Денис Васильевич Сидоров - аспирант кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Введение

Системы автоматического экстренного торможения (САЭТ) в соответствии с современными тенденциями автоматизации процессов управления находят все большее применение в конструкциях современных автомобилей [1, 2]. Внедрение САЭТ, несмотря на очевидные свои положительные аспекты, ставит вопрос, до какой степени водитель может полагаться на данную систему для предотвращения ДТП. Учитывая значительное влияние САЭТ на активную безопасность автомобиля необходимо проводить оценку алгоритмов функционирования и эффективности действия подобных систем. Для этого уже существуют методики испытания

САЭТ (Правила ЕЭК ООН № 131, стандарты ИСО 15623, 22839, методика EuroNCAP), а также разрабатываются новые более совершенные способы проверки функциональных возможностей подобных систем [2]. Испытания САЭТ требуют применения большого набора современной испытательной аппаратуры.

Методика испытания САЭТ по программе RuNCAP

Кафедрой «Автомобили» МАДИ совместно со специалистами Испытательного центра «НАМИ» и журнала «Авторевю» также была предложена методика оценки эффективности действия САЭТ, учитывающая особенности эксплуатации автомобиля в российских условиях [3, 4, 7]. Данная методика была разработана в рамках внедрения программы российской независимой оценки новых автомобилей RuNCAP. Проверка функционирования САЭТ осуществляется при движении автомобиля по направлению к неподвижной стандартизованной по ISO 19206-1 «цели» (рис. 1). Испытания проводятся при освещенности испытательного участка «День» и «Ночь». Итоговая оценка эффективности действия САЭТ выражается в зачётных баллах.

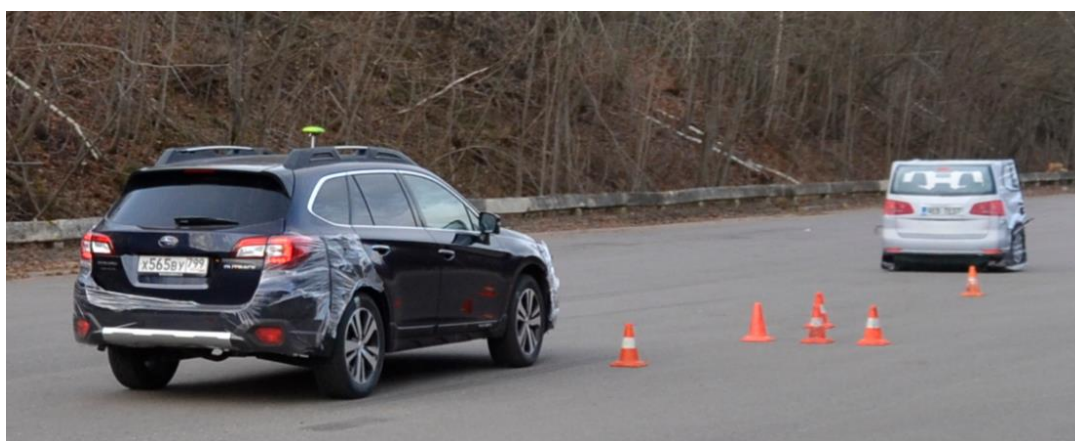


Рисунок 1 - Испытательный манёвр по методике RuNCAP (условия освещённости «День»)

Для выполнения инструментальной оценки САЭТ по методике RuNCAP необходимо решать следующие задачи:

1. осуществлять фиксацию поступления (или отсутствия) сигнала предупреждения о столкновении;
2. выполнять параметрическую запись движения объекта во время выполнения испытательного заезда (скорость, замедление, угол поворота рулевого колеса, усилие нажатия на педаль тормоза);
3. обеспечивать возможность синхронизации поступления сигнала предупреждения о столкновении с параметрической записью;

4. определять дистанцию во время заезда между автомобилем и целью;
5. оценивать эффективность автоматического торможения САЭТ.

Измерительная и регистрирующая аппаратура

Для решения перечисленных выше задач был разработан комплекс испытательной аппаратуры, включающий в себя:

- динамометрическое измерительное рулевое колесо MEASUREMENT STEERING WHEEL (MSW) фирмы KISTLER, Германия;
- датчик усилия нажатия на тормозную педаль CPFTA фирмы KISTLER, Германия;
- выносной датчик угловой скорости колеса WPT фирмы KISTLER, Германия для определения окружной скорости левого переднего колеса;
- датчик ускорений и угловых скоростей Tri-Axial Navigation alSensor (TANS) фирмы KISTLER, Германия;
- GPS антенны фирмы IMC (Германия) и JAVAD (США);
- универсальная измерительная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online фирмы IMC, Германия.

Электропитание испытательной аппаратуры обеспечивается с помощью блока распределения питания Small 12V Power Distributor Box от бортовой сети автомобиля.

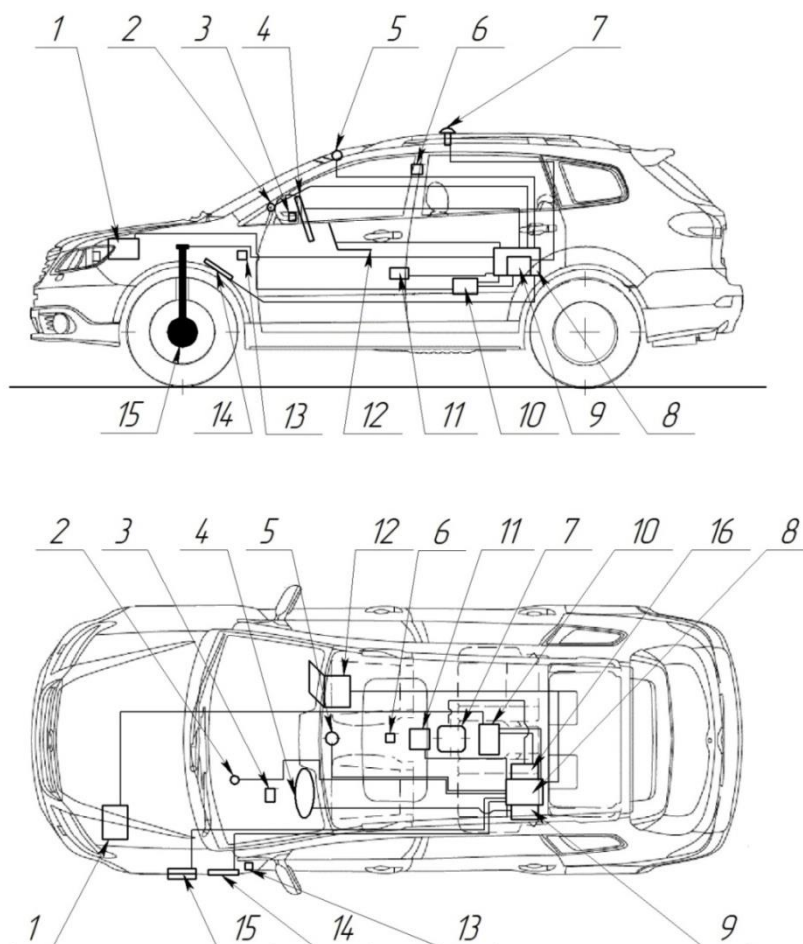
Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры на автомобиле представлено на рис. 2.

Выносной датчик угловой скорости колеса используется для оценки предельных возможностей по сцеплению колеса с опорной поверхностью на стадии автоматического торможения.

Компактная мобильная система сбора и обработки данных IMCCS 1016 FAMOSONLINE (рис.3) служит для записи регистрируемых параметров и их предварительной обработки [5]. Основной модуль располагается на заднем сидении и закреплён от перемещений в пространстве с помощью ремней безопасности автомобиля. Для удобства установки модуль IMC соединён с модулем сбора данных CDS-GPSCLOGMA от антенны JAVAD и с процессорным модулем рулевого колеса MSW. Система IMCCS 1016 FAMOSONLINE имеет 16 аналоговых, 8 цифровых, 4 инкрементных входов, 4 аналоговых, 8 цифровых выходов, слот для карты памяти, а также внутреннюю память. Для синхронизации результатов измерений в реальном времени система имеет встроенный GPS – приемник. В настройках системы IMC была установлена частота опроса датчиков в 100 Гц.

Управление измерительным комплексом и отображение данных производится при помощи портативного компьютера с установленным программным пакетом IMCDEVICES 2.7R3.

Для фиксации момента подачи аудиовизуального сигнала предупреждения о столкновении на кожухе рулевой колонки установлена видеокамера.



1 – Аккумуляторная батарея автомобиля; 2 – сигнальная лампа внутренней световой индикации; 3 – бортовая система видеофиксации; 4 – динамометрическое измерительное рулевое колесо MSW; 5 – GPS-антенна GARMIN; 6 – бортовая система видеофиксации №2; 7 – GPS/ГЛОНАСС-антенна JAVAD; 8 – компактная мобильная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online; 9 – MSW процессор; 10 – блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box; 11 – датчик ускорений и угловых скоростей TANS; 12 – ноутбук с программным обеспечением ИМС; 13 – внешняя система видеофиксации; 14 – сигнальная лампа внешней световой индикации; 15 – выносной датчик угловой скорости колеса WPT; 16 – CDS-GPS-процессор.

Рисунок 2 - Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры на автомобиле



Рисунок 3 - Измерительная система CS 1016 FAMOS Online

Метод синхронизации момента срабатывания сигнала предупреждения о столкновении с параметрической записью

Для определения параметров движения автомобиля в момент подачи аудиовизуального сигнала предупреждения о столкновении был разработан метод, позволяющий синхронизировать время подачи этого сигнала с параметрической записью испытательного заезда. Преимущество предлагаемого метода заключается в возможности фиксировать любые аудиовизуальные сигналы независимо от их природы: появление звукового сигнала, загорание контрольной лампы на панели приборов, появление сообщения на экране бортового компьютера и т.п. Недостатки метода – отсутствие возможности зафиксировать тактильные сигналы (увеличение усилия на педали акселератора, натяжение ремня безопасности, быстрый провал тормозной педали и т.п.), сложность и большое время обработки данных. Для синхронизации параметрической записи и видеозаписи применялись лампы (светодиоды) внутренней и внешней световой индикации (рис. 4). Включение режима параметрической записи сопровождается загоранием соответствующих ламп сигнализации. При этом в параметрической записи происходит фиксация момента подачи управляющего сигнала. Факт подачи управляющего сигнала и сигнала предупреждения о столкновении фиксируется видеокамерой. По записи, сделанной видеокамерой, можно синхронизировать время поступления сигнала предупреждения о столкновении с параметрической записью. Наличие внешней лампы индикации позволяет при наличии наружной видеосъемки также синхронизировать с параметрической записью все процессы, происходящие с автомо-

билем во время испытательного заезда, например, момент включения стоп-сигналов.



а)

б)

Рисунок 4 - Лампы световой индикации:

а)– внутренняя; б) – внешняя

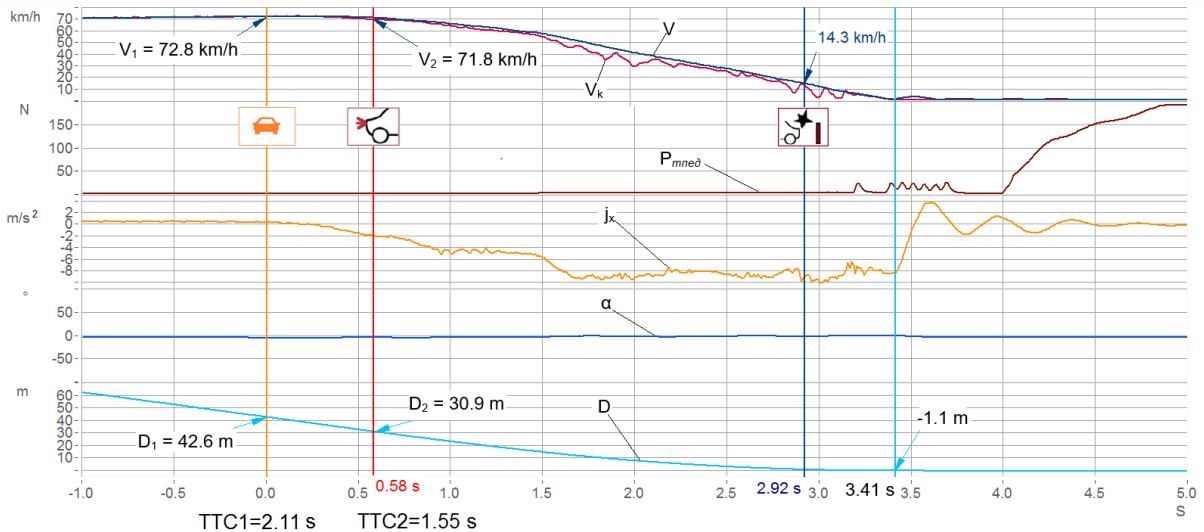
Обработка результатов испытаний

С помощью разработанного измерительного комплекса были проведены испытания САЭТ автомобиля SubaruOutback. Для обработки данных и графического построения зависимостей используется программный комплекс IMCFAMOSEnterprise. По каждому испытательному заезду строятся зависимости от времени (рис. 5):

- продольной скорости объекта испытаний (V);
- окружной скорости переднего левого колеса (V_k);
- продольного замедления (j_x);
- угла поворота рулевого колеса (α);
- расстояния от объекта испытаний до «цели» (D);
- усилия нажатия на педаль тормоза (P_{med}).

За начало отсчёта времени на графиках принимается момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении. Дистанция между ОИ и «целью» определяется по координатам системы глобального позиционирования. Способ определения дистанции представлен в [6].

Параметр ТТС – время до столкновения (Timetocollision) с неподвижной целью – позволяет оценить заблаговременность поступления предупреждения о возможном столкновении или начала автоматического торможения. Параметр ТТС рассчитывался по формуле: $TTC=D/V$, где V – скорость объекта в момент срабатывания сигнала предупреждения о столкновении или начала автоматического торможения; D – дистанция между объектом и целью в момент срабатывания предупреждения о столкновении или начала автоматического торможения.






V_1 – Продольная скорость объекта в момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении; V_2 – скорость объекта в момент столкновения с «целью»; D_1 – дистанция между объектом и «целью» в момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении; D_2 – дистанция между объектом и «целью» в момент начала автоматического торможения; $TTC1$ – время до столкновения в момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении; $TTC2$ – время до столкновения в момент начала автоматического торможения;  – момент срабатывания визуального сигнала обнаружения препятствия (оранжевая вертикальная черта);  – момент включения сигналов торможения на объекте испытаний (красная вертикальная черта);  – момент столкновения объекта с «целью» (синяя вертикальная черта).

Рисунок 5 - Пример параметрической записи испытательного заезда (состояние покрытия участка – сухой асфальт, скорость приближения – 70 км/ч, условия освещённости «День»)

Заключение

Для проведения испытаний систем автоматического экстренного торможения по методике RuNCAP разработан комплекс измерительной и регистрирующей аппаратуры. Особенности комплекса являются:

- фиксация визуального и акустического сигнала предупреждения о столкновении;
- регистрация момента включения стоп-сигналов;
- оценка эффективности автоматического торможения производится данным датчика угловой скорости переднего левого колеса;

- дистанция во время заезда между автомобилем и целью определяется по сигналам спутников глобальной системы позиционирования;
- для оценки своевременности поступления сигнала предупреждения о столкновении или начала автоматического торможения можно использовать параметр TTC (Timetocollision – время до столкновения).

Работоспособность измерительного комплекса подтверждена проведенными испытаниями автомобиля Subaru Outback. Подобный измерительный комплекс может быть использован при испытаниях САЭТ по другим перечисленным выше методикам.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России.

Список использованной литературы

1. Малиновский, М.П. Предпосылки к разработке современных систем предупреждающего и автономного управления движением / М.П. Малиновский // Труды НАМИ. – 2017. – № 1 (268). – С. 53-59.
2. Методики тестирования автоматизированных систем управления автомобилем / В.М. Приходько, А.М. Иванов, В.Б. Борисевич, С.С. Шадрин // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 4 (51). – С. 10-15.
3. Иванов, А.М. Новые методы испытаний систем автоматического экстренного торможения и опыт их применения / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, М.А. Топорков, М.И. Исакова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2018. – № 2 (121). – С. 146-155.
4. Ivanov, A.M., Kristalnyi, S.R., Popov, N.V., Toporkov, M.A., Isakova, M.I. New testing methods of automatic emergency braking systems and the experience of their application / A.M. Ivanov, S.R. Kristalnyi, N.V. Popov, M.A. Toporkov, M.I. Isakova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 386. – Issue 1. – 30 July 2018. –Номерстатьи012019.
5. Испытания колёсных транспортных средств: учебное пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов. – М.: МАДИ, 2018. – 124 с.
6. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере. – URL: http://gis-lab.info/qa/great-circles.html#.D0.A4.D0.BE.D1.80.D0.BC.D1.83.D0.BB.D0.B0_.D0.B3.D0.B0.D0.B2.D0.B5.D1.80.D1.81.D0.B8.D0.BD.D1.83.D1.81.D0.BE.D0.B2.
7. Методика RuNCAP – URL: <http://www.autoengineer.org/runcap1/metodika.html>

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ШИПОВАННЫХ ШИН В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, Д.В. Сидоров

Аннотация. В статье описываются принципы преобразования автомобиля в шинный тестер. Приводится методика определения зависимости продольного коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью от величины относительного скольжения колеса. Конструкция шинного тестера была реализована на базе заднеприводного автомобиля. Особенностью конструкции шинного тестера является заблокированный задний дифференциал. С помощью шинного тестера определены сцепные характеристики спортивной шипованной шины Larronia Taki95 на льду. Обработка результатов испытаний выполнена в программном комплексе ИМС FAMOS Enterprise.

Ключевые слова: шинный тестер, испытания, коэффициент сцепления, относительное скольжение, шипованные шины.

Андрей Михайлович Иванов - д.т.н., заведующий кафедрой «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Сергей Робертович Кристальный - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Николай Викторович Попов - к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Денис Васильевич Сидоров - аспирант кафедры «Автомобили», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, тел.: (499) 155-08-04, E-mail: auto@madi.ru.

Введение

Сцепные характеристики шины с опорной поверхностью определяют характер движения автомобиля. Коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью ϕ зависит от многих факторов: конструкции шины, нагрузки

на колесо, типа и состояния опорной поверхности, скорости движения автомобиля, относительного проскальзывания колеса и т.д. [1]. Для правильной настройки алгоритмов управления электронными системами активной безопасности автомобиля, воздействующих на тормозные механизмы (антиблокировочная система тормозов, электронная система контроля устойчивости, система автоматического экстренного торможения и др.) используется зависимость коэффициента сцепления в продольном направлении от относительного проскальзывания ($\varphi - S$ диаграмма) [2]. Подобную зависимость можно получить с помощью шинного тестера или на стенде [3, 4, 5]. Преимущества и недостатки этих методов описаны в [6]. Перспективным методом определения $\varphi - S$ диаграммы является использование автомобиля в качестве шинного тестера [7]. Однако этот метод имеет следующие недостатки:

- большая трудоемкость обработки результатов испытаний;
- необходимость проведения большого количества экспериментальных заездов для построения $\varphi - S$ диаграмм;
- возможность разного проскальзывания левого и правого колеса;
- необходимость применения большого количества измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Устранение этих недостатков будет способствовать увеличению производительности испытательного процесса, повышению точности и достоверности получаемых данных.

Принцип преобразования автомобиля в шинный тестер

Для переоборудования автомобиля в шинный тестер требуется [7]:

- 1) обеспечить затормаживание только одной осью (необходимо предусмотреть возможность полного отключения тормозных механизмов одной оси при сохранении работоспособности тормозных механизмов другой оси);
- 2) установить измерительную и регистрирующую аппаратуру для определения скорости автомобиля, продольного ускорения (замедления), окружной скорости колёс, усилия на тормозной педали.
- 3) обеспечить равномерную статическую нагрузку на колёса затормаживаемой оси.

Изменение скольжения колёс затормаживаемой оси обеспечивается рабочей тормозной системой автомобиля.

Дополнительно предлагаются следующие доработки конструкции автомобиля – шинного тестера:

- обеспечение синхронизации вращения колёс затормаживаемой оси с помощью блокировки межколёсного дифференциала;
- отключение вакуумного усилителя в тормозном приводе для увеличения точности дозирования тормозного усилия.

Синхронизация вращения затормаживаемых колёс позволит реализовать одинаковое проскальзывание правого и левого колеса, а, следовательно, сократить время на обработку данных, получаемых при испытаниях. Коэффициент сцепления шин левого и правого колеса с опорной поверхностью считается одинаковым, что обеспечивается соответствующим состоянием покрышек и испытательной площадки.

В качестве автомобиля-шинного тестера предлагается использовать заднеприводный автомобиль с заблокированным дифференциалом. Применение блокировки дифференциала на переднеприводном автомобиле нецелесообразно из-за большего влияния на управляемость и устойчивость автомобиля.

С помощью предлагаемого шинного тестера возможно также определение сцепных характеристик шин в тяговом режиме (зависимость фот буксования δ).

Отключение вакуумного усилителя позволит водителю-испытателю более плавно регулировать скольжение колёс затормаживаемой оси. Это повысит точность определения $\varphi - S$ диаграмм.

Методика определения $\varphi - S$ диаграммы

Продольный коэффициент сцепления φ_x определяется расчётно-экспериментальным способом [8]. Продольный коэффициент сцепления φ_x представляет собой отношение продольной тормозной силы R_x , реализуемой в пятне контакта затормаживаемых колёс, к динамической вертикальной нагрузке на эту ось R_{zdyn} [1]

$$\varphi_x = \frac{R_x}{R_{zdyn}} \quad (1)$$

Тормозная сила R_x рассчитывается на основании измеренного замедления автомобиля j_3 с учётом величины сопротивления качению незаторможённой оси. Динамическая вертикальная нагрузка R_{zdyn} на затормаживаемую ось рассчитывается с учётом её разгрузки в процессе торможения.

Относительное скольжение S затормаживаемого колеса определяется по формуле

$$S = \frac{V_a - \omega \cdot r_{KB}}{V_a} \quad (2)$$

где V_a – линейная скорость автомобиля, м/с;
 ω – угловая скорость тормозящего колеса, рад/с;
 r_{KB} – кинематический радиус колеса в ведомом режиме, м.

Продольный коэффициент сцепления рассчитывается по формуле

$$\varphi_x = \frac{m_a \cdot j_3 - \left(R_{z1stat} + \frac{h_g}{L} \cdot j_3 \cdot m_a \right) \cdot f_1}{R_{z2stat} - \frac{h_g}{L} \cdot j_3 \cdot m_a} \quad (3)$$

где m_a – масса автомобиля, кг;
 j_3 – замедление автомобиля, m/c^2 ;
 f_1 – коэффициент сопротивления качению передних колёс;
 R_{z1stat} – нормальная реакция опорной поверхности на колёса передней оси в статических условиях, Н;
 R_{z2stat} – нормальная реакция опорной поверхности на колёса задней оси в статических условиях, Н;
 h_g – высота центра масс, мм;
 L – база, мм.

Коэффициент сопротивления качению колёс передней оси принимается равным $f_1=0,01$ на основании предписаний Правил ЕЭК ООН № 13Н-00 [8].

Подробно методика испытаний по определению φ_x изложена в [8].

По формулам (2) и (3) может быть получен массив данных относительных скольжений и коэффициентов сцепления ($\varphi - S$ диаграмма).

Описание проведенных испытаний

В шинный тестер был переоборудован заднеприводный автомобиль ВАЗ-2102. Данный автомобиль удовлетворяет выдвинутым выше требованиям и может быть легко подвергнут необходимым доработкам. Автомобиль имеет механическую коробку передач и гидравлический привод тормозных механизмов.

Блокировка заднего дифференциала была осуществлена сваркой между собой сателлитов и шестерен полуосей.

Для обеспечения затормаживания только задней оси автомобиля тормозные шланги передних тормозных механизмов были пережаты специальными зажимами. Отключение вакуумного усилителя производилось путем демонтажа шланга, идущего от вакуумного усилителя к впускному коллектору двигателя.

Окружная скорость колёс затормаживаемой осии определялась установленным на заднее левое колесо датчиком WPT фирмы KISTLER, Германия.

Замедление автомобиля измерялось с помощью датчика ускорений и угловых скоростей Tri-Axial Navigational Sensor (TANS) фирмы KISTLER (Германия).

Для определения скорости автомобиля был установлен модуль сбора данных CDS-GPS CLOGMA фирмы KISTLER с антенной GPS/ГЛОНАСС фирмы JAVAD (США).

Усилие нажатия на педаль тормоза в процессе торможения фиксировалось с помощью датчика CPFTA фирмы KISTLER.

Универсальная измерительная система CS 1016 FAMOS Online фирмы IMC (Германия) обеспечивала синхронизированную запись и обработку регистрируемых параметров. Модуль сбора данных CDS-GPS CLOGMA был соединён с системой CS 1016 FAMOS Online по шине CAN [9].

Электропитание измерительной и регистрирующей аппаратуры осуществлялось от бортовой сети автомобиля.

С помощью шинного тестера были получены сцепные характеристики спортивных шипованных шин Lapronia Taki 95. Характеристики шины: высота шипа – 4,5 мм, количество шипов – 176 шт., посадочный диаметр обода – 14 дюймов, ширина профиля – 155 см, отношение высоты профиля к ширине – 80 %. Испытательные шины были установлены только на заднюю ось автомобиля.



Рисунок 1 - Шины Lapronia Taki 95

Для получения $\varphi - S$ диаграммы шины Lapronia Taki 95 были проведены испытательные заезды на льду. Автомобиль затормаживался задними тормозными механизмами со скорости 40 км/ч до полной остановки. Во время заезда водитель-испытатель с различным усилием воздействовал на

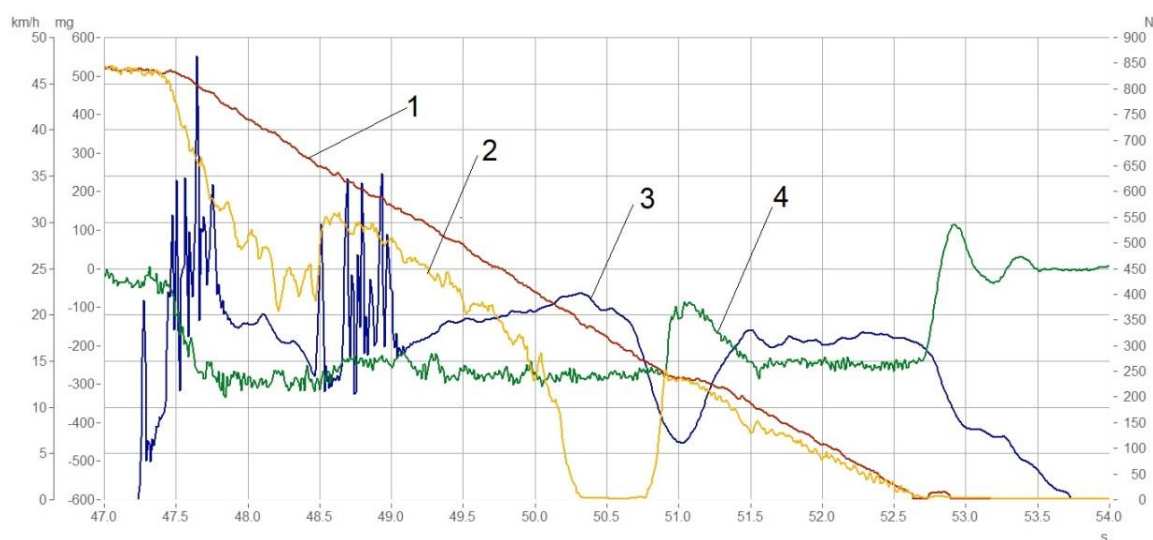
педаль тормоза. Двигатель отключался от трансмиссии (сцепление выключено).

Лёд был наморожен на прямолинейном горизонтальном участке для оценки тормозных свойств автомобилей Центра испытаний НАМИ. Заезды по испытательному участку были выполнены в одну и другую сторону.

Высота центра масс была определена по методике Центра испытаний НАМИ [10].

Результаты проведённых испытаний

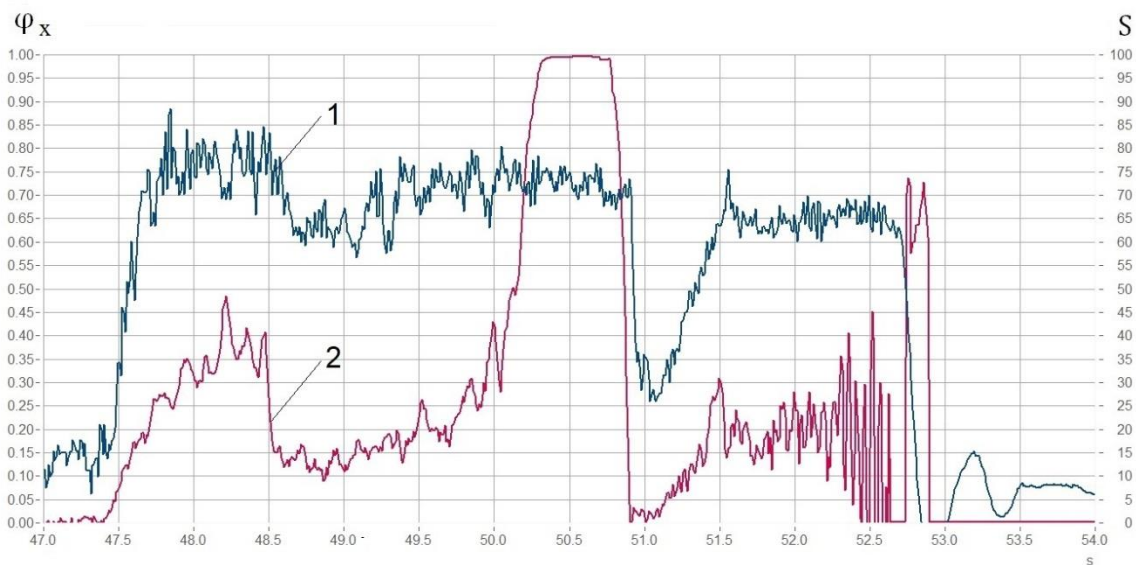
Обработка записанных результатов измерений производилась с помощью программного комплекса IMCFAMOSEnterprise. Записи параметров движения автомобиля в графическом виде при проведении типового заезда по определению коэффициента сцепления приведены на рис. 2.



1 – Скорость автомобиля по датчику GPS; 2 – скорость автомобиля по колесному датчику скорости; 3 – сила нажатия на педаль тормоза; 4 – продольное замедление автомобиля

Рисунок 2 - Графическая запись параметров движения

Для расчета относительного скольжения S и коэффициента сцепления φ_x в программу IMCFAMOSEnterprise были заложены формулы (2) и (3). Рассчитанные значения S и φ_x в зависимости от текущего времени в заезде представлены на рис. 3.



1 – Коэффициент сцепления φ_x ; 2 –скольжение колеса S.

Рисунок 3 - Расчётные значения коэффициента сцепления φ_x и скольжения колеса S

Программа IMCFAMOSEnterprise позволяет автоматически получить из графиков на рис. 3 массив данных коэффициентов сцепления и относительных скольжений и провести огибающую линию ($\varphi_x - S$ диаграмму) (рис. 4).

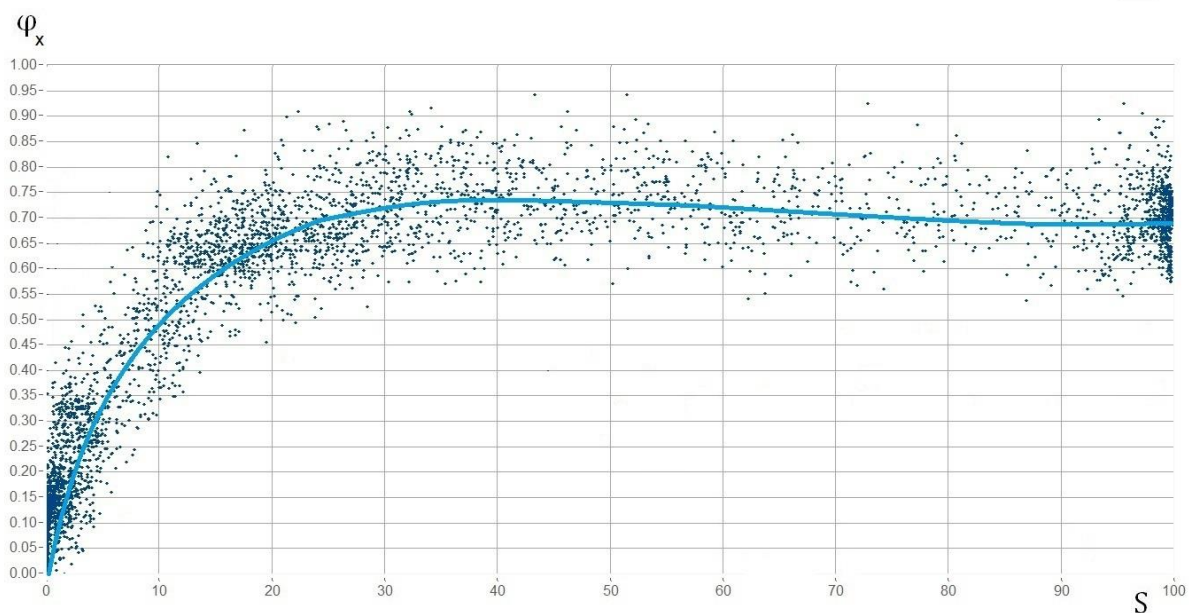


Рисунок 4 - $\varphi_x - S$ диаграмма шипованной шины Lapronia Taki 95

Заключение

Разработан усовершенствованный шинный тестер на базе заднеприводного легкового автомобиля. Предложенный шинный тестер может быть использован для оценки характеристик сцепных свойств различных шин, в том числе шипованных, в тормозном и тяговых режимах качения колеса.

Преимуществами шинного тестера являются:

- сокращение времени на проведение и обработку результатов испытаний;
- высокая точность результатов испытаний;
- меньшее количество необходимой испытательной аппаратуры.

С помощью разработанного шинного тестера проведены испытания зимней спортивной шины LaproniaTaki95 с длиной шипа 4,5 мм и определена её $\varphi - S$ диаграмма. В тормозном режиме максимальный коэффициент сцепления $\varphi_x=0,74$ обеспечивается при критическом скольжении в 40 %.

Применение программного комплекса IMCFAMOS Enterprise позволяет значительно ускорить обработку испытательных данных.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России.

Список использованной литературы

1. Иванов, А.М. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [А.М. Иванов и др.]; под.общ. ред. А.М. Иванова. – М.: Изд. центр «Академия», 2013. – 176 с.
2. Кристальный, С.Р. Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых шипованными шинами / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 8. – С. 20-22;
3. Никульников, Э.Н. Шинные тестеры – инструмент метрологической аттестации испытательных участков дорожных поверхностей с различными коэффициентами сцепления/ Э.Н. Никульников, А.А. Барашков, А.А. Логунов // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 6. – С. 34-38.
4. Никульников Э.Н. Шинные тестеры / Э.Н. Никульников, А.А. Барашков // Автомобильная промышленность. – 2000. №12. – С. 28-31
5. Испытания шин на барабанном стенде на полимернобетонном покрытии и на льду [<http://www.sibadi.org/about/department/84/1458/>].
6. Кристальный, С.Р. Шинный тестер для исследования характеристик шипованных шин / С.Р. Кристальный, В.Н. Задворнов, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. – 2013. – № 3 (34). – С. 10-17.

7. Adhesion properties of studded tires study. Ivanov A.M., Gaevskiy V.V., Kristalnyi S.R., Popov N.V., Shadrin S.S., Fomichev V.A. Journal of Industrial Pollution Control. 2017. T. 33. № 1. С. 988-993.

8. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking. – URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R13hr3e_.pdf.

9. Испытания колёсных транспортных средств: учебное пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов. – М.: МАДИ, 2018. – 124 с.

10. РД 37.052.207-89 Методика определения координат центра масс легкового автомобиля – Дмитров: 1989. – 18 с.

УДК 621.43.057

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ТОПЛИВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Э. Г. Сафаров, Е. А. Захаров, В. А. Алимов, Е. А. Федянов

***Аннотация.** В работе рассмотрены пути повышения эффективности использования пропан-бутановых композиций на борту автомобиля. Приведены основные причины уменьшения мощности при переходе с бензина на пропан-бутан и проанализированы пути их решения путём изменения условий подачи на впуск двигателя, а также применение термодинамической рекуперации теплоты отработавших газов.*

Ключевые слова: бензин, пропан-бутан, сжиженный углеводородный газ, добавка к топливу, синтез-газ, водород.

Эмин Гамза-оглы Сафаров - аспирант кафедры “Теплотехника и гидравлика”, Волгоградский государственный технический университет, тел.: +79270611148, E-mail: emin.safarov@mail.ru.

Василий Александрович Алимов - аспирант кафедры “Теплотехника и гидравлика”, Волгоградский государственный технический университет, тел.: +79053308508, E-mail: vaalimov34@gmail.com.

Евгений Алесандрович Захаров - к.т.н., заведующий кафедрой “Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей”, Волгоградский государственный технический университет, тел.: 97-49-57, E-mail: zaharov_ea@vstu.ru.

Евгений Алексеевич Федянов - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Теплотехника и гидравлика”, Волгоградский государственный технический университет, тел.:24-80-40, E-mail: fedyanov@vstu.ru.

Увеличение числа автомобилей, работающих на газовых топливах, в последние годы неуклонно растёт. Главным образом это обусловлено более низкой стоимостью этих топлив по сравнению с бензином и дизельным топливом.

Перевод автомобильного двигателя с искровым зажиганием, предназначенного для работы на бензине, на газовое топливо улучшает его экологические характеристики, но, вместе с тем, приводит к некоторому снижению мощности. Учитывая тот факт, что в настоящее время чаще всего реализуется концепция двухтопливного двигателя, суть которой заключается в том, что существующий бензиновый двигатель дополнительно оснащается газобаллонным оборудованием, проблема повышения мощности газовых автомобильных двигателей приобретает особое значение.

При переводе бензинового двигателя на питание сжиженным углеводородным газом (пропан-бутаном) снижение мощности, как утверждает многими исследователями, составляет 5...7%[1]. При этом во многих работах данное снижение мощности объясняют меньшей теплотой сгорания смесей пропан-бутана с воздухом по сравнению с бензовоздушными смесями.

Проведенные нами расчёты показывают, что указанное различие теплот сгорания не является главной причиной снижения мощности. Так, теплота сгорания стехиометрической смеси воздуха и пропан-бутана, в котором первый компонент по массе составляет 55%, равно 2,76 МДж/кг (при расчёте теплоты сгорания пропана и бутана взяты согласно справочным данным 46,4 и 45,66 МДж/кг соответственно[2]). Принимая теплоту сгорания бензина 44 МДж/кг [3], получаем, что теплота сгорания стехиометрической бензовоздушной смеси составляет 2,714 МДж/кг. Таким образом, теплота сгорания бензовоздушной смеси может быть даже несколько меньше, чем теплота сгорания смеси пропан-бутана с воздухом.

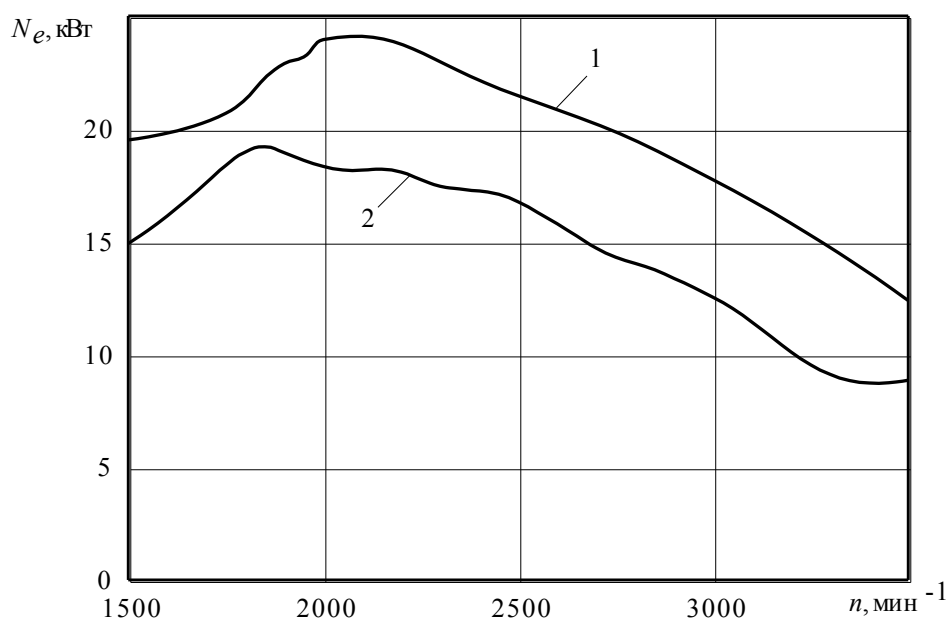
В зависимости от углеводородного состава теплота сгорания бензинов варьируется, как следует из опубликованных данных, в интервале от 43 до 48 МДж/кг. Не является строго определённой величиной и теплота сгорания пропан-бутановых смесей, в которых стандартом задаётся лишь содержание пропана. Исходя из вышесказанного, можно считать, что теплоты сгорания бензовоздушных и пропан-бутановоздушных смесей примерно одинаковы.

Основные причины уменьшения мощности при переходе с бензина на пропан-бутан связаны с условиями подачи этих видов топлива и формирования топливовоздушных смесей. Только за счёт различной плотности топливовоздушных стехиометрических смесей этих двух видов топли-

ва с воздухом масса пропан-бутановоздушной смеси в цилиндре оказывается, при прочих равных условиях, на 2,3% меньше, чем бензовоздушной смеси. Подогрев воздуха на впуске, способствующий испарению бензина, отрицательно влияет на наполнение цилиндров пропан-бутановоздушной смесью.

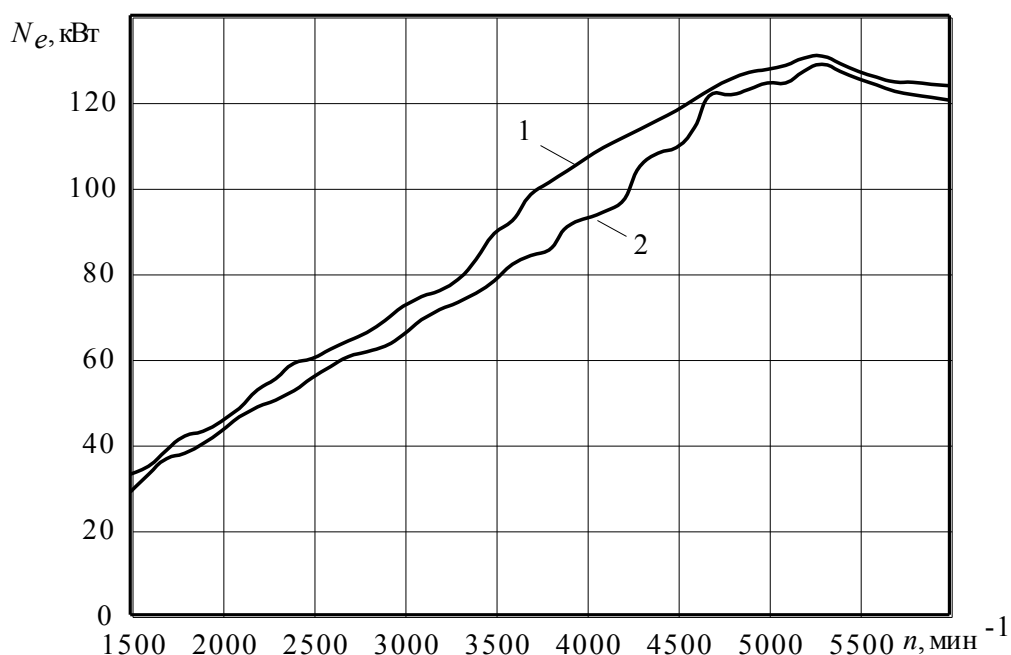
Роль, которую играют условия подачи пропан-бутана на впуск двигателя, хорошо иллюстрируют результаты проведенных в ВолгГТУ сравнительных испытаний автомобилей с газобаллонной аппаратурой 1-го и 4-го поколений [4]. Аппаратура 1-го поколения была установлена на карбюраторный двигатель автомобиля ГАЗ-24 «Волга». Пропан-бутан поступал в неразветвленную часть обогреваемого коллектора. Аппаратура 4-го поколения с распределённой подачей газа была испытана на автомобиле HyundaiSonata, оснащённым в базовой комплектации системой распределённого впрыскивания бензина.

Полученные в результате испытаний характеристики приведены на рис. 1 и 2.



1 – Работа на бензине; 2 – работа на СУГ.

Рисунок 1 - Характеристика двигателя автомобиля ГАЗ-24 «Волга»



1 – Работа на бензине; 2 – работа на СУГ.

Рисунок 2 - Характеристика двигателя автомобиля Hyundai Sonata

Как видно, снижение мощности двигателя автомобиля ГАЗ-24 «Волга» при переводе его на питание пропан-бутаном достигает 24%, в то время как у двигателя автомобиля Hyundai Sonata оно не превышает 10%.

Следующим этапом в развитии систем питания двигателей, работающих на сжиженном углеводородном газе, должен стать переход к распределённому впрыскиванию топлива в жидкой фазе с последующим быстрым переходом в газовую фазу непосредственно перед впускными клапанами. Испытания двигателей с таким вариантом газобаллонной аппаратуры [5] свидетельствуют о том, что на пропан-бутане эффективная мощность оказывается выше, чем при работе на бензине. На рис. 3 приведены данные из работы [5] – наложенные друг на друга индикаторные диаграммы четырёхцилиндрового двигателя S4PHc рабочим объемом 1,6 дм³, снятые при его работе на бензине и на пропан-бутане. Видно, что скорость сгорания пропан-бутана выше и индикаторная работа циклов больше. Вместе с тем в указанной работе подчёркивается, что в этом варианте топливоподачи выбросы оксидов азота, оксидов углерода и несгоревших углеводородов при работе на пропан-бутане превышают выброс тех же токсичных компонентов при работе двигателя на бензине.

Анализируя характер протекания процесса сгорания по индикаторным диаграммам на рис. 3, можно предположить, что путём подбора регулировок (в первую очередь регулировок угла опережения зажигания)

удастся обеспечить практически одинаковую мощность двигателя на пропан-бутане и бензине без ухудшения его экологических характеристик.

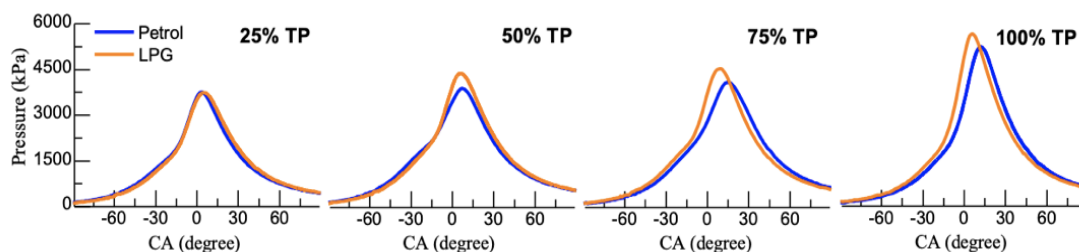


Рисунок 3 - Индикаторные диаграммы работы двигателя на бензине и сжиженном нефтяном газе при различном открытии дроссельной заслонки

Ещё одним перспективным направлением улучшения показателей двигателей, работающих на пропан-бутановых композициях, является применение термохимической рекуперации теплоты отработавших газов. Непосредственно на борту автомобиля за счёт теплоты отработавших газов двигателя часть пропан-бутана, поступающего в двигатель, преобразуется в каталитическом конверторе в синтез-газ, содержащий свободный водород. Синтез-газ подводится в основную пропан-бутановоздушную смесь на впуске в двигатель. Обладающий высокой химической активностью свободный водород ускоряет процесс сгорания и повышает его полноту.

Проведённые нами теоретические (с помощью математического моделирования) и экспериментальные (в условиях камеры сгорания постоянного объёма и двигателя ВАЗ 11194) исследования подтвердили, что добавки синтез-газа заметно сокращают продолжительность сгорания пропан-бутана и способствуют тем самым повышению КПД двигателя. Промотирующее действие добавок синтез-газа иллюстрируют приведенные на рис. 4 индикаторные диаграммы двигателя, работающего на пропан-бутане, а также на пропан-бутане с добавкой 3% и 10% по массе синтез-газа соответственно. Индицирование было проведено с помощью датчиков-свечей фирмы Kistler. В экспериментах синтез-газ приготавливался искусственно смешением газообразных водорода и диоксида углерода. Массовое содержание водорода в синтез-газе составляло 11,5 %.

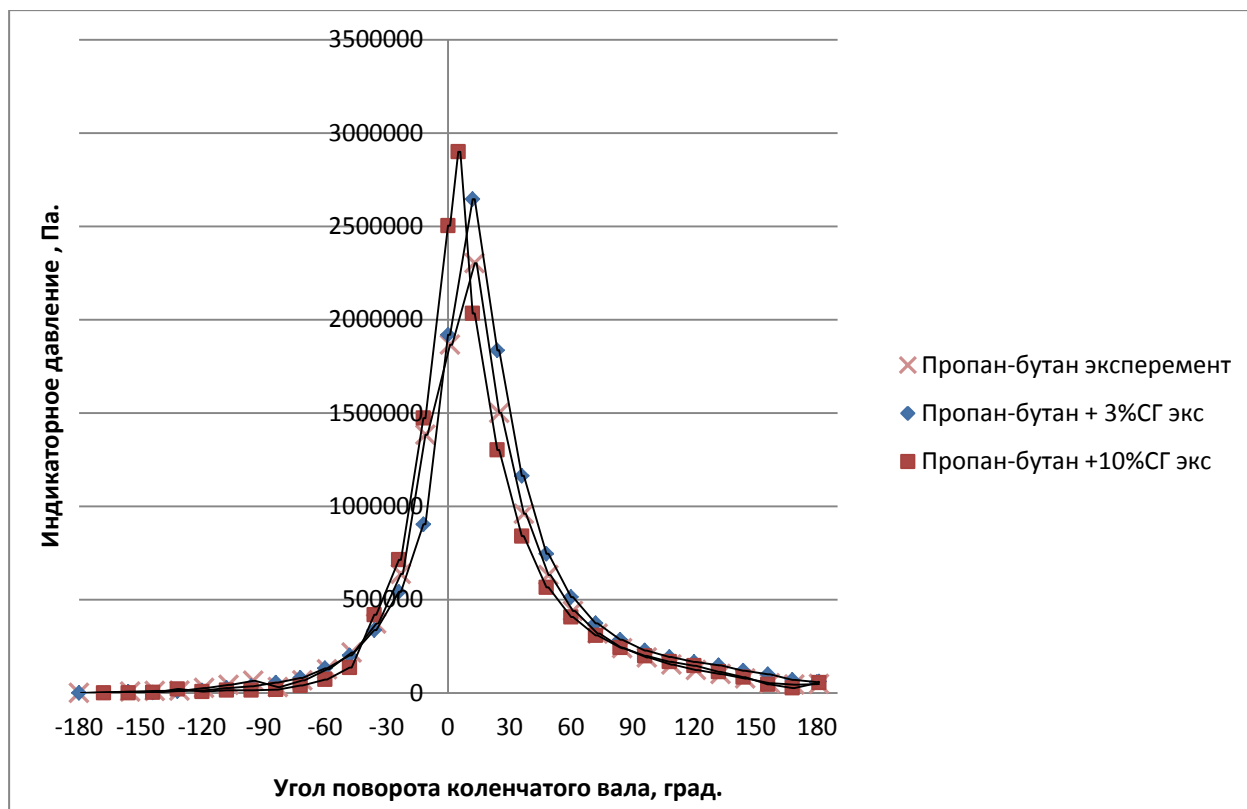


Рисунок 4 - Экспериментально полученная индикаторная диаграмма работы ДВС ВАЗ 11194

Наблюдаемый на индикаторных диаграммах рост максимального давления цикла и смещение точки достижения этого давления в сторону ВМТ указывает на то, что при добавках синтез-газа к пропан-бутановоздушной смеси необходимо изменять регулировки угла опережения зажигания в сторону меньших значений. Это обеспечит повышение работы циклов без существенного увеличения содержания в отработавших газах оксидов азота.

По нашему мнению, комплексное применение в автомобильных двигателях, работающих на пропан-бутане, газобаллонной аппаратуры с распределенным впрыскиванием жидкого пропан-бутана и термохимической рекуперации теплоты обеспечит этим двигателям более высокую эффективную мощность при лучших экологических характеристиках, чем при работе на бензине.

Список использованных источников

1. Панов, Ю.В. Установка и эксплуатация газобаллонного оборудования автомобилей / Ю.В. Панов. – М.: Издательский центр Академия, 2007.

2. Газовые топлива и их компоненты. Свойства, получение, применение, экология: справочник / В. Н. Бакунин, Е. М. Брещенко, Н. Ф. Дубовкин, О. Н. Фаворский. – М.:Издательский дом МЭИ, 2009. –614 с.

3. Автомобильные двигатели / Под ред. М. С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.

4. Снижение расхода сжиженного углеводородного газа ДВС с искровым зажиганием за счёт настроек газобаллонного оборудования / Захаров Е.А., Левин Ю.В., Потапов П.В., Моисеев Я.Г., Статирский Р.К., Лыков Д.И. // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 5 (17). – С. 44-47.

5. Mustaffa, N. Experimental analysis of liquid LPG injection on the combustion, performance and emissions in a spark ignition engine /N. Mustaffa, M. Fawzi, S. A. Osman, M. M. Tukiman. –Proc. IOP Conference Series, 2018. – pp. 1–12.

УДК 629.076

ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ПОЕЗДОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ БУКСИРНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИЦЕПОВ

Ю.Н. Строганов, А.И. Попова

***Аннотация.** Применение автомобильных и тракторных транспортных поездов – важнейшее средство повышения производительности труда при выполнении перевозок для нужд промышленности, строительства, сельского хозяйства. Автотракторный поезд, в то же время, является сложной машиной, как правило, менее маневренной, чем одиночное транспортное средство. Превышение скоростного режима движения, особенно автотранспортных поездов, приводит к нарушению их устойчивого движения, особенно как на прямолинейных, так и на криволинейных участках траектории, или в условиях повышенной сложности движения. Традиционным способом предотвращения подобного является ограничение скоростного режима, что не гарантирует сколько-нибудь приемлемого результата. Остальные способы решения данной проблемы свой потенциал практически исчерпали. Следует отметить, что возможность решения данного вопроса осложняется отсутствием единой теории поведения и перемещения на дорожной трассе автотранспортных поездов, что вынуждает применять, в основном, ограничительные меры. Авторами выдвинуто научное предположение о возможности повышения безопасности движения автотранспортных поездов за счет по-*

вышения устойчивости траектории их перемещения на дорожной трассе посредством воздействия на конструктивные характеристики тягово-цепных устройств автотракторных поездов, повышающих стабильность курсового движения автотранспортного поезда посредством повышения коэффициента затухания боковых колебаний прицепа после воздействия на него боковых возмущающих сил. Авторами предложено более 55 технических решений по совершенствованию тягово-цепных устройств автотракторных поездов, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения и патентами и обеспечивающих повышение безопасности эксплуатации автотракторных поездов в различных дорожных условиях.

Ключевые слова: *автотранспортный поезд, прицеп, дорожно-транспортное происшествие, устойчивость движения, безопасность движения.*

Юрий Николаевич Строганов - канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, РФ), E-mail: yurij.stroganov@mail.ru.

Анастасия Ивановна Попова - магистрант, ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, РФ).

ВВЕДЕНИЕ

Применение автомобильных и тракторных транспортных поездов – важнейшее средство повышения производительности труда при выполнении перевозок для нужд промышленности, строительства, сельского хозяйства и позволяет существенно расширить номенклатуру перевозимых транспортом грузов и специального оборудования. Автомобильные и тракторные поезда являются сложными машинами, как правило, менее маневренными, чем одиночные транспортные средства.

Тракторные поезда с прицепами значительно реже используются на дорогах общего пользования и применяются, в основном, при уборке урожая и перевозках его внутри предприятий агропромышленного комплекса, в коммунальном хозяйстве при выполнении работ, в качестве внутризаводского транспорта и в других отраслях, где высокая скорость не важна. При этом следует отметить, что современные энергонасыщенные колесные тракторы, поступающие в эксплуатацию, имеют достаточно высокие скоростные показатели (более 80 км/час) и могут вполне конкурировать с автомобильными поездами на дорогах общего пользования. К сожалению, тракторные прицепы, поступающие в эксплуатацию, по сравнению с тракторами, практически мало совершенствовались, и по своим техническим

характеристикам (устойчивость прямолинейного движения, маневровые показатели и др.) и конструктивной безопасности не позволяют использовать в полной мере скоростные возможности современных колесных тракторов ввиду ограничения скоростей при эксплуатации таких прицепов. Механизмы стабилизации передних колес прицепов с поворотным кругом практически не применяются [1].

Статистика дорожно-транспортных происшествий за 2017 г. по данным ГИБДД по Свердловской области [2] показывает, что всего было зарегистрировано 2120 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), из них с участием грузового транспорта – 108 ДТП, из которых 87 произошли с участием автомобильных поездов, что составляет 80,5%, при этом число автопоездов на дорогах гораздо меньше одиночных транспортных средств, что подтверждает повышенную опасность аварийности на дорогах именно автопоездов. Учитывая вышеизложенное, отметим, что повышение безопасности автотракторных поездов продолжает оставаться важнейшей проблемой при их эксплуатации.

Как показывает анализ аварийности автотракторных поездов, основной причиной аварий является нарушение устойчивости их движения как при прямолинейном движении (выезд на встречную полосу, уход за пределы дорожного полотна и пр.), так и, особенно, при криволинейном (потеря поперечной устойчивости, выезд на встречную полосу, опрокидывание и пр.) движении по трассе.

Особенно острой данная проблема является для длинномерных транспортных (автомобильных и тракторных) поездов [3,4,5]. И ее актуальность только нарастает по мере увеличения длины автопоезда (количества и размеров прицепных звеньев).

Исходя из изложенного, можно заключить, что основной задачей повышения безаварийности движения автотранспортных поездов является обеспечение устойчивости их движения на выбранной (оптимальной) траектории дорожной трассы.

К частным, локальным задачам (с точки зрения технического совершенствования автотракторных поездов) при обеспечении устойчивости их движения также относятся:

- повышение устойчивости курсового движения и устойчивости против опрокидывания на повороте;
- повышение маневренных свойств автотракторных поездов.

В данном случае под устойчивостью курсового движения автопоезда мы понимаем отсутствие отклонений от заданной (оптимальной) траектории перемещения автотранспортного поезда (и его отдельных элементов) в пределах выделенной для движения полосы дорожной трассы.

Одновременно следует отметить, что потеря подобной устойчивости является одной из основных причин ДТП [5] с участием автотранспортных поездов.

Авторами данной работы высказано предположение о возможности воздействия на безопасность движения автотракторных поездов посредством повышения устойчивости движения прицепа путем улучшения стабилизации передней поворотной тележки, которое может быть достигнуто путем модернизации конструкций тягово-сцепных устройств прицепов. Под стабилизацией колес передней поворотной тележки двухосного прицепа следует понимать свойство сохранять нейтральное положение, соответствующее прямолинейному движению, и возвращаться на заданную траекторию после снятия внешних силовых воздействий (или даже при их наличии).

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Важным требованием по условиям безопасности движения автомобильных и тракторных поездов является максимально допустимая величина боковых отклонений при поперечных колебаниях (вилянии) прицепа. Этот вид нарушения устойчивости движения увеличивает габаритную полосу движения транспортного средства, способствует его боковому скольжению и, следовательно, может создавать угрозу безопасности движения как самому транспортному поезду, так и встречному и обгоняющему транспорту.

Для управления передними колесами двухосных прицепов, в основном, применяются два типа механизмов: 1) механизм поворота колес посредством рулевой трапеции аналогичной автомобильной, 2) механизм поворота колес, установленных на поворотной тележке, соединенной с рамой прицепа через поворотный круг, представляющий собой, чаще всего, шариковый подшипник большого диаметра.

Для автомобильных и тракторных прицепов, снабженных рулевой трапецией, стабилизация передних колес достигается за счет продольного наклона шкворней [5, 6] поворотных цапф. Этим обеспечивается правильное качение колес по дороге и улучшается их стабилизация.

Для стабилизации передних колес прицепов, снабженных поворотной тележкой, соединенной с рамой прицепа через поворотный круг, из литературных и патентных источников известны различные виды электро-механических, гидравлических и других стабилизирующих устройств. Ряд устройств запатентован авторами данной работы [7–15].

Стабилизирующие устройства электромеханического, гидравлического типа и другие устройства, рассматриваемые в литературных и патентных источниках, довольно сложны в изготовлении и недостаточно надежны, поэтому применения в эксплуатации они не получили.

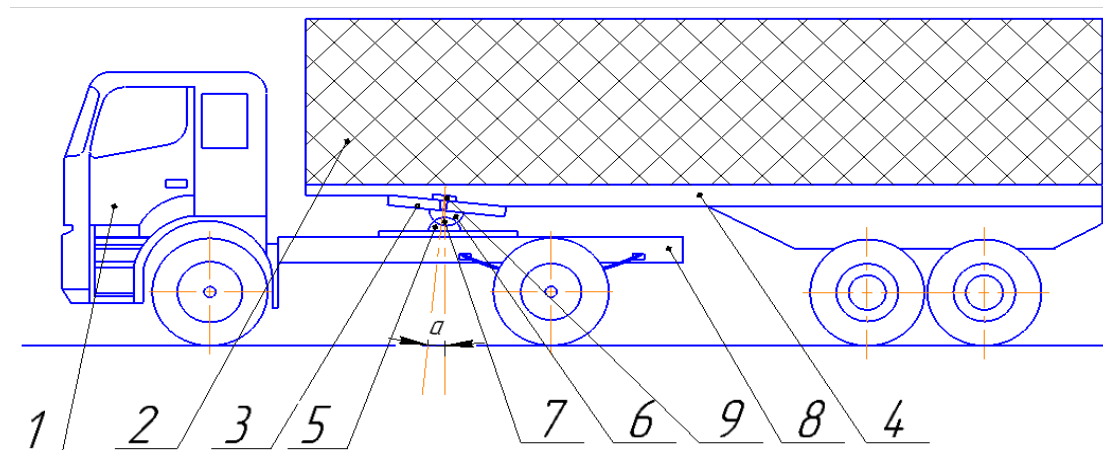
Более простыми, на наш взгляд, и перспективными для реализации представляются технические решения стабилизирующих устройств для передней колесной тележки двухосного прицепа с поворотным кругом, а также для автопоезда с полуприцепом – поворотные устройства, запатен-

тованные авторами данного исследования [10,12,13,14], кинематические схемы которых содержат продольно-наклонную ось вращения (наклонный шкворень) поворотного круга.

На двухосных прицепах с поворотным кругом угол μ продольного наклона шкворня ранее не применялся. Его установка может быть обеспечена наклоном поворотного круга в продольной плоскости относительно рамы прицепа.

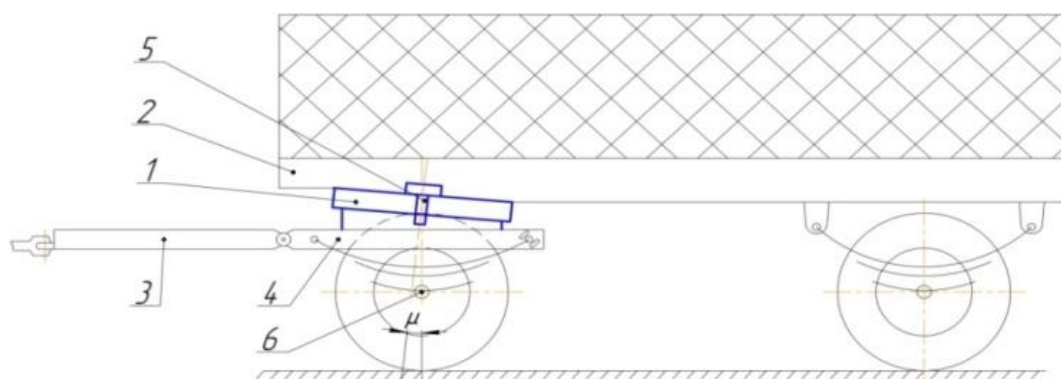
Установка шкворня под углом μ в продольной плоскости имеет целью при самоповороте управляемых колес в режиме прямолинейного движения создавать плечо относительно оси шкворня и способствовать возникновению стабилизирующего момента от веса прицепа, обеспечивающего возврат колес передней тележки в положение соответствующее прямолинейному движению.

Аналогичная кинематическая схема может быть применена для полуприцепа, опирающегося передней частью на тягач. При этом опорно-поворотная платформа тягача (например: седлосцепного устройства) и шкворень полуприцепа расположены под наклоном к раме в продольной плоскости. Схемы автопоезда с полуприцепом, двухосного прицепа приведены на рис. 1, 2.



1 – Тягач; 2 – полуприцеп; 3 – опорно-поворотная платформа; 4 – рама полуприцепа; 5 – кронштейн рамы тягача; 6 – кронштейн опорно-поворотной платформы; 7 – поперечная ось опорно-поворотного устройства; 8 – рама тягача; 9 – шкворень опорно-поворотного устройства; μ – угол продольного наклона шкворня.

Рисунок 1 - Схема автопоезда с продольным наклоном шкворня полуприцепа



1 – Поворотный круг (поворотная платформа); 2 – рама прицепа; 3 – дышло; 4 – рама передней колесной тележки; 5 – шкворень; 6 – ось передних колес прицепа.

Рисунок 2 - Опорно-поворотное устройство двухосного прицепа с продольным наклоном шкворня

На рис.2 представлена кинематическая схема двухосного прицепа с опорно-поворотным устройством, обеспечивающим стабилизацию колес передней поворотной тележки за счет продольного наклона шкворня. Данное опорно-поворотное устройство прицепа отличается от поворотных устройств прицепов традиционной схемы тем, что поворотная платформа (поворотный круг) 1 закреплена на раме 4 передней тележки под наклоном к раме прицепа 2 в продольной вертикальной плоскости прицепа, а ось шкворня 5 – расположена под углом μ к вертикали, проходящей через середину оси колес передней тележки, при этом точка пересечения оси шкворня 5 с горизонтальной плоскостью движения смещена вперед относительно оси ее колес. В результате наклона шкворня при повороте тележки и оси ее колес возникает стабилизирующий момент, способствующий возврату колес передней поворотной тележки в нейтральное положение, соответствующее прямолинейному движению.

На рис. 3 представлена схема сил, действующих на колеса передней поворотной тележки на повороте. Ось шкворня ВС наклонена к поверхности движения и образует угол μ с вертикалью.

Методика определения моментов от реакций дороги, действующих на колесо поворотной тележки прицепа, а также стабилизирующего момента представлена авторами данной статьи в работе [16].

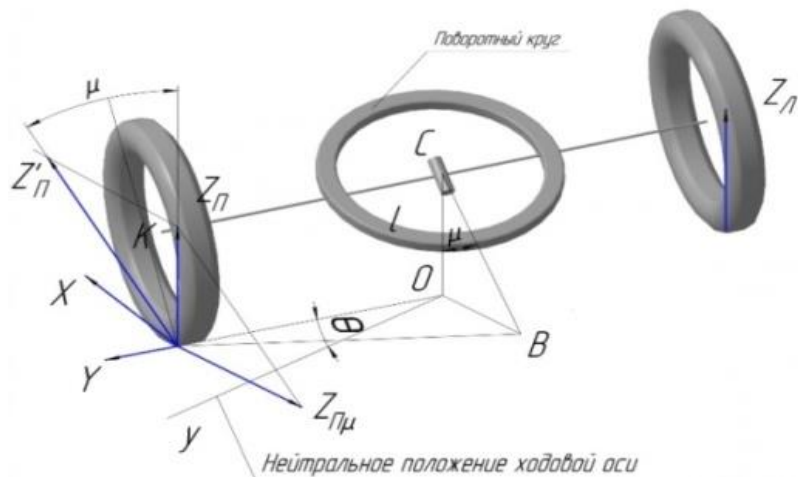


Рисунок 3 - Силы, действующие на внутреннее к центру поворота колесной передней тележки при ее повороте.

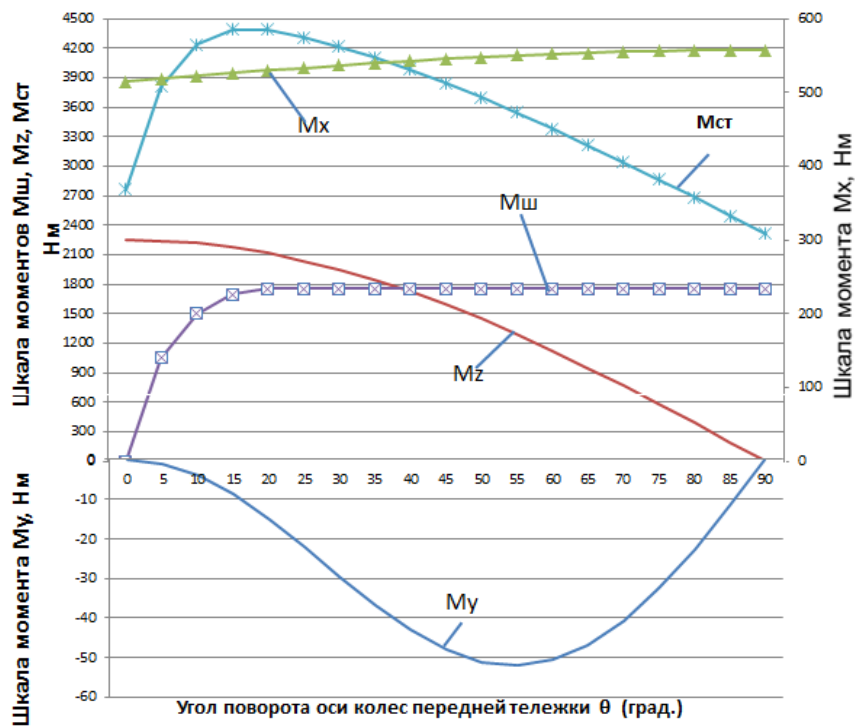


Рисунок 4 - Стабилизирующий момент и его составляющие

На колеса передней поворотной тележки при повороте действуют следующие реакции:

- X – касательная реакция дороги (почвы);
- Y – поперечная реакция дороги (почвы);
- Zп – вертикальная реакция дороги (почвы).

С учетом выражений реакций X; Y; Zп и их плеч относительно точки B – пересечения оси шкворня с дорогой получим моменты:

$$M_Y = L \cdot Z_{II} \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin^2 \mu \cdot \cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu)) \cdot tg\mu \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$M_x = Z_{II} \cdot f \cdot (\sqrt{(L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu)^2 - (L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu \cdot tg\mu \cdot \cos \theta)^2} + L \cdot \cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu))) \quad (2)$$

$$M_{ZII} = L \cdot Z_R \cdot \cos \theta \cdot tg\mu \quad (3)$$

где L – длина полуоси колес передней поворотной тележки прицепа;
 θ – угол поворота ходовой оси передней колесной тележки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Рассмотрим характер изменения стабилизирующих моментов M_{ZII} , M_x , M_y и $M_{ш}$ на примере тракторного прицепа 2-ПТС-6 с поворотным кругом. При расчетах принимаем следующие допущения: абсолютно жесткая подвеска передней поворотной тележки; отсутствие крутильной деформации рамы прицепа; отсутствие бокового увода шин; полная загрузка прицепа по массе перевозимого груза. Угол продольного наклона шкворня μ принимаем равным 6° . При принятых условиях поворот передней колесной тележки сопровождается отрывом внешнего к центру поворота колеса тележки от поверхности дороги, и вся нагрузка от веса прицепа на переднюю тележку перераспределяется на внутреннее к центру поворота колесо (в эксплуатации тракторных поездов такой случай не типичен, так как наличие пружинной подвески, скручивание рамы, эластичность колес обеспечивают их постоянный контакт с дорогой).

На рис. 4 представлены зависимости моментов M_z , M_x , M_y и $M_{ш}$, а также суммарного момента стабилизации колес $M_{ст}$ от угла поворота передней тележки θ относительно рамы прицепа. Принимаем, что момент реакции Y , действующей вдоль ходовой оси, имеет отрицательное значение, так как направление действия силы от Y вызывает момент, препятствующий действию моментов M_z , M_x , $M_{ш}$, создающих суммарный момент стабилизации $M_{ст}$. На колесо, снабженное эластичной шиной, действует также момент сопротивления повороту шины $M_{ш}$, возникающий в результате смещения реакций X и Y от центра контакта при уводе колеса. Момент $M_{ш}$ сопротивления повороту шины принят из экспериментальных данных [4,5] исследований.

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы:

1. Наклон оси шкворня поворотного круга передней тележки двухосного прицепа способствует появлению силовых реакций и моментов, стабилизирующих движение передних колес прицепа, т.е. сохранению нейтрального положения, соответствующего прямолинейному движению.

2. Наличие наклона шкворня при повороте способствует перераспределению нагрузки от веса прицепа на внутреннее к центру поворота колесо

передней тележки, что повышает устойчивость прицепа против опрокидывания от действия центробежных сил и повышает безопасность при маневрировании транспортного поезда с прицепами.

Для подтверждения достоверности теоретического обоснования влияния наклона шкворня поворотного круга двухосного прицепа на стабилизацию движения передней колесной тележки проводились предварительные испытания на масштабной модели тракторного поезда с двухосным прицепом.

Для испытаний сконструирована модель двухосного прицепа в масштабе 1:13 по отношению к тракторному прицепу 2-ПТС-6. Модель прицепа снабжена поворотным кругом, установленным на поворотной тележке, и винтовым механизмом, позволяющим бесступенчато изменять его наклон в продольной вертикальной плоскости (наклон шкворня), что позволяет проводить эксперимент при различных углах наклона шкворня μ .

Испытания модели проводились на ленточной дорожке, представляющей собой ленточный транспортер с электроприводом и бесступенчатым регулятором линейной скорости движения ленты за счет изменения числа оборотов электродвигателя.

Эксперимент проводился в следующем порядке. Модель тракторного поезда устанавливалась на ленточную дорожку, трактор фиксировался канатом от продольного перемещения по дорожке, а с помощью регулировочного механизма – устанавливался продольный угол наклона шкворня (поворотного круга) передней колесной тележки (рис.5).



Рисунок 5 - Регулировка продольного угла наклона шкворня (поворотного круга) передней колесной тележки на масштабной модели тракторного двухосного прицепа

После установки заданной скорости ленты, боковым воздействием на прицеп, задавалось отклонение прицепа. По окончании внешнего воздействия, боковые отклонения прицепа и тракторного поезда в целом фиксировались на скоростную видеокамеру, установленную в торцевой части ленточной дорожки. Анализ записи позволяет определять амплитуду боко-

вых отклонений (виляний) прицепа их частоту и время затухания колебаний принятых в качестве оценочных критериев.

Результаты обработки экспериментальных исследований позволили дать сравнительную оценку по устойчивости движения двухосного прицепа (по характеру боковых колебаний после внешних боковых воздействий) традиционной схемы, когда поворотный круг расположен параллельно раме прицепа – т.е. наклон шкворня отсутствует и при различной величине наклона шкворня. Анализ результатов экспериментальных данных показал, что при движении ленты дрожки со скоростью 42 км/ч боковые отклонения прицепа традиционной схемы (без наклона шкворня поворотного круга) носили затухающий характер после бокового воздействия на прицеп, но время полного затухания колебаний составило в среднем 7сек.

При аналогичном эксперименте с установленным углом наклона шкворня, равным 6° , внешнее боковое воздействие прицепа вообще не вызывало поперечных колебаний – прицеп плавно выравнивался на начальную траекторию, т.е. имел абсолютно устойчивый ход.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа установлено, что основной причиной аварийности с участием автотранспортных поездов в ряде случаев является нарушение устойчивости их движения по дорожной трассе. Традиционным способом предотвращения ДТП является ограничение скоростного режима, что не гарантирует приемлемого результата. Остальные способы решения данной проблемы свой потенциал практически исчерпали. Следует отметить, что возможность решения данного вопроса осложняется отсутствием единой теории поведения и перемещения на дорожной трассе автотранспортных поездов, что вынуждает применять, в основном, ограничительные меры.

Авторами выдвинуто научное предположение о возможности повышения безопасности движения автотранспортных поездов за счет улучшения показателей их курсовой устойчивости на дорожной трассе посредством воздействия на конструктивные характеристики тягово-сцепных устройств автотракторных поездов, повышающих стабилизацию движения передней колесной тележки прицепа после воздействия на него боковых возмущающих сил.

Авторами предложено более 55 технических решений по совершенствованию тягово-сцепных устройств автотракторных поездов, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения и патентами и обеспечивающих повышение безопасности эксплуатации автотракторных поездов в различных дорожных условиях.

Список использованной литературы

1. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт, 1967.
2. Официальный сайт ГИБДД Свердловской области. URL: <http://stat.gibdd.ru>.
3. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А. Проблемы и перспективы транспортной техники на селе//Научный журнал КубГАУ, №107(03), 2015: URL: kubagro.ru/2015/03/pdf/31.pdf.
4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1984.
5. Иванов В.В. и др. Основы теории автомобиля и трактора. – Учебн. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977.
6. Чудаков Е.А. Конструкция и расчет автомобиля. Изд. 3-е, исправл. и доп. – М.: Машгиз, 1950.
7. Строганов Ю.Н., Пампура Е.М. К вопросу о применении тягово-сцепных устройств изменяемой длины тракторно-транспортных агрегатов и автопоездов//Известия МААО, 2015 г., Вып. 15, Том 1. – С.79–86.
8. А.С. № 1541106 СССР. Прицеп. 1990/Строганов Ю.Н.
9. Патент №114932 РФ. Автопоезд изменяемой длины. 2012/ Строганов Ю.Н., Огнев О.Г.
10. Патент № 170879 РФ. Опорно-поворотное устройство прицепа. 2017/ Строганов Ю.Н., Попова А.И., Строганова О.Ю.
11. Патент №181371 РФ. Стабилизирующее устройство поворотной тележки прицепа. 2018г/ Строганов Ю.Н., Желев Д.Й., Ляхов С.В., Строганова О.Ю.
12. Патент №182885. Опорно-поворотное устройство двухосного прицепа. 2018/ Строганов Ю.Н., Ляхов С.В., Желев Д.Й., Строганова О.Ю.
13. Патент №185182 РФ. Тягово-сцепное устройство полуприцепа с наклонной поворотной платформой. 2018/ Строганов Ю.Н., Желев Д.Й., Строганова О.Ю.
14. Патент №185790 РФ. Прицеп для буксировки автомобиля с наклонным поворотным кругом. 2018/ Строганов Ю.Н., Попова А.И., Строганова О.Ю.
15. Решение РОСПАТЕНТА от 29.12.18 о выдаче патента на полезную модель по заявке №2018141665. Стабилизирующее устройство двухосного прицепа/ Строганов Ю.Н., Попова А.И., Желев Д.Й., Строганова О.Ю.
16. Строганов Ю.Н., Мальцев Л.В., Желев Д.Й., Попова А.И. Стабилизация движения колес передней поворотной тележки двухосного тракторного прицепа//Известия МААО, 2018г., Вып.39. –С.38–44.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ПРЕСЕЛЕКТИВНЫХ ТРАНСМИССИЙ

В.Н. Катаргин, М.В. Сюбарь

Аннотация. Данная статья посвящена методам и средствам позволяющим управлять ресурсом коробок переключения передач, а также снижать частоту закономерностей отказов, происходящих в преселективных трансмиссиях легковых автомобилей.

Анализ эксплуатации коробки переключения передач (КПП) на примере DL501 — полноприводная модель 7-ступенчатых преселективных трансмиссий DSG-7 с двойным «мокрым» сцеплением.

Длительные наблюдения за реальной эксплуатацией автомобилей показали, что данные трансмиссии на определенных этапах использования начинают отказывать, что несет за собой очень серьезные последствия.

Для того чтобы вовремя оценить наступление предельного состояния рабочей жидкости, авторами предлагается создать прибор позволяющий оценивать параметры состояния рабочей жидкости в трансмиссии DSG 7.

Выявленные закономерности отказов позволяют производить дополнительные профилактические воздействия на данную коробку переключения передач с целью увеличения срока ее службы.

Ключевые слова: DSG, преселективные, трансмиссии, эксплуатация, отказ.

Владимир Николаевич Катаргин - кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспорт» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, тел.: 83912498924, E-mail: katargin@gmail.com.

Максим Владимирович Сюбарь - аспирант ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, тел.: 89138388730, E-mail: syubarmaksim@gmail.com.

Введение

Direct Shift Gearbox (DSG) — часто упоминаемая как преселективная, коробка передач с синхронизированным переключением, гибрид механической и автоматической коробки передач.

Длительные наблюдения за эксплуатацией DSG в реальных условиях показали, что данные трансмиссии на определенном этапе использования

начинают отказывать, что несет серьезные последствия, приводящие к замене этих агрегатов либо дорогостоящему ремонту. Перечень отказов некоторых моделей таких трансмиссий представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Проявление отказов трансмиссий DSG

Неисправности	DQ250	DQ200	0BH	DL501
Вибрации в двойном сцеплении	+	+	+	+
Износ двойного сцепления	+	–	+	+
Износ соленоидов	+	–	+	+
Отказ «вилка» переключения передач	–	+	+	+
Неисправность датчиков частоты вращения и положения включенной передачи	–	–	–	+
Трещины поддона и корпуса фильтра	–	–	–	+

Исследовательская часть

Рассмотрим отказы DSG на примере мехатроника (блок управления коробкой передач), так как это самый сложный и дорогой узел во всей трансмиссии. Неисправности мехатроника: 1) отказ соленоидов переключения передач; 2) отказ соленоидов переключения сцепления; 3) отказ соленоида давления главной магистрали; 4) отказ печатных плат.

Анализ отказов показал, что их основными причинами является появление в гидравлической системе загрязнений [1].

Существует причинно-следственная связь между эксплуатационными свойствами рабочей жидкости и параметрами ее фильтрации, которые, зависят от режимов работы и условий эксплуатации гидропривода.

В регионах с очень жаркими или холодными климатическими условиями данные трансмиссии использовать не рекомендуется. При перегреве рабочей жидкости значительно снижается ее вязкость и фрикционные свойства. При переохлаждении КПП начинается ее некорректная работа из-за залипания соленоидов и снижения фрикционных свойств рабочей жидкости.

В процессе работы гидравлические жидкости подвергаются изменениям в широком диапазоне давлений, температур, скоростей потока и т. д. Из-за деградации масла, а также механического износа работающих совместно элементов в гидравлической системе возникает множество загрязнений. Металлические загрязнители и абразивы вызывают износ трущихся сопряжений. Загрязнения, попадающие в гидросистему извне, также являются причинами нарушений работы и износа. [2, 3, 4]

Большинство автоматических коробок передач выходит из строя именно зимой, и связано это с рядом факторов, среди которых, отрица-

тельная температура окружающей среды, которая пагубно сказывается на ресурсе КПП.

Перед эксплуатацией в холодное время года жидкость в КПП должна прогреться до рабочей температуры. Иначе все механизмы КПП будут работать в режиме “голодания” без жидкости. При этом загустевшая рабочая жидкость оказывает на фильтр высокое давление, с которым он не справляется, в результате чего выдавливаются прокладки, резиновые уплотнения и кольца. В итоге сокращается ресурс КПП. [5, 6]

В работе [7] авторами выдвигается гипотеза о том, что частицы, которые не обладают магнитными свойствами, являются продуктами износа двойной фрикционной муфты, выполняющей роль сцепления в этой трансмиссии. Они являются абразивными и наносят непоправимый вред элементам КПП.

В гидравлических системах, несмотря на наличие фильтров, находятся продукты атмосферного загрязнения и элементы износа, размеры которых соизмеримы с зазорами сопрягаемых деталей или щелевых уплотнений.

Твердость частиц абразивного загрязнения значительно превышает твердость материала, из которого изготавливают детали. Частицы с рабочей жидкостью попадают в зазоры между рабочими поверхностями сопрягаемых деталей и вызывают увеличение сил трения и могут привести к заклиниванию деталей. Концентрация загрязнений в жидкости неравномерна, число частиц малого размера значительно превышает число частиц крупного размера. [8]

В результате исследования причин отказов КПП были выявлены три основных причины отказов: производственный дефект; нарушение технологии ремонта; несоблюдение правил эксплуатации. [8]

Для того чтобы вовремя произвести замену рабочей жидкости и фильтров авторами предлагается создать прибор позволяющий оценивать параметры состояния рабочей жидкости в трансмиссии DSG 7 (рис. 1).

Данный прибор позволит измерять температуру рабочей жидкости выходящей из двойной фрикционной муфты и на основе анализа этих температурных характеристик выводить на монитор ЖКИ предупреждение о ее состоянии.

Для своевременной замены рабочей жидкости авторами выдвигается гипотеза о зависимости критических температур работы данной кпп от длительности временного промежутка в котором была зафиксирована предельная рабочая температура для рабочей жидкости. Данная гипотеза находится в данный момент на уточнении.

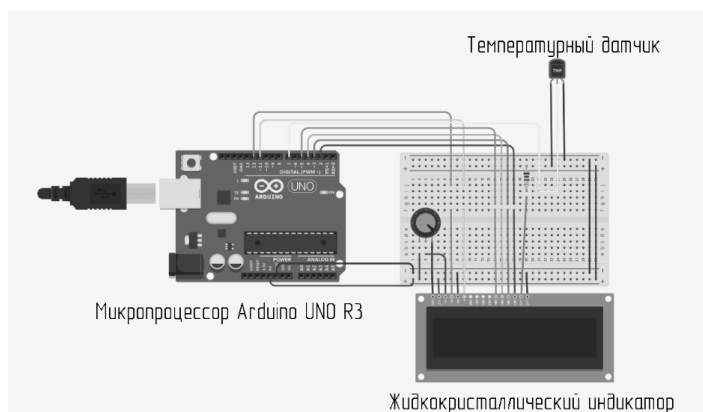


Рисунок 1 - Принципиальная схема прибора позволяющего оценивать технические параметры рабочей жидкости

Вывод

Негативные эксплуатационные факторы, рассмотренные в данной работе, при несвоевременном устранении, могут нанести вред механизмам КПП, окружающей среде и повлечь за собой потерю престижа и лояльности клиентов к автомобилям с данными трансмиссиями.

Анализ причин отказов этих трансмиссий показывает, что при эксплуатации необходимы дополнительные профилактические работы, при появлении первых признаков неисправностей КПП. В суровых климатических условиях желательно корретировать интервал замены рабочей жидкости, поскольку данные трансмиссии очень чувствительны к загрязнению.

Список использованной литературы

1. The 10 Most Common Transmission Problems & How to Fix Them. // URL :[https://www.transmissionrepaircostguide.com/10-common-transmission-problems.](https://www.transmissionrepaircostguide.com/10-common-transmission-problems/) / (Датаобращения 10.05.2018.)

2. БышовН.В., БорычевС.Н., АкимовВ.В., ГоличевА.А., РембаловичГ.К., КостенкоМ.Ю. Диагностика технического состояния фильтрующего элемента гидросистемы // Вестник Рязанского государственного агротехнического университета — 2017. №1(33) С. 63—68.

3. ВертячихИ.М., ЖукаловВ.И., СуторьмаИ.И., ПищенкоА.А.Коаксильный фильтрующий элемент фильтра гидравлического масла гидросистем технических средств // Чрезвычайные ситуации: Образование и наука .2015. №1. С. 96—100.

4. Гурьянов Г.А. Комбинирование способов очистки рабочих жидкостей гидросистем для повышения ее эффективности // Вестник МАДИ . 2014. №1(36). С. 33—39.

5. Габалов Г.М., Ханустанов М.Д., Курамагомедов З.К. О некоторых аспектах эксплуатации АКПП в зимних условиях // Вестник Махачкалинского филиала МАДИ. 2014. №14. С. 19—21.

6. Q&A: Jeep YJ & TJ Wrangler Axles, Transmissions and Transfer Cases// URL :<http://www.4wdmechanix.com/Jeep%252BQ%252526A-yj-and-tj-wrangler-axle-transmission-transfer-case-driveline/> (Дата обращения 10.04.2018.)

7. Чокубаев О.А., Ляпина О.В., Власов Ю.А. Диагностика гидросистем карьерных самосвалов по параметрам работающего масла // Избранные доклады 62-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Томск, 2016. С. 505—510.

8. Ереско С.П., Марченко А.С., Повышение надежности гидроцифрованных машин // Механика XXI века. 2008. №7. С. 158—161.

УДК 621.432.3:62-52

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

А.В. Лысунец, Д.В. Халтурин, А.П. Шелехова, Д.Д. Халтурин

Аннотация. Предложена математическая модель двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива, основанная на анализе внешней скоростной и частичных характеристик, полученных экспериментально. Модель учитывает влияние степени открытия дроссельной заслонки на развиваемую мощность в зависимости от изменяющейся внешней нагрузки. Модель рекомендуется для имитации двигателя как объекта регулирования при разработке алгоритмов и программ управления с обратной связью.

Ключевые слова: двигатель с принудительным воспламенением смеси, скоростные характеристики, угол открытия дросселя, регрессионная модель, система управления.

Александр Васильевич Лысунец - канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: lys-alex@mail.ru.

Дмитрий Владимирович Халтурин - канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02, E-mail: dmitriihalturin@mail.ru.

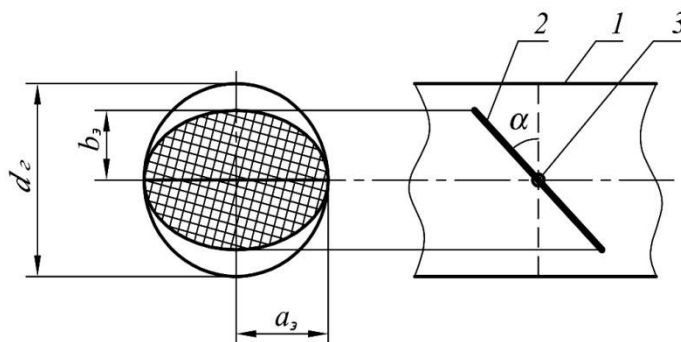
Анастасия Павловна Шелехова - студентка гр. 5017, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02.

Денис Дмитриевич Халтурин - студент гр. 217с, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел.: +7 (3822) 65-98-02.

В статье рассматривается математическая модель двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива, основанная на анализе частичных характеристик. Модель учитывает степень открытия дроссельной заслонки и изменение оборотов за любой промежуток времени при неравенстве мощности, развиваемой на валу двигателя и мощности нагрузки.

В связи с тем, что физические процессы, происходящие в двигателе чрезвычайно сложны, то и модели, описывающие эти процессы, так же сложны. Поэтому существует проблема создания простой математической модели с достаточной точностью, описывающей тягово-скоростные характеристики двигателя.

Скоростные характеристики делят на внешние и частичные [1]. Внешние скоростные характеристики определяют при полном открытии дроссельных заслонок или при полной подаче топлива в цилиндры ДВС, а частичные – при частичном открытии дроссельных заслонок или частичной подаче топлива. Дроссельной заслонкой регулируются, как правило, двигатели с принудительным зажиганием, подачей топлива - двигатели с воспламенением от сжатия.



1 – Впускной трубопровод; 2 – дроссельная заслонка; 3 – ось дроссельной заслонки.

Рисунок 1 - Схема дроссельной заслонки

Дроссельная заслонка представляет собой круглый диск 2 установленный в патрубке 1 круглого сечения внутренним диаметром d_r . Для упрощения расчетов был принят диаметр заслонки равным внутреннему диаметру патрубка. Условием работы двигателя с постоянной частотой вращения является равенство мощности развиваемой на валу двигателя N_e и мощности нагрузки $N_{\text{нагр}}$, приложенной к коленчатому валу двигателя, тогда

$$N_e = N_{\text{нагр}}.$$

Эффективная мощность, развиваемая на валу ДВС, при номинальных скоростной и мощностной характеристиках, определяется по формуле Лейдермана, кВт [1]

$$N_{ei} = N_{eN} \left[a \left(\frac{n_i}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_i}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_i}{n_N} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где N_{eN} – номинальная (максимальная) мощность двигателя, кВт;

a, b, c , - коэффициенты, зависящие от типа и конструкции двигателя, для двигателей с принудительным искровым зажиганием можно принять равными 1 или определить по известным методикам;

n_i – текущие обороты двигателя, об/мин;

n_N – номинальные обороты двигателя, об/мин.

Известна формула [1] определения максимальной мощности двигателя исходя из его конструктивных параметров

$$N_{eN} = \frac{V_L \cdot n_N \cdot H_u}{30 \cdot \tau \cdot \alpha_B \cdot l_0} \cdot \rho_k \cdot \eta_V \cdot \eta_i \cdot \eta_M,$$

где V_L – литраж двигателя, л;

n_N – номинальное число оборотов коленчатого вала, мин⁻¹;

H_u – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

τ – тактность двигателя;

α_B – коэффициент избытка воздуха;

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг;

ρ_k – плотность заряда на впуске, кг/м³;

η_V – коэффициент наполнения;

η_i – индикаторный КПД;

η_M – механический КПД.

При полном закрытии дроссельной заслонки угол альфа равен нулю. При открытии заслонки, проекция ее на плоскость перпендикулярную патрубку представляет собой эллипс, который сужается по мере открытия заслонки, а площадь открывающегося отверстия можно определить, как разность площадей патрубка и эллипса, по формуле

$$S_{\text{Щ}} = \pi \cdot \frac{d_{\Gamma}^2}{4} - \pi \cdot a_{\text{Э}} \cdot b_{\text{Э}}.$$

Можно рассчитать площадь эллипса через угол поворота дроссельной заслонки, представив меньшую изменяющуюся ось эллипса как косинус угла α .

$$\cos(\alpha) = \frac{2 \cdot b_{\text{Э}}}{d_{\Gamma}}$$

где $b_{\text{Э}}$ – полуось эллипса, определяющаяся проекцией заслонки на плоскость перпендикулярную оси патрубка.

Тогда площадь щелевого отверстия, равна

$$S_{\text{Щ}} = \pi \cdot \frac{d_{\Gamma}^2}{4} (1 - \cos(\alpha)).$$

Следует иметь ввиду, что в расчетах не учитывается толщина дроссельной заслонки. Допуская, что коэффициент наполнения, влияющий на максимальную мощность двигателя, изменяется пропорционально изменению площади щелевого отверстия и пренебрегая изменением индикаторного КПД η_i , получим максимальную мощность N_{eNi} , которую может развить двигатель при угле открытия заслонки α

$$N_{eNi} = N_{eN} \cdot (1 - \cos(\alpha)). \quad (2)$$

Определение оборотов двигателя, соответствующих максимальной мощности при частично открытой дроссельной заслонке – затруднено, однако, анализируя экспериментальные данные испытаний двигателя на частичных нагрузках, можно сделать вывод, что изменение оборотов, соответствующих максимальной мощности при частично открытой дроссельной заслонке, удовлетворительно описываются уравнением

$$n_{Ni} = n_N \cdot \sin(\alpha). \quad (3)$$

Проведен расчет по данным формулам для двигателя УМЗ-421 номинальной мощностью 72,1 кВт и номинальными оборотами 4000 об/мин.

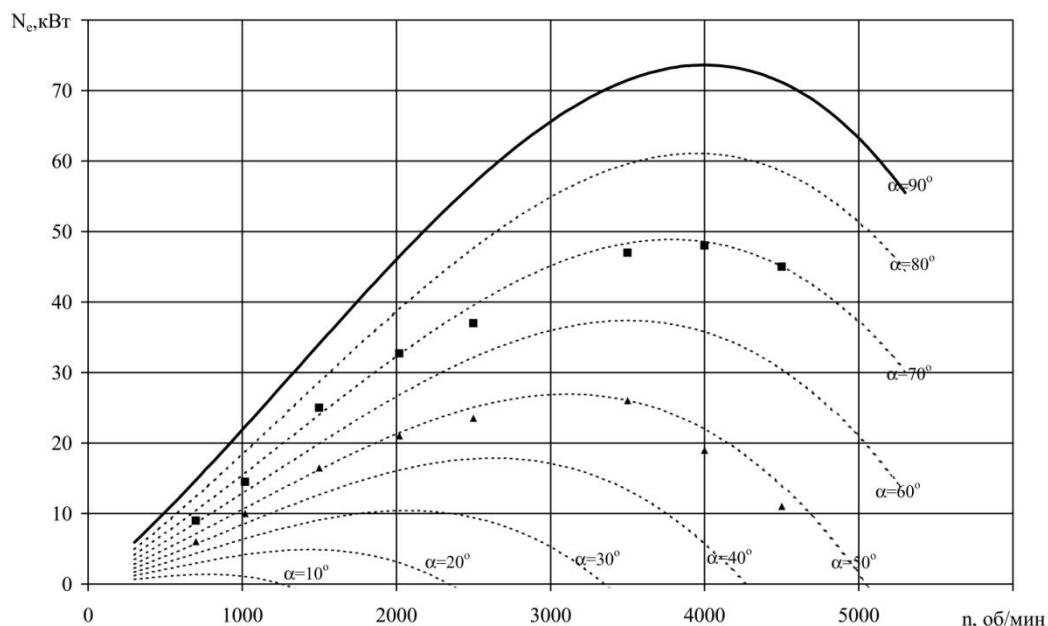


Рисунок 2 - Скоростные характеристики двигателя УМЗ-421 при различных углах открытия дроссельной заслонки

Формулы (1-3) позволяют вычислить мощность двигателя при различных углах открытия дроссельной заслонки, а при известной внешней нагрузке, например использовании двигателя в приводе электрогенератора, подобрать угол положения дроссельной заслонки который обеспечивает заданные обороты и равномерную частоту вращения.

При проектировании устройств, обеспечивающих автоматическое поддержание заданной скорости движения автомобиля или постоянных оборотов [2, 3], ставится задача создания управляющей программы контроллера. В этом случае апробация программы возможна либо на реальном ДВС, либо на соответствующей математической модели двигателя, обеспечивающей необходимые для контроллера сигналы. Существующие предложенные модели ДВС не обеспечивают формирование необходимого сигнала [4].

При использовании цифровых контроллеров с обратной связью для автоматизации управления работой двигателя применяются датчики и управляющие устройства. Опрос датчиков двигателя производится через определенный интервал времени Δt , в этом случае становится актуальной задача определения изменения оборотов за этот промежуток времени с учетом воздействия внешних факторов. Причиной изменения оборотов двигателя является разность мощности, развиваемой на валу двигателя, и мощности нагрузки. Т.е. при изменении внешней нагрузки, например, ее

уменьшении, и неизменном положении дроссельной заслонки, появляется некоторая избыточная мощность на валу, которая стремится разогнать двигатель

$$N_{\text{изб}} = N_e - N_{\text{нагр}} > 0.$$

Очевидно, что вся избыточная мощность будет затрачена на разгон коленчатого вала двигателя, т.е. на преодоление момента от сил инерции, который можно определить.

$$M_z = I_z \cdot \varepsilon,$$

где I_z – момент инерции подвижных элементов, кг м²;
 ε – ускорение коленчатого вала, м/с².

Тогда, полагая, что вся избыточная мощность затрачивается на преодоление момента от сил инерции

$$N_{\text{изб}} = I_z \cdot \varepsilon \cdot \omega_z,$$

где ω_z – угловая скорость коленчатого вала, рад/с.

Отсюда угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{N_{\text{изб}}}{I_z \cdot \omega_z}.$$

Представим ускорение как изменение скорости $\Delta\omega$ за время Δt

$$\Delta\omega = \frac{N_{\text{изб}} \cdot \Delta t}{I_z \cdot \omega_z}. \quad (4)$$

С помощью формулы можно определить изменение числа оборотов за время Δt . При использовании формулы необходимо учитывать, что, если двигатель применяется в приводе каких-либо агрегатов, то момент инерции I_z представляет собой

$$I_z = I_{z\text{дв}} + I_{z1} + I_{z2} + I_{zi} + \dots$$

где $I_{z\text{дв}}$ – момент инерции ДВС, кг·м²;

I_{z1}, I_{z2}, I_{zi} – моменты инерции подвижных элементов сцепленных с двигателем, кг·м².

Таким образом, выражения (1-4) можно использовать при проектировании различных электронных регулирующих устройств, например автоматического поддержания постоянной скорости движения автомобиля или автоматического поддержания постоянных оборотов двигателя в приводе электрогенератора.

Предлагаемая методика не учитывает переходные процессы, возникающие при движении дроссельной заслонки, расчет производится только для какого-то фиксированного положения заслонки. При отличии мощности развиваемой на валу двигателя и мощности нагрузки - модель учитывает изменение оборотов двигателя за заданный интервал Δt . Расчеты, проведенные с помощью предлагаемой модели, вследствие применения полиномиальных зависимостей могут отличаться от экспериментальных данных полученных на других двигателях, тем не менее, выражения достаточно точно описывают реакцию двигателя при изменении внешней нагрузки и могут быть рекомендованы для отработки программ управляющих ДВС с принудительным зажиганием.

Также следует учесть, что формула (1), имеет граничные условия, так ее нельзя применять при $n_i < 700$ об/мин, поэтому для запуска ДВС и вывода его в рабочий режим, в математической модели придется использовать звено, имитирующее работу стартера, которое будет разгонять ДВС до скорости $n_i \geq 700$ об/мин.

Список использованной литературы

1. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов/ В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина. – 2-е из., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 479 с.: ил.

2. Скок А.К., Медведев В.В., Лысунец А.В. Генераторный газ как топливо для машин и комплексов строительной отрасли с. 301-304 // Материалы I Международной научной конференции студентов и молодых ученых [Электрон. текстовые дан.]. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 667с.

3. Захаров А.И. Передвижная газогенераторная электростанция / А.И. Захаров, А.В. Лысунец // Сельский механизатор. 2017. № 6. С. 34-35.

4. Войтенко, В.А. Математическое моделирование скоростных характеристик двигателя внутреннего сгорания. // Электротехнические и компьютерные системы – 2013. – № 09 (85). – С. 45-49

К ВОПРОСУ О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ГИДРОЭЛЕМЕНТАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.Ф.Чебунин

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности эксплуатации транспортных средств с объемным гидравлическим приводом навесного оборудования. Приводятся номинальные и предельные значения объемных потерь энергии в основных элементах гидропривода, алгоритм определения предельных значений в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: эффективность эксплуатации, гидропривод, объемные потери, предельный объемный КПД, предельная наработка.

Александр Федорович Чебунин - канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины», Забайкальский государственный университет, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30, тел./факс): 8(3022) 41-72-44, E-mail: kaf.sdm.chitgu@yandex.ru

Актуальность

Применение гидростатического объемного привода (гидропривода) является одним из путей повышения эксплуатационных характеристик мобильной техники. Гидравлический привод мощности достаточно широко распространен в грузовых транспортных средствах в тормозных системах, в системах управления разгрузкой грузовых платформ, автомобилях специального назначения для осуществления рабочего процесса навесного технологического или вспомогательного оборудования. Большинство указанных машин имеют циклический принцип функционирования навесного оборудования. Для этого, в основном, используют гидравлические разомкнутые системы насосного типа, возвратно-поступательного или вращательного движения выходного звена, однопоточные, среднего и высокого давления рабочей жидкости.

Ресурс гидравлической системы и ее текущее техническое состояние определяется состоянием основных агрегатов: гидронасоса, гидрораспределителя и гидродвигателя, изменения в процессе эксплуатации которых приводят к снижению производительности выполняемых работ и к потерям энергии в виде повышенного расхода топлива приводного двигателя. Так, уменьшение коэффициента подачи гидронасоса на 20% приводит к увеличению расхода топлива ДВС на привод насоса при сохранении его номинальной подачи на величину не менее 30%.

Объемные потери рабочей жидкости в гидроприводе принято делить на внешние утечки, связанные с разгерметизацией стыков, ослаблением резьбовых соединений, потерей упругих качеств уплотнений и внутренние перетечки в гидромашинах и гидроаппаратах.

Снижению цикловой производительности машин из-за повышения времени цикла способствуют объемные потери энергии гидроагрегатов и, в первую очередь, внутренние перетечки рабочей жидкости в насосе из зоны нагнетания в зону всасывания, из областей с большим в области с меньшим давлением жидкости в распределителе и гидродвигателе.

При диагностировании гидросистем оценка технического состояния отдельных гидроагрегатов проводится, в основном, статопараметрическим методом, при котором выявляется разница между действительным и теоретическим расходом и определяется объемный КПД, который характеризует объемный уровень потерь энергии в гидромашине. При этом важно знать как текущий уровень объемных потерь, так и возможное его изменение до наступления предельного значения.

Согласно терминологии в сфере надежности машин «предельное состояние объекта характеризует такое состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, или неустранимого изменения значений заданных параметров за установленные пределы, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости выполнения ремонта».

По текущему значению объемного КПД и его предельной величины вычисляется остаточный ресурс или принимается решение о восстановлении гидроагрегата или его замене. Поэтому предельные значения параметров гидроэлементов в сфере эксплуатации гидропривода являются в основном величинами технико-экономического характера.

Следует заметить, что признаки (критерии) предельного состояния гидрооборудования могут устанавливаться не только по критическим параметрам гидроэлементов гидропередачи, но и по параметрам приводного двигателя.

В связи с этим проблемы поиска критериев, обоснования и расчета предельного значения уровня объемных потерь в гидроприводах различных типов машин и режимов эксплуатации являются достаточно актуальными.

Обзор литературных источников

В нормативной документации на гидромашины приводятся достаточно жесткие, иногда только качественные, нормативы объемных потерь жидкости без привязки к конкретным машинам и условиям их эксплуатации. Так в соответствии с [1] в отношении объемных внешних утечек гид-

ронасоса (гидромотора) вынос рабочей жидкости через уплотнительную манжету вала гидронасоса (гидромотора), работающих на минеральном масле или другой жидкости с подобными свойствами не должен приводить к каплеобразованию. Утечка жидкости через уплотнительную манжету вала насоса (гидромотора), работающих на жидкости с кинематической вязкостью более низкой, чем у минеральных масел, не должна превышать $0,5 \text{ см}^3/\text{ч}$.

Критерием предельного состояния объемных гидронасосов (гидромоторов) является снижение коэффициента подачи (для насосов) и КПД (для гидромоторов) не более чем на 20% ниже минимально допустимых значений при номинальном давлении и кинематической вязкости.

При работе гидроцилиндров удельный объем выносимой рабочей жидкости через уплотнитель штока или плунжера с площади 1 м^2 уплотняемой поверхности при номинальном давлении, скорости штока не менее $0,2 \text{ м/с}$ и вязкости рабочей жидкости не более $40 \text{ мм}^2/\text{с}$ не должен превышать $0,003 - 0,12 \text{ см}^3/\text{м}^2$ в зависимости от класса герметичности и величины давления рабочей жидкости [2].

Критерием предельного состояния гидроцилиндров [2] является уменьшение общего КПД и (или) увеличение удельного объема выносимой рабочей жидкости более чем в 1,2 раза от установленного значения для гидроцилиндров конкретного типа, не устранимое заменой уплотнителей и опорных колец.

Следует отметить, что приведенные данные содержат качественные и обобщенные требования, не учитывающие тип машин, в которых может применяться гидрооборудование, режимы и условия эксплуатации.

Ориентируясь на существующие нормативы и проведенные исследования, в таблице 1 приведены значения КПД, ограничивающие диапазон применимости гидроэлементов по причине предельного состояния. При этом для гидроэлементов в отношении как номинальных, так и предельных значений параметров имеет место определенный разброс значений.

Цель исследования. Выявление возможности определения предельного состояния элементов гидропривода по критерию расхода топлива приводного двигателя.

Основная часть. Как указывалось выше, предельное состояние гидроэлемента или его возможный диапазон может устанавливаться не только по симптомам функционирования и значениям, определяющих техническое состояние гидроэлемента, параметрам.

Таблица 1 – Значения номинальных и предельных параметров гидроэлементов объемного гидропривода

№	Тип гидроэлемента	Параметр	Значение параметра		Источник
			номинальное	предельное	
1	Объемные насосы				
	Шестеренные	Коэффициент подачи, %	90	72	[1]
				65	[4]
				-	[5]
		Общий КПД, %	80		[1]
	Аксиально-поршневые	Коэффициент подачи, %	93	74,4	[1]
			90	75	[4]
			95	-	[5]
		Общий КПД, %	85	-	[1]
2	Гидрораспределители				
	Моноблочные	Объемный КПД, %	98	*	[3]
			98	-	[5]
		Объемный КПД, %	-	88	[4]
	Секционные	Объемный КПД, %	98	*	[3]
			98	-	[5]
		Объемный КПД, %	-	88	[4]
3	Гидродвигатели				
	Гидромоторы шестеренные	Общий КПД, %	80	64	[1]
	Гидромоторы аксиально-поршневые	Общий КПД, %	85	68	[1]
		Объемный КПД, %	95	75	[4]
	Гидроцилиндры одноступенчатые	Общий КПД, %	90	75	[2]
		Объемный КПД, %	100	85	[4]
	Гидроцилиндры телескопические	Общий КПД, %	90	75	[2]
		Объемный КПД, %	100	85	[4]

* количественное значение внутренних утечек зависит от модели

Представляется возможным судить о предельном состоянии гидропередачи по изменению параметров ДВС. Так существенное снижение скоростных возможностей исполнительного гидродвигателя, в основном,

зависит от меньшей подачи гидронасоса. Для сохранения прежней подачи машинисту машины необходимо увеличивать частоту вращения приводного вала насоса, т.е. работать с перерасходом топлива ДВС.

Часовой расход топлива дизельного ДВС определяется по формуле

$$G_{\text{ч}} = \frac{N_e \cdot q_e}{1000}, \quad (1)$$

где N_e - эффективная номинальная мощность двигателя, кВт;

q_e - удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности двигателя, г/кВт·ч.

Эффективная мощность, снимаемая с коленвала двигателя, является приводной для гидронасоса, которую определим по формуле

$$N_e = \frac{Q_n \cdot \Delta P}{60 \cdot \eta_{\text{ГМ}} \cdot \eta_o}, \quad (2)$$

где Q_n - номинальная подача гидронасоса, л/мин;

ΔP - перепад давления рабочей жидкости в полостях гидронасоса, МПа;

$\eta_{\text{ГМ}}$ - гидромеханический КПД гидронасоса;

η_o - объемный КПД гидронасоса.

Подставляя (1) в (2), получим

$$G_{\text{ч}} = \frac{Q_n \cdot \Delta P \cdot q_e}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta_{\text{ГМ}} \cdot \eta_o}. \quad (3)$$

Полагаем, что параметры гидравлического потока (подача и давление) остаются на номинальном уровне. Удельный эффективный расход топлива и гидромеханический КПД насоса допускаем постоянными величинами.

Тогда формулу (3) можно привести к виду

$$G_{\text{ч}} = \frac{G_o}{\eta_o(t)}, \quad (4)$$

где $G_o = \frac{Q_n \cdot \Delta P \cdot q_e}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta_{\text{ГМ}}}$ - постоянная величина, характеризующая начальный часовой расход топлива;

t - наработка машины по счетчику моточасов.

Таким образом, для оценки часового расхода топлива двигателя необходимо знать характер изменения объемного КПД по времени нара-

ботки конкретной машины. В работах [3,5] приведены зависимости изменения объемного КПД гидропривода, гидромашин и гидроаппаратов от времени наработки. При этом предложено для группы машин рассматривать снижение КПД в зоне, ограниченной двумя кривыми: максимальным и минимальным изменением объемного КПД в зависимости от наработки и интенсивности работы гидропривода машин.

С учетом нормированного значения объемного КПД на рис. 1 приведена зона допустимых значений объемного КПД аксиально-поршневых гидромашин в условиях эксплуатации гидроприводов машин для транспортного строительства (ограничена линиями 1-2-4).

Показанные на рисунке 1 зависимости аппроксимированы [5] выражением вида

$$\eta_o = at^2 + b, \quad (5)$$

где a, b – коэффициенты уравнения;
 t - наработка машины, тыс. мото-ч.

$$\text{Зависимость 1: } \eta_o = -0,029 t^2 + 0,95, \quad \eta'_o = -0,058 t.$$

$$\text{Зависимость 3: } \eta_o = -0,066 t^2 + 0,95, \quad \eta'_o = -0,132 t.$$

$$\text{Зависимость 2: } \eta_o = -0,103 t^2 + 0,95, \quad \eta'_o = -0,206 t.$$

Анализ графических зависимостей и аналитических выражений позволяет утверждать, что:

- характер изменения объемного КПД индивидуален для конкретного типа гидромашин и режима ее использования;
- интенсивность снижения объемного КПД является возрастающей, причем, чем быстрее расходуется ресурс гидромашин, тем скорость износных процессов и скорость уменьшения КПД выше;
- при установлении предельного технического состояния гидромашин, ограничив его нормированным «жестким» предельным значением, для гидронасосов аксиально-поршневого типа $\eta_o = 0,75$ (рис.1, линия 4), их наработка изменяется в значительных пределах. Для данного примера наработка гидромашин может составлять от 1390 до 2630 мото-ч.

Для определения предельной величины определяющего параметра, учитывающего критическое техническое состояние гидронасоса, режим силовой установки и значение наработки (или резерва) машины при этом, воспользуемся ранее полученной зависимостью (4) и перейдем к относительным величинам.

В отношении гидронасоса имеем:

- условие работоспособности гидронасоса

$$1,0 \leq \frac{\eta_o}{\eta_o^{\text{пред}}} \leq 1,2 ;$$

- относительное изменение часового расхода топлива

$$\overline{G}_ч = \frac{G_ч}{G_o} = \frac{1}{\eta_o(t)} = \frac{1}{b-at^2} ;$$

- предельная наработка

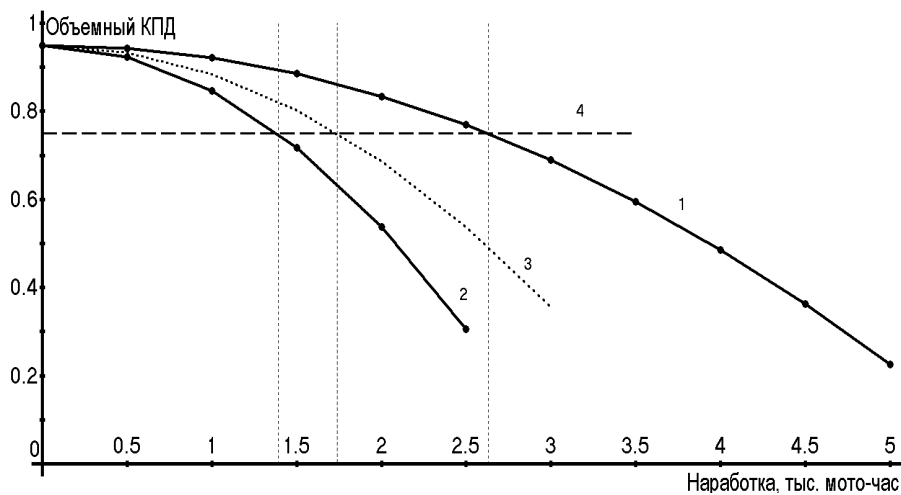
$$t_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{b - \frac{1}{G_ч^{\text{пред}}}}{a}} ;$$

- остаточный ресурс

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{пред}} - t ;$$

- предельное значение объемного КПД

$$\eta_o^{\text{пред}} = b - at_{\text{пред}}^2 .$$



1 - Правая граница изменения объемного КПД; 2 - левая граница изменения объемного КПД; 3 - среднее значение объемного КПД в зоне, 4 - нормированное значение объемного КПД.

Рисунок 1 - Зависимости изменения объемного КПД аксиально-поршневых насосов машин транспортного строительства от наработки

Выводы

Используя данный алгоритм, можно определить аналогичные предельные значения для гидрораспределителя и гидродвигателя или гидросистемы в целом. Однако при этом необходимо иметь априорную информацию о характере изменения объемного КПД оцениваемого гидроэлемента.

Предложенный алгоритм вычисления определяющих параметров, необходимых для оценки технического состояния и ресурса элементов гидропривода для транспортных средств не предполагает учета особенностей эксплуатации, конкретной машиной, ее режима работы, экономических факторов, что может служить предметом дальнейших исследований.

Список использованной литературы

1. Гидроприводы объемные. Насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования: ГОСТ13823-78. Введ. 1989-07-01. – М.: Изд-во стандартов. – 1985. – 12 с.
2. Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Общие технические требования: ГОСТ16514-96. Введ. 2002-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2001. – 7 с.
3. Механизация строительства. Организация диагностирования строительных и дорожных машин. Диагностирование гидроприводов: МДС12-20.2004. Введ. 2004-01-01. – М.: ФГУП ЦПП № 2004.
4. Чмиль В. П. Гидропневмопривод: монография / В. П. Чмиль; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 176 с.
5. Гринчар Н.Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов дорожных и строительных машин. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. М.: ГОУ ВПО «МГУПС», 2007. – 369 с.

УДК 629. 113

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО РАДИУСА КОЛЕСА ПРИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РОЛИКАМИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА

О.С. Яньков, А.В. Камнев, С.С. Шестернёв

***Аннотация.** В данной статье рассмотрен один из факторов, значительно влияющих на возникновение погрешностей измерения тяговых качеств автомобиля на силовом стенде, с двумя парами опорных роликов. Выдвинута гипотеза о том, что на величину силового радиуса существенно влияют такие факторы, как: смещение a колеса относительно плоскости симметрии опорных роликов стенда, нагрузка на колесо и дав-*

ление воздуха $r_{ш}$ в шине. Изменение этих факторов значительно изменяет величину силовых радиусов r_{k01} и r_{k02} - радиусов качения колеса в ведомом режиме. Авторами предложена методика определения силовых радиусов колеса и приведены результаты исследования. Полученные в ходе экспериментального исследования функциональные зависимости были корректно аппроксимированы уравнениями, что позволяет выполнять расчёты силовых радиусов r_{k01} и r_{k02} на двух цилиндрических опорных поверхностях стенда с учётом, нагрузки на колесо, его смещения a и давления воздуха в шине $r_{ш}$.

Ключевые слова: силовой радиус колеса, тяговые качества автомобиля, диагностика, смещение колеса, стенд с опорными роликами, радиус качения колеса в ведомом режиме, давление воздуха в шинах, нормальная нагрузка.

Олег Сергеевич Яньков - к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, тел.: 89248376658, E-mail: yos913005@mail.ru.

Алексей Васильевич Камнев - ассистент кафедры «Машиностроения и транспорта», Братский Государственный Университет, тел.: 8(3953)325-361, E-mail: dadestone@yandex.ru.

Семён Сергеевич Шестернёв - студент, ИРНИТУ, тел.: 89526242437, E-mail: mister.semka@yandex.ru.

Введение

Контроль тяговых качеств автотранспортных средств (АТС) в условиях эксплуатации проводят как дорожным, так и стендовым методом. Для стендового контроля тяговых качеств автомобиля используются стенды различных конструкций [1, 2]. Наибольшее распространение получил метод контроля на силовых роликовых стендах, как более точный. Силовые роликовые стенды устроены так, что каждое колесо АТС опирается на два опорных ролика.

Принцип контроля тяговых качеств АТС на данных стендах заключается в следующем: ведущие колеса автомобиля устанавливаются на роликах стенда, АТС закрепляют с помощью специальных креплений; двигатель, трансмиссию и шины прогревают.

В процессе контроля разгоняют ведущие колеса на прямой передаче и максимальных оборотах двигателя. Нагружающая система стенда подводит к его опорным роликам тормозной момент до тех пор, пока скорость вращения ведущих колес не установится на заданном уровне. При этой заданной установившейся скорости системы измерения стенда измеряют силы тяги на ведущих колесах автомобиля. Результатами измерения являются показатели колесной мощности и силы тяги на ведущих колесах [1, 2].

Этот метод контроля тяговых качеств АТС имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, механика взаимодействия шин с опорной поверхностью дороги существенно отличается от механики их взаимодействия с цилиндрическими опорными роликами диагностического стенда [3]. Во-вторых, в процессе диагностирования, возникают продольные перемещения автомобиля [4, 5] которые вносят значительные погрешности в измерения тяговых параметров. При этом существенно изменяются силовые радиусы r_{k01} и r_{k02} колеса. В-третьих, при постановке диагностируемого АТС на стенд практически всегда имеет место непараллельность осей вращения его колес и роликов стенда [4, 5]. В четвёртых, немаловажную роль в процессе взаимодействия шины автомобильного колеса играет давление воздуха в шине $p_{ш}$. Все эти факторы существенно влияют на величину силовых и скоростных потерь в шинах ведущих колес АТС и вызывают значительные погрешности измерения параметров тяговых качеств АТС [6, 11, 12].

В связи с вышесказанным, актуальным становится проведение исследований скоростных потерь и взаимодействия шин автомобильных колес с опорными роликами силового диагностического стенда [7, 11].

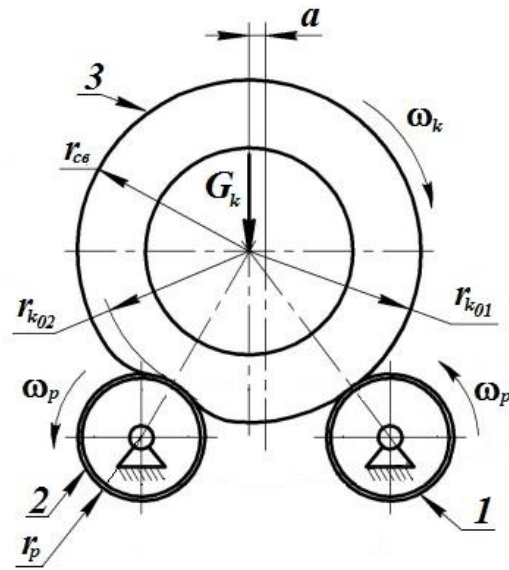
Методика исследования

Экспериментальное исследование силовых радиусов r_{k01} и r_{k02} колеса - радиусов качения колеса в ведомом режиме на каждом опорном ролике стенда осуществлялось при изменении действующей на колесо нормальной нагрузки G_k , изменении смещения колеса относительно плоскости симметрии опорных роликов стенда в сторону заднего опорного ролика, а также при варьировании давления воздуха $p_{ш}$ в шине.

Изменение величины смещения колеса относительно опорных роликов имитирует уровень непараллельности осей стенда и колес автомобиля (рис. 1).

Продольное смещение колёс диагностируемой оси автомобиля на роликах стенда всегда в процессе его разгона бывает под действием продольных реакций. Продольное смещение колёс может изменяться в результате недостаточного или избыточного давления воздуха в шинах.

Для экспериментального исследования была использована шина КАМА EURO-236 185/60R15 84Н. Давление воздуха в шине изменяли дискретно от 0,23 МПа до 0,15 МПа с шагом 0,02 МПа. Нормальную нагрузку на колесо варьировали от начального значения 0 Н до максимального - 4500 Н, с шагом 500 Н.



1 – Передний опорный ролик; 2 – задний опорный ролик; 3 – колесо автомобиля; a – величина смещения колеса; ω_p – угловая скорость вращения опорных роликов; ω_k – угловая скорость вращения колеса; r_{k01} – радиус качения колеса относительно переднего опорного ролика; r_{k02} – радиус качения колеса относительно заднего опорного ролика; $r_{св}$ – свободный радиус колеса; G_k – нагрузка на колесо.

Рисунок 1 - Схема установки колеса АТС на ролики стенда с продольным смещением

Для выявления функциональной зависимости радиуса r_{k01} качения колеса на переднем опорном ролике и радиуса r_{k02} колеса на заднем опорном ролике от величины воздействующей на эластичную шину нормальной нагрузки G_k при варьировании величины смещения колеса a относительно оси симметрии опорных роликов и давления воздуха в шине $p_{ш}$ была использована специальная методика и необходимое для её реализации оборудование [8]. Суть методики заключается в следующем: на измерительный стенд [9, 10] устанавливается испытуемое колесо, с определённым значением давления воздуха $p_{ш}$ в шине, смещением a и нормальной нагрузки G_k , приложенной к нему. После контроля тестовых величин, колесо приводится во вращение. Вращение опорных роликов осуществляется за счёт вращения колеса, при этом оба опорных ролика кинематически не связаны друг с другом. Во время вращения колеса, измерительными системами стенда осуществляется измерение угла поворота колеса и обоих опорных роликов. Значение этого угла выводится на специальное табло на пульт управления стендом в виде количества импульсов с датчиков положения колеса n_k и опорных роликов n_1 и n_2 .

Расчёт радиуса r_{k01} качения колеса на переднем опорном ролике и радиуса r_{k02} качения колеса на заднем опорном ролике производится по формулам

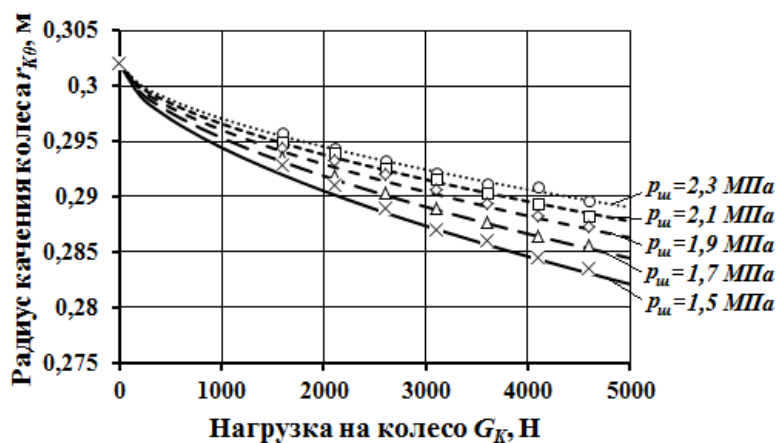
$$r_{k01} = \frac{r_R \cdot n_1}{n_K}; \quad (1)$$

$$r_{k02} = \frac{r_R \cdot n_2}{n_K}; \quad (2)$$

где r_p – радиус опорного ролика, м;
 n_1 – количество импульсов с датчика частоты вращения переднего опорного ролика;
 n_2 – количество импульсов с датчика частоты вращения заднего опорного ролика;
 n_k – количество импульсов с датчика частоты вращения колеса.

Результаты исследования

Полученные значения радиусов r_{k01} и r_{k02} качения автомобильного колеса в ведомом режиме без смещения a относительно опорных роликов, при изменении нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$ представлены на рис. 2.



□◇×Δ – экспериментальные значения; --- – расчётные значения.

Рисунок 2 - Зависимость радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьирования давления воздуха в шине $p_{ш}$ без смещения относительно опорных роликов стенда ($a=0$ мм)

Как видно из графика (рис. 2) радиусы r_{k01} и r_{k02} , полученные при качении колеса без смещения по двум опорным роликам стенда, не отлича-

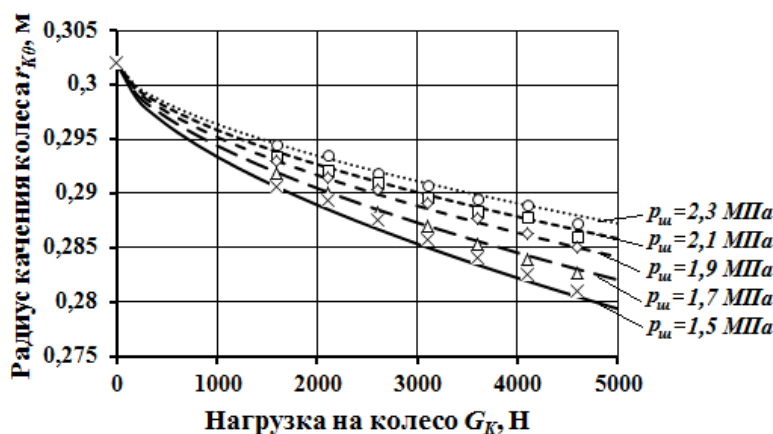
ются друг от друга, соответственно, в этом случае их значения будут одинаковыми. Однако, при уменьшении давления воздуха в шине $p_{ш}$, значения радиусов также уменьшаются.

При установке смещения колеса в сторону заднего опорного ролика-нарасстояние a , равного 15 мм (рис. 1), появляется различие радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме относительно переднего и заднего опорных роликов (рис. 3 и рис. 4).



□◇×△ – экспериментальные значения; --- – расчётные значения.

Рисунок 3 - Зависимость радиуса r_{k01} качения колеса в ведомом режиме на переднем ролике от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$, со смещением колеса относительно опорных роликов стенда в сторону заднего ролика ($a=-15$ мм)



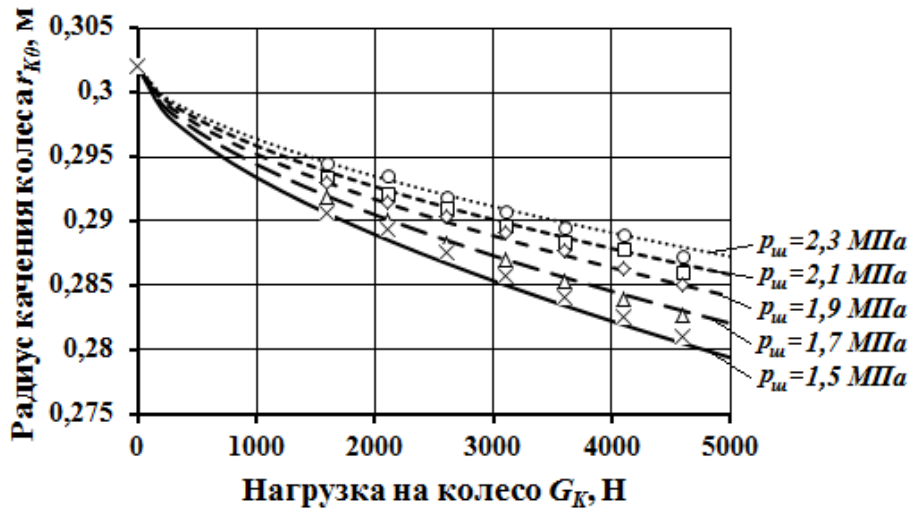
□◇×△ – экспериментальные значения; --- – расчётные значения.

Рисунок 4 - Зависимость радиуса r_{k02} качения колеса в ведомом режиме на заднем ролике от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$, со смещением колеса относительно опорных роликов стенда в сторону заднего ролика ($a=-15$ мм)

Анализ

Анализ рисунков 3 и 4 показывает, что при смещении колеса в сторону заднего опорного ролика происходит увеличение значений радиуса r_{k01} качения колеса на переднем ролике и уменьшение радиуса r_{k02} на заднем.

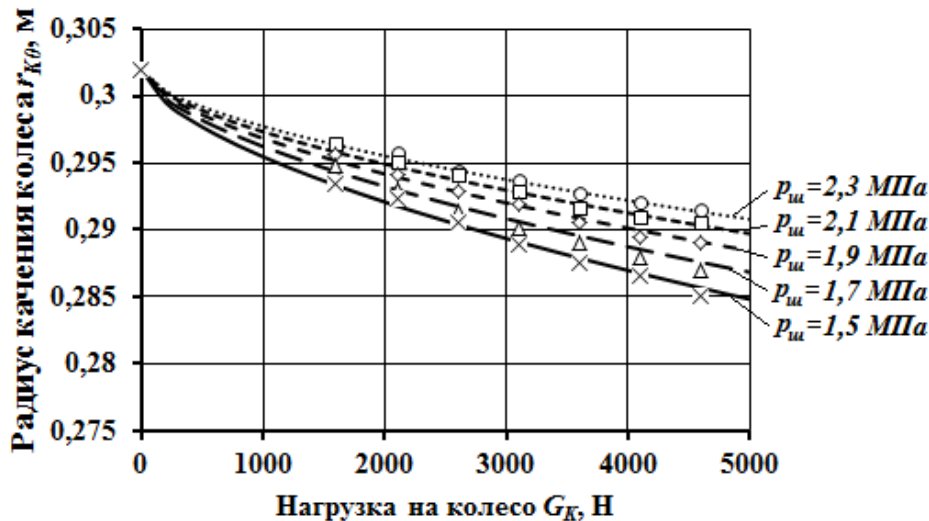
Смещение колеса в сторону переднего опорного ролика на расстояние, a равного 15 мм (рис. 1), влечёт за собой увеличение значений радиуса r_{k02} качения колеса на заднем ролике и уменьшение радиуса r_{k01} на переднем (рис. 5 и рис. 6).



□○◇×△ – экспериментальные значения; --- – расчётные значения.

Рисунок 5 - Зависимость радиуса r_{k01} качения колеса в ведомом режиме на переднем ролике от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$, со смещением колеса относительно опорных роликов стенда в сторону переднего ролика ($a=15$ мм)

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3, 4, 5 и 6 показывает то, что радиус r_{k01} качения колеса на переднем ролике при смещении колеса в сторону переднего ролика ($a=15$ мм) изменяется в зависимости от нормальной нагрузки G_k и давления воздуха в шине $p_{ш}$ аналогично радиусу r_{k02} качения колеса на заднем ролике при тех же условиях, со смещением колеса в сторону заднего ролика ($a = -15$ мм). Изменение радиуса r_{k01} качения колеса на переднем ролике при смещении колеса в сторону заднего ролика ($a = -15$ мм) также соответствует изменению радиуса r_{k02} качения колеса на заднем ролике при смещении колеса в сторону переднего ролика стенда ($a=15$ мм).



$\square, \diamond, \times, \Delta$ – экспериментальные значения; --- – расчётные значения

Рисунок 6 - Зависимость радиуса r_{k02} качения колеса в ведомом режиме на заднем ролике от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$, со смещением колеса относительно опорных роликов стенда в сторону переднего ролика ($a=15$ мм)

Зависимости (рис. 2, 3, 4, 5 и 6) радиусов качения колеса r_{k01} и r_{k02} в ведомом режиме от нормальной нагрузки на колесо G_k и варьировании давления воздуха в шине $p_{ш}$, без смещения относительно опорных роликов стенда ($a=0$) была аппроксимирована формулой вида

$$r_{k0i} = r_s - \left(G_k^{a_G} \cdot \frac{a_p}{p_{ш}} \cdot \left(1 - \frac{a}{a_a} \right) \right), \quad (3)$$

- где r_s – свободный радиус колеса, м;
 G_k – нормальная нагрузка на колесе, Н;
 $p_{ш}$ – давление воздуха в шине, МПа;
 a – смещение колеса относительно оси симметрии опорных роликов, м;
 a_G – коэффициент, характеризующий изменение радиуса качения колеса r_{k0} при изменении нормальной нагрузки G_k , $a_G = 0,6$;
 a_p – коэффициент, характеризующий изменение радиуса качения колеса r_{k0} при изменении давление воздуха в шине $p_{ш}$, $a_p = 0,00018$;
 a_a – коэффициент, характеризующий изменение радиуса качения колеса r_{k0} при изменении смещение колеса относительно оси симметрии опорных роликов a , $a_a = 110$.

Смещение колеса a в выражении (3) учитывается таким образом, что при смещении колеса в сторону переднего ролика, значение смещения устанавливается выше нуля ($a > 0$). При смещении колеса в сторону заднего ролика, значение смещения устанавливается ниже нуля ($a < 0$). Расчётные значения радиусов качения также показаны на графиках рис. 2, 3, 4, 5 и 6.

Выводы

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1) Изменение давления воздуха в шине влечёт за собой изменение радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме. В этом случае величина отличия радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме при давлении $p_{ш}=2,3$ МПа и $p_{ш}=1,5$ МПа может достигать до 3 %.

2) При смещении колеса в продольном направлении относительно опорных роликов стенда возникает значительное изменение радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме. За счёт перемещения колеса, величина отличия радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса в ведомом режиме может изменяться до 6,5 %.

3) Изменение радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колес в ведомом режиме может послужить причиной возникновения кинематического рассогласования, образуя проскальзывание колеса относительно переднего и заднего опорных роликов стенда в процессе контроля тяговых качеств АТС.

4) Полученные в результате аппроксимации коэффициенты a_G , a_p и a_a позволяют выполнять расчёты радиусов r_{k01} и r_{k02} качения колеса по двум цилиндрическим опорным поверхностям с учётом смещения колеса a и давления воздуха в шине $p_{ш}$.

Список использованной литературы

1. Федотов А. И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А.И. Федотов; М-во образования и науки РФ, ИрГТУ, Иркутск, 2012. 476 с.

2. Федотов А. И. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении: учебник для студентов ВУЗов / А.И. Федотов. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 352 с.

3. Серов А.В. Стенды для контроля технического состояния и обкатки лесотранспортных машин. М.: Изд-во «Лесная промышленность», 1969. 168 с.

4. Федотов А.И., Бойко А.В., Потапов А.С. О повторяемости измерений параметров процесса торможения автомобиля на стенде с беговыми барабанами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 1 (33). С. 63-71.

5. Бойко А.В. Совершенствование метода диагностики тормозных систем автомобилей в условиях эксплуатации на силовых стендах с беговыми барабанами: дис. канд. техн. наук. Иркутск, 2008.

6. Федотов А.И., Бойко А.В., ЛуанЛе.В. Анализ механики взаимодействия эластичной шины с цилиндрической опорной поверхностью бегового барабана диагностического стенда // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2014. № 1 (35). С. 34-37.

7. Федотов А.И., Бойко А.В., Буранов А.В., ЦогтДоржсурэнЭкспериментальное исследование параметров, характеризующих взаимодействие автомобильного колеса с опорными роликами диагностических стендов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. № 4 (40). С. 72-77.

8. Яньков О.С. Повышение качества контроля тормозных систем АТС на стендах с кинематически связанными опорными роликами: дис. канд. техн. наук. Иркутск, 2017.

9. Бойко А.В., Яньков О.С., Марков А.С., Кузнецов Н.Ю. / Стенд для исследования процесса взаимодействия эластичной шины с двумя беговыми барабанами / Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера. Конструкция, эксплуатация. Экономика: материалы 90-й МНТК, Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 482 с.

10. Бойко А.В., Яньков О.С., Марков А.С., Халезов В.П. / Методика экспериментальных исследований процесса взаимодействия эластичной шины с двумя цилиндрическими и плоской опорными поверхностями / Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера. Конструкция, эксплуатация. Экономика: материалы 90-й МНТК, Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 482 с.

11. Fedotov A.I., Krivtsov S.N., Yan'kov O.S. Circulation of Power During Braking of Tyre of Vehicle Wheel On Support Rollers of the Diagnostic Stand / Proceedings of the international conference: Aviamechanical engineering and transport (AVENT 2018) AERAdvances in Engineering Research, May 21-26, 2018 p. 147-151

12. Fedotov A.I., Zedgenizov V.G., Ovchinnikova N.I., Dynamic analysis of elastic rubber tired car wheel breaking under variable normal load, Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering / Conference Series Earth and Environmental Science, UNSP 082017, Mar 23-25, 2017, Saint Petersburg Mining Univ, Saint Petersburg, Russia.

КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНТИБЛОКИРОВОЧНЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ

А.С. Потапов, Т.А. Тарасова, М.Ю. Федяев

Аннотация. В статье приведено описание комплекса для экспериментального исследования процессов функционирования антиблокировочных тормозных систем (АБС). Комплекс предназначен для получения зависимостей функционирования автомобильной АБС. Комплекс даёт возможность визуализации процесса затормаживания и растормаживания колеса с эластичной шиной при функционировании АБС.

Ключевые слова: антиблокировочная тормозная система, шины, функциональные зависимости, коэффициент сцепления, растормаживание, затормаживание, проскальзывание.

Антон Сергеевич Потапов - к.т.н., доцент кафедры "Автомобильный транспорт", ИРНИТУ, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89025150608, E-mail: batoha32303@rambler.ru.

Татьяна Александровна Тарасова - студент гр. ТЭАМ-17-1, ИРНИТУ, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89500649709.

Михаил Юрьевич Федяев - студент гр. ТЭАМ-17-1, ИРНИТУ, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89501054187.

Введение

Коэффициент сцепления с дорогой для каждого колеса зависит от нагрузки на ось, на колесо, от состояния протектора шины, дорожного покрытия. Это означает, что все колёса тормозят с разными усилиями. Возможность возникновения заноса прямо пропорциональна величине этой разницы и возрастает с увеличением скорости автомобиля.

Известно, что торможение наиболее эффективно происходит тогда, когда колёса при нажатии на педаль тормоза не блокируются, а продолжают медленно прокручиваться. В этом случае автомобиль остаётся управляемым до полной остановки. Уже давно одним из путей повышения активной безопасности автомобиля является использование антиблокировочных систем (АБС/ABS), реализующих такой способ торможения.

Современные автомобили оснащаются антиблокировочными тормозными системами, регулирующими проскальзывание колеса в процессе снижения его скорости и полной остановки.

Для изучения процессов функционирования АБС, группа учёных Иркутского государственного технического университета создала научно-исследовательский комплекс, позволяющий выполнять анализ процесса торможения колеса и обеспечивать следующие возможности:

- варьирования окружной скорости барабана;
- варьирования нормальной нагрузки на колесо;
- экспериментальное определение характеристик продольного сцепления шины колеса автомобиля с поверхностью бегового барабана стенда;
- экспериментальное определение изменения окружной скорости колеса и скорости бегового барабана в режиме торможения;
- экспериментальное определение тормозного момента на колесе в режиме его торможения;
- управлять процессом торможения колеса [3].

Материалы и методы

Научно исследовательский комплекс, схема которого показана на рис. 1. и 2., состоит из бегового барабана 1, системы его привода 2-6, системы исследования процессов функционирования АБС 9-19.

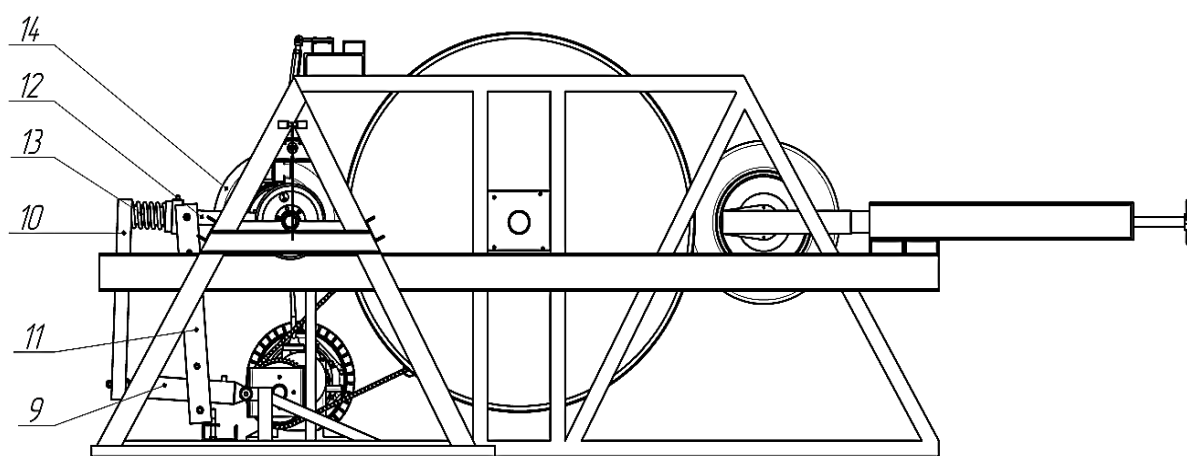


Рисунок 1 – Схема комплекса для экспериментального исследования процессов функционирования антиблокировочных тормозных систем (вид сверху)

Беговой барабан 1, поверхность которого покрыта асфальтобетоном и наружный диаметр которого составляет 1770 мм, приводит во вращение электро-гидропривод 7. Он позволяет плавно регулировать скорость вращения бегового барабана в диапазоне от 0 до 22,6 рад/с. При этом окружная скорость поверхности бегового барабана может достигать 20 м/с. [2]

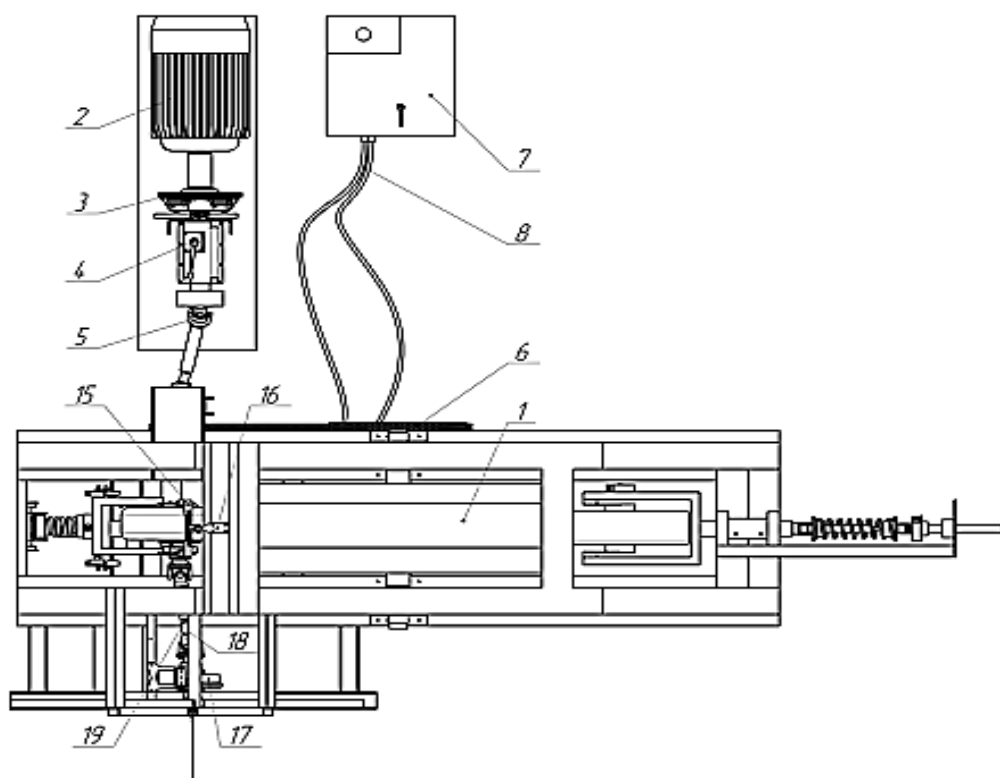


Рисунок 2 - Схема комплекса для экспериментального исследования процессов функционирования антиблокировочных тормозных систем (вид спереди)

Вращение бегового барабана обеспечивает асинхронный электродвигатель 2 мощностью $N = 55$ кВт. Передача мощности от двигателя на барабан осуществляется через фрикционное дисковое сцепление 3, ступенчатую коробку передач 4 и цепную передачу 6. [3]

Система исследования процессов функционирования АБС состоит из механизма нагружения колеса нормальной нагрузкой R_z , механизма нагружения тормозным моментом M_T , а также систем измерения продольной реакции R_z , тормозного момента M_T , и угловых скоростей колеса ω_k и бегового барабана ω_b (рис. 2).

Механизм нагружения колеса нормальной нагрузкой состоит из нагружающего гидроцилиндра 9, двуплечего рычага 10, опорной стойки 11, нажимной рамки 12 и нажимной пружины 13. При создании в гидроцилиндре давления жидкости, его шток начинает перемещать нижний конец двуплечего рычага 10, при этом верхний конец рычага 10 начинает деформировать пружину 13, которая, в свою очередь, нагружает колесо 14 через рамку 12 нормальной нагрузкой R_z . Диапазон изменения нормальной нагрузки на колесо, обеспечиваемый механизмом нагружения составляет от 0 до 8000 Н.

Контроль величины нормальной реакции R_z осуществляется по деформации нажимной пружины 13. Положение рамки 12 и колеса 14 в пространстве устанавливается опорной стойкой 11 и рамкой подвеса колеса 15, которая через подвижный шарнир жестко крепится к тензобалке 16, представляющей собой устройство измерения тормозной реакции R_x .

Первичным преобразователем системы измерения продольной реакции R_x является тензобалка 16. При возникновении в пятне контакт шины с поверхностью бегового барабана тормозной силы, направленной вдоль оси рамки 15, в точке крепления рамки 15 к тензобалке возникает реакция R_x стремящаяся нагрузить защемленную тензобалку изгибающим моментом. Наклеенные на балке чувствительные тензодатчики преобразуют величину реакции R_x , в изменение сопротивления.

Механизм нагружения колеса 14 тормозным моментом состоит из тормозного механизма барабанного типа 17 в составе с АБС, связанного с колесом карданной передачей 18. На валу карданной передачи 18 наклеены тензодатчики, измеряющие величину подводимого к колесу тормозного момента. Для подведения питания к тензомосту и снятия измерительного сигнала от тензодатчиков, на валу 18 установлен токосъемник 19 струнного типа. Тензодатчики совместно с токосъемником, являются элементами системы измерения тормозного момента M_T . [2]

Управление работой тормозного механизма с АБС осуществляется от гидравлического привода (на рис. 1. и 2. не показан). В состав привода входят главный тормозной цилиндр с рычагом и соединительные трубопроводы. Тормозной механизм обеспечивает нагружение испытуемого колеса тормозным моментом в диапазоне от 0 до 1,5 кН·м. Система АБС обеспечивает растормаживание колеса при достижении проскальзывания $S_{кр}$ примерно равному 0,2.

Общий вид стенда для исследования характеристик шин представлен на рис. 3.

Система исследования процессов функционирования АБС позволяет получать экспериментальные характеристики в виде зависимостей $R_x = f(t)$, $M_T = f(t)$, $R_z = f(t)$, $V_6 = f(t)$, $V_k = f(t)$.

Методика проведения экспериментальных исследований пошагово состоит из следующих действий:

- Подключить измерительные датчики к операционным усилителям;
- Включить компьютер с подсоединенным аналого–цифровым преобразователем;
- При помощи шлейфа переходника подключить усилитель к аналого–цифровому преобразователю (АЦП);
- Включить питание измерительного комплекса;
- Включить питание стенда и прогреть системы стенда;
- Проверить давление в шине. При необходимости довести до нормы;

- Создать нормальную нагрузку на колесо при помощи гидроцилиндра;
- Включить запись сигнала на компьютере с построением графиков нагрузки в программной среде Zetlab;
- Запустить электродвигатель и привести барабан в движение;
- Выключить электродвигатель и нажать на рычаг тормозного привода;
- Снять измерения нормальной нагрузки, тормозной силы и тормозного момента в тормозном режиме;
- Разгрузить колесо при помощи гидроцилиндра;
- Отключить питание стенда;
- Сохранить на компьютере показания, снятые с датчиков;
- Отключить от питания операционный усилитель, отсоединить шлейф от аналого-цифрового преобразователя;
- Провести анализ полученных данных.



Рисунок 3 - Общий вид комплекса для экспериментального исследования процессов функционирования антиблокировочных тормозных систем

Результаты и их обсуждение

Основными характеристиками функционирования АБС при торможении автомобильного колеса являются зависимости значения нормальной R_z и продольной R_x реакций, а также тормозного момента, скорости колеса и скорости бегового барабана от времени.

Все эти характеристики были получены после проведения экспериментальных исследований и представлены на рисунке 4.

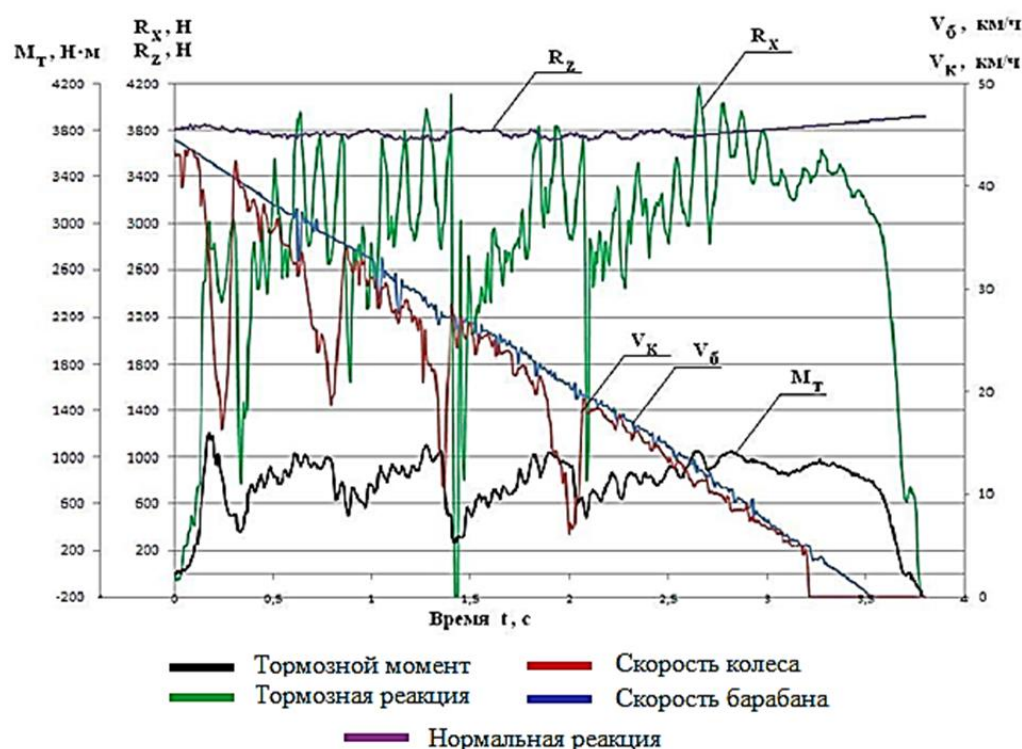


Рисунок 4 - Осциллограмма зависимости тормозного момента, тормозной реакции, скорости колеса, скорости барабана, нормальной реакции от времени торможения

Выводы

1. Проведенные эксперименты для получения зависимостей функционирования автомобильной АБС на лабораторном комплексе для экспериментального исследования процессов функционирования антиблокировочных тормозных систем, дают возможность визуализации процесса растормаживания колеса с эластичной шиной при его торможении.

2. Характеристики полученные на разработанном комплексе является отличным аппаратом для оценки адекватности математических моделей торможения автомобильного колеса в составе АБС.

Рекомендации

Полученные результаты могут использоваться в учебном процессе, для проведения лабораторных работ при подготовке специалистов направ-

ления эксплуатация транспорта и транспортно-технологических машин и комплексов.

Список использованных источников

1. Федотов А.И. Исследование процесса торможения колеса с эластичной шиной под действием переменной нормальной нагрузки // БЕЗОПАСНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ. Материалы 99-й Международной научно-технической конференции. Иркутский национальный исследовательский технический университет; под общей редакцией А.И.Федотова. 2017. С. 167-178.

2. Федотов А.И. Стенд для исследования характеристик шин // Журнал автомобильных инженеров. 2015. №. С.30-33.

3. Федотов А.И. Шинный тестер с беговым барабаном для исследования характеристик шин. // Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. №2. С.123-126.

УДК 629.113

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

И.С. Писарев, В.Н. Катаргин, Д.А. Поцейко

Аннотация. Рассмотрена проблема повышения ресурса агрегатов. Предложено параметр скорости изнашивания деталей в технологию необезличенного ремонта использовать в процессе накопления информации о размерной модели, направленной на достижение оптимального состояния замыкающих звеньев размерных цепей в целях повышения ресурса отремонтированных агрегатов. Проведен пассивный эксперимент, определены номинальные размеры и допуски на обработку у подшипников коробки переключения передач (КПП) автомобилей КАМАЗ отечественного производства и бренда Германии ZF. Выполнена оценка средней скорости изнашивания подшипников КПП. Представлено их графическая интерпретация результатов. Показаны пути использования полученных значений в ремонте.

Ключевые слова: ремонт, агрегат, скорость изнашивания размеров деталей.

Илья Сергеевич Писарев - к.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспорт», Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, 660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20, тел.: 83912498252, E-mail: Ipisarev@sfu-kras.ru.

Владимир Николаевич Катаргин - к.т.н., профессор, профессор кафедры «Транспорт», Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, 660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20, тел.: 2498924, e-mail: vkatargin@sfu-kras.ru.

Дмитрий Андреевич Поцейко - магистрант кафедры «Транспорт», Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, 660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20, тел.: 89233318226, E-mail: potseyko95@mail.ru.

В современных условиях для предприятий, занимающихся ремонтом автотранспорта, наибольшую актуальность приобретают задачи : снижения затрат на ремонт и повышение послеремонтного ресурса агрегата (автомобиля). Однако эти взаимопротивоположные задачи представляют большую сложность в нахождении оптимального решения для любого предприятия. С целью нахождения такого решения предлагается совершенствование методики, изложенной в [1].

Ремонт автомобилей и их составных частей выполняется по потребности, которая выявляется в процессе ТО или планового осмотра. Но некоторые виды ремонтных работ регламентированы определенным пробегом. Данные регламентные работы проводят при текущем ремонте (предупредительный ремонт) или совмещают с очередным ТО (сопутствующий ремонт).

При этом различают два основных метода ремонта автомобилей и их агрегатов — необезличенный и обезличенный.

Обезличенным называется метод ремонта, при котором не сохраняется принадлежность восстановленных составных частей к определенному экземпляру изделия.

Необезличенным называют метод ремонта, при котором сохраняется принадлежность восстановленных составных частей к определенному экземпляру изделия. При этом методе ремонта автомобиль (агрегат) разбирают, но снятые с него составные части не обезличиваются и после ремонта вновь устанавливаются на тот же автомобиль (агрегат).[2]

Важно проводить необезличенный ремонт с использованием деталей, в процессе изготовления и ремонта которые должны быть обработаны с точностью, определяемой условиями эксплуатации. Точность обработки деталей при одном и том же размере характеризуется величиной допуска на обработку. Таким образом, под точностью изготовления детали следует понимать величину допуска, установленного для данной детали.

Выдержать точно заданный размер детали трудная и затратная задача. Поэтому при изготовлении и ремонте деталей указывают наибольший и наименьший размеры, при соблюдении которых деталь будет удовлетворять условиям эксплуатации.

Наибольший и наименьший допускаяемые размеры деталей носят название предельных размеров.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами детали называется допуском на обработку.[3]

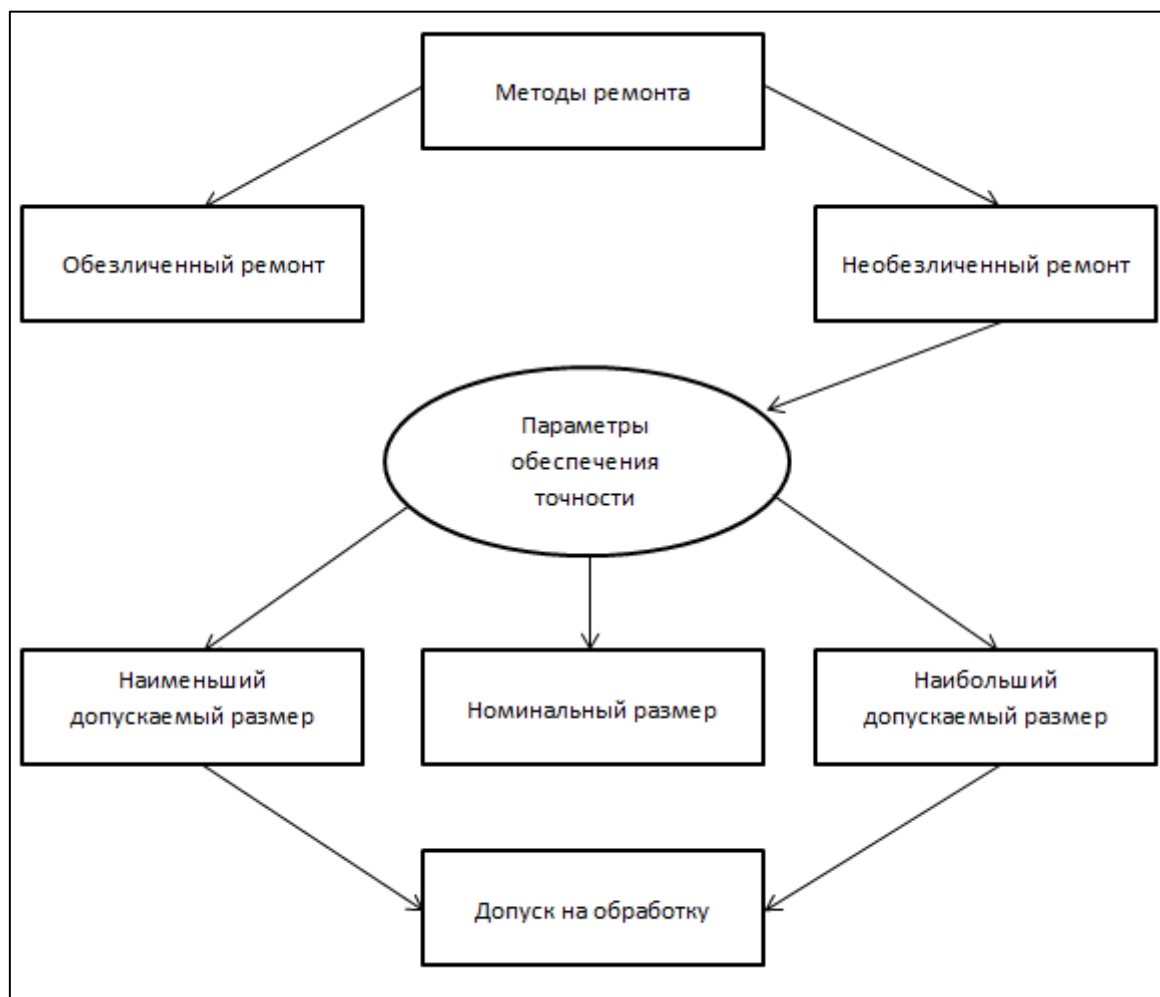


Рисунок 1 - Методы ремонта

Качество необезличенного ремонта можно улучшить, добавив определение скорости изнашивания деталей в алгоритм технологического процесса ремонта, тем самым увеличить остаточный ресурс агрегата.

Тогда алгоритм технологического процесса необезличенного ремонта будет выглядеть следующим образом:

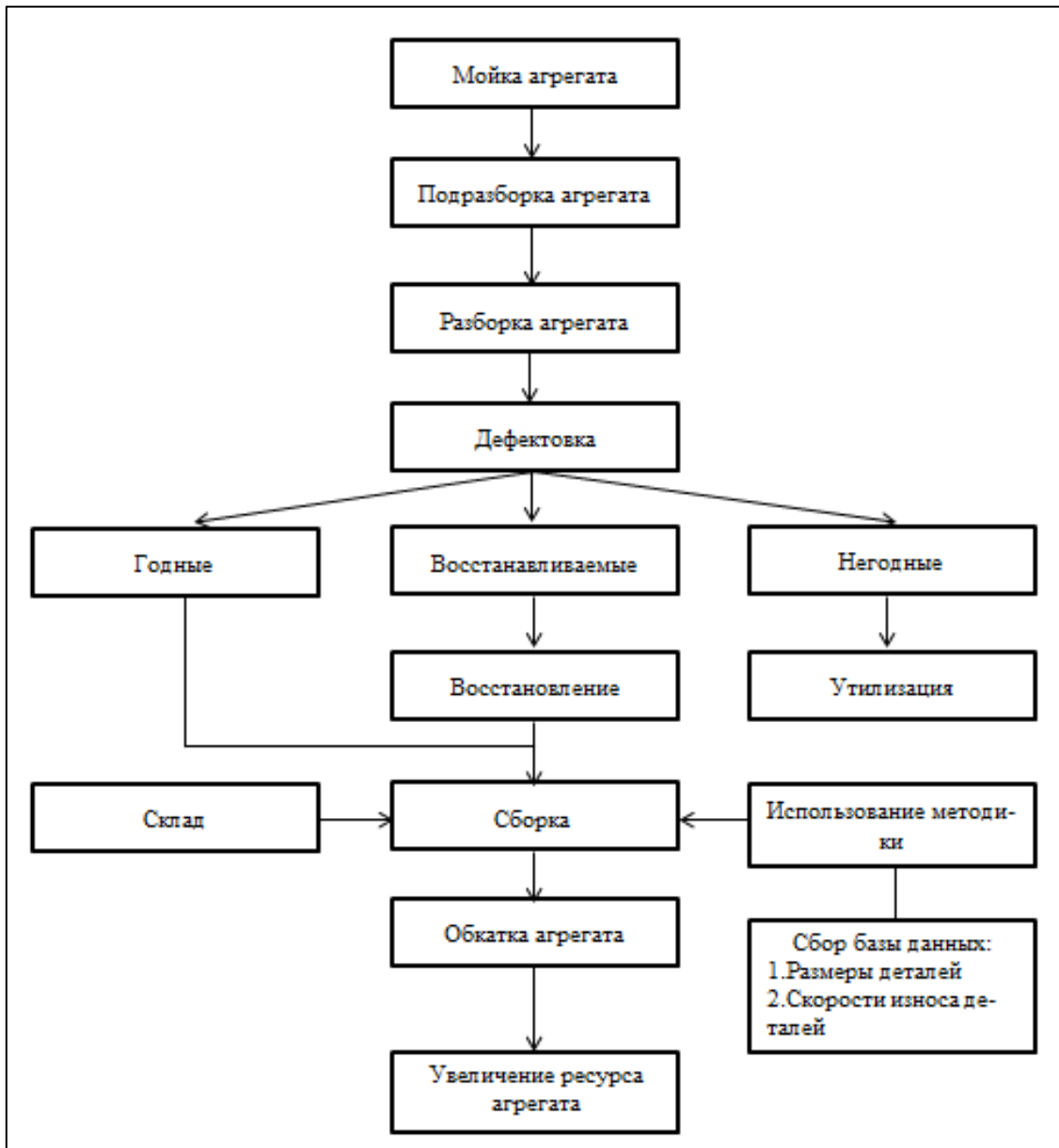


Рисунок 2 - Алгоритм необезличенного ремонта агрегатов

Текущей задачей алгоритма необезличенного ремонта агрегатов является *оценка средней скорости изнашивания* размеров деталей и ее практическое применение.

В работе [4] были проанализированы существующие методики определения *скорости изнашивания* размеров деталей и выбрана наиболее применимая в действительных условиях — микрометрирование.

На основе результатов выбора методики был проведен пассивный эксперимент с использованием метода микрометрирования, целью которого является определить скорость изнашивания деталей.

Эксперимент проводился у официального дилера автомобилей КАМАЗ ООО «Техавтоцентр» в г. Красноярске.

Объектом эксперимента, основываясь на статистических данных по наибольшему отказам, были выбраны размеры подшипников КПП автомобилей КАМАЗ от немецкого бренда ZF и оригинальные отечественные подшипники КАМАЗ.

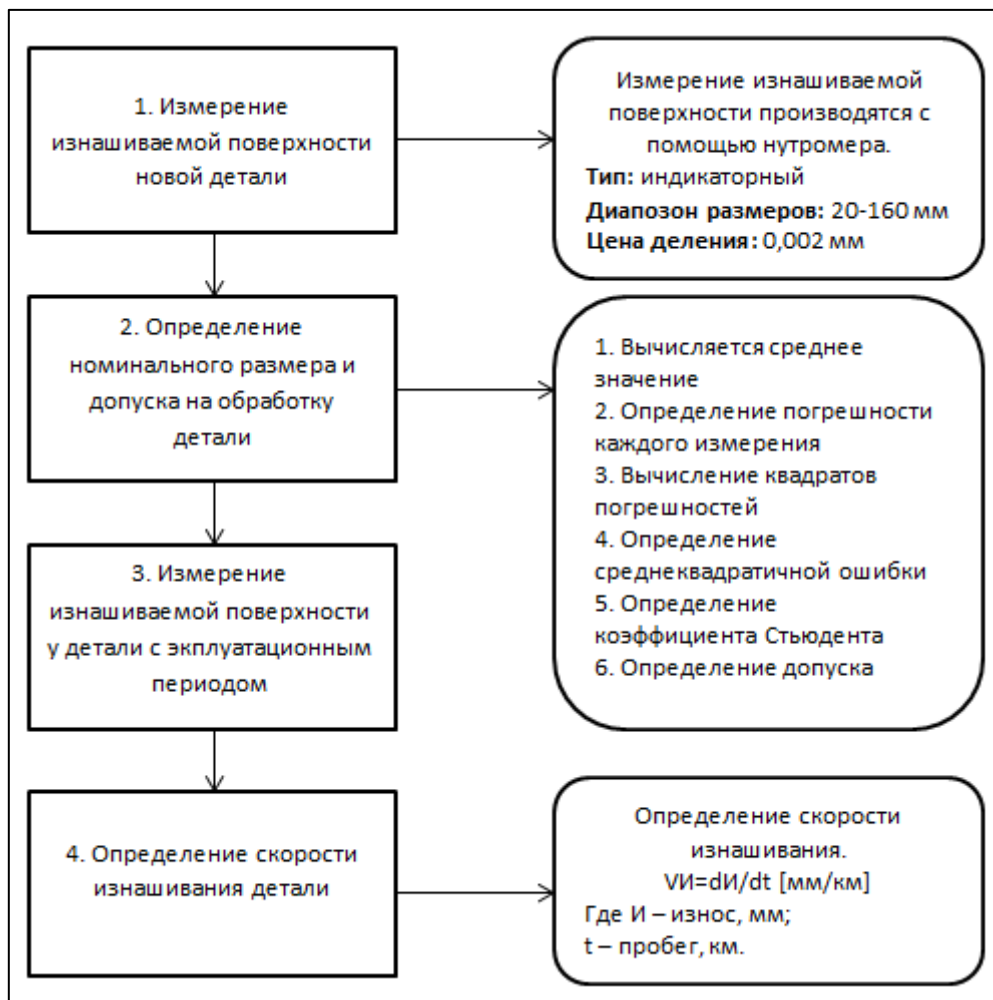


Рисунок 3 - Ход эксперимента

Измеряемой поверхностью у подшипников является внутренний диаметр подшипника, т.к он больше всего подвергается износу.

В ходе эксперимента было измерено 7 видов подшипников, по 33 штуки каждого вида от отечественного изготовителя и бренда ZF.

Результаты определения средней скорости изнашивания подшипников показаны на рис. 4.

Таблица 1 - Результаты расчетов средней скорости изнашивания подшипников

Пробег, км	Отечественные подшипник	Подшипники ZF
	Скорость изнашивания, (мм/км)*10 ³	
65000	1,634923	1,49953
60000	1,611151	1,47741
55000	1,603195	1,45745
50000	1,575552	1,43232
45000	0,944856	0,85896
40000	0,932129	0,84739
35000	0,917477	0,83407
30000	0,906202	0,82382
25000	0,901395	0,81945
20000	0,89694	0,8154
15000	1,626295	1,47845
10000	1,584185	1,45835
5000	1,530381	1,43671

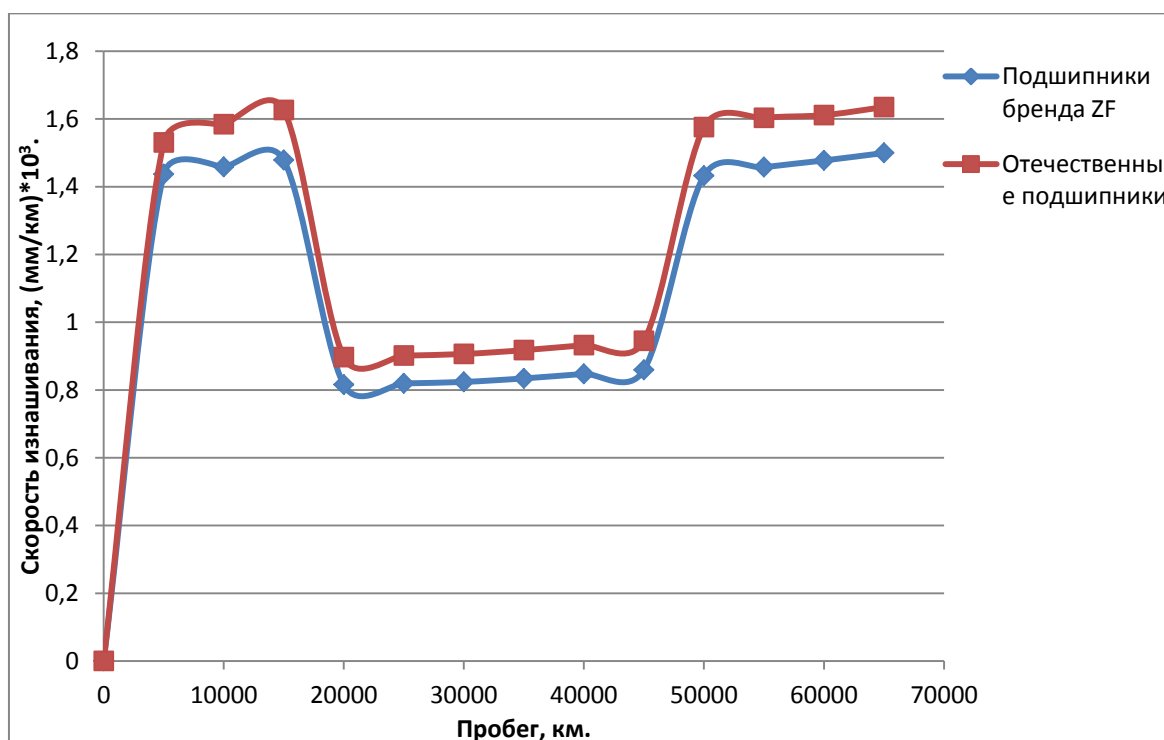


Рисунок 4 - Средняя скорость изнашивания подшипников

Результаты эксперимента показали, что отечественные подшипники изготовлены с более высокой точностью чем у бренда ZF, но имеют большую скорость изнашивания.

Использование предложенных усовершенствований в рассмотренной методике позволит определять скорость изнашивания подшипников, что даст возможность спрогнозировать через какой пробег у данной детали произойдет отказ, что позволит произвести замену детали до того, как размеры ее изнашиваемой поверхности достигнут предельных значений, тем самым повысить остаточный ресурс агрегата в целом.

Также результаты усовершенствования в рассмотренной методике можно применить и использовать для всех поверхностей всего массива деталей агрегата.

Интеграция результатов усовершенствования методики в размерную модель агрегата позволит определить скорость изнашивания для каждого размера всех деталей агрегата, что обеспечит формирование набора замыкающих звеньев агрегата автомобиля при создании структурных моделей размерных связей.

Список использованной литературы

1. Писарев И.С., Ремонт агрегатов автомобилей управлением точно-стью размерных связей //Катаргин В.Н., Писарев И.С. // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 3. – С. 27–29.
2. Система технического обслуживания и ремонта автомобилей / Зубрицкас Игорь Ионасович.
http://www.novsu.ru/npe/files/um/1128/umk/SYS_TEA/index.htm.
3. ГОСТ 25346-89 Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений
4. Поцейко Д.А., Анализ методов определения скорости изнашивания агрегатов // Писарев И.С., Поцейко Д.А. // Авиамашиностроение и транспорт Сибири.– 2018. – С. 363-368.

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И
ИМПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ
ХОЛОДНОГО КЛИМАТА**

С.П. Озорнин, И.Н. Прокопьев

***Аннотация.** В статье представлен анализ факторов, влияющих на изменение технического состояния дизельных двигателей при эксплуатации в условиях холодного климата. Приведены полученные результаты наблюдений за изменением технического состояния двигателей, выполненных на основе дефектных ведомостей. Регрессионный анализ функциональной зависимости количества отказов двигателей от различных факторов выполнен на основе упорядоченной статистики отказов двигателей и сформированы уравнения регрессии. Составлены математические модели, на основе которых определяется ориентировочное время появления отказов.*

Ключевые слова: *дизельный двигатель, условия эксплуатации, холодный климат, эксплуатационная надежность, регрессионный анализ.*

Сергей Петрович Озорнин - профессор кафедры строительных и дорожных машин, доктор технических наук, профессор, Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, тел.: 8(3022)417-316, E-mail: s.ozornin2013.s@ya.ru.

Иван Николаевич Прокопьев - аспирант кафедры строительных и дорожных машин, Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, тел.: 8-914-136-64-65, E-mail: prokopew84@mail.ru.

Основными эксплуатационными свойствами дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются надежность и долговечность. Долговечность характеризуется сроком службы и ресурсом. В процессе эксплуатации ДВС транспортно-технологических машин (ТТМ) неизбежно ухудшаются их технические характеристики, повышается расход топлива и моторного масла, увеличиваются выбросы вредных веществ в атмосферу, а также происходит снижение эксплуатационной надежности.

В результате анализа большого количества работ сформирован ряд факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на надежность и эффективность использования дизельных ДВС (рис. 1).



Рисунок 1 - Классификация факторов, влияющих на надежность и эффективность использования дизельного ДВС

Влияние указанных на рис. 1 факторов, при эксплуатации машин в условиях холодного климата, неизбежно усиливается.

Для получения экспериментальных данных на базе сервисного предприятия ООО «КАМСС Сервис» (г. Чита) с помощью методики сбора статистической информации проведен пассивный статистический эксперимент, который выполнен с использованием мониторинга условий эксплуатации и изменений технического состояния двигателей ТТМ. Перед началом наблюдений были выбраны шестнадцать ТТМ, оборудованных двигателями Cummins и состоящих на обслуживании данной организации.

Эксперимент проводится в период эксплуатации с 2015 г. – по настоящее время. Изменение технического состояния ДВС ТТМ, состоящих на

сервисном обслуживании ООО «КАМСС Сервис», фиксируется с помощью встроенных средств контроля технического состояния.

Результаты длительных наблюдений за изменением технического состояния дизельных ДВС получены на основе анализа дефектных ведомостей автомобилей БелАЗ, обработанных с помощью программного обеспечения MS Office Excel. В итоге, все данные сведены в таблицу с целью дальнейшей обработки (рис. 2).

C450						
fx 27.06.2017						
	A	B	C	D	E	F
64						
65		Белаз 75131 двигатель КТА 50-С 3 год изготовления 2014				
66	№	Наработка (мото-час)	Дата	Выполненные работы	Воздействие	Время в ремонте, час
67		2015 год				
68	1	2847	08.01.2015	Текущий ремонт	Ремонт электропроводки	2
69	2	3857	31.01.2015	Текущий ремонт	Замена масляного поддона и прокладки	3,5
70	3	3885	01.02.2015	Текущий ремонт	Замена ремня генератора	0,5
71	4	3953	28.02.2015	Текущий ремонт	Устранение течи масла	1
72	5	4121	10.03.2015	Текущий ремонт	Замена шланга масляной системы	1
73	6	4961	14.04.2015	Текущий ремонт	Замена топливного актуатора	1
74				Текущий ремонт	Замена фильтра тонкой очистки топлива	0,5
75	7	6434	22.04.2015	Текущий ремонт	Замена топливного актуатора	1
76				Текущий ремонт	Замена фильтра тонкой очистки топлива	0,5
77	8	6675	25.05.2015	Текущий ремонт	Замена датчика давления масла	1
78	9	6947	04.08.2015	Текущий ремонт	Замена топливного актуатора	1
79				Текущий ремонт	Замена фильтра тонкой очистки топлива	
80		2016 год				
81	14	10787	29.02.2016	Текущий ремонт	Замена турбокомпрессора	2
82	15	10873	06.03.2016	Текущий ремонт	Замена вкладышей коленчатого вала	6

Рисунок 2 - Форма анализа дефектных ведомостей автомобилей БелАЗ-75131 с двигателем КТА-50-С3

Предварительный анализ полученных экспериментальных данных позволил выяснить, что значительное влияние на количество отказов дизельных ДВС оказывают: время в эксплуатации, реализованная наработка, жесткость условий эксплуатации, количество выполненных ремонтов. Функциональные зависимости между количеством отказов и различными влияющими эксплуатационными факторами определены с помощью регрессионного анализа статистических данных [1, 2, 3].

Для нахождения наиболее оптимального уравнения регрессии использован метод исключения. Сначала в рассмотрение включается наибольшее возможное число факторов, а затем последовательно исключаются факторы, дающие наименьший эффект, с пересчетом на каждом шаге значений всех коэффициентов регрессии и их значимости [1]. Значимость коэффициентов регрессии помогает обнаружить вычисление t -статистики [2, 3].

В качестве примера, приведена упорядоченная статистика отказов двигателя КТА 50-С3 автомобиля БелАЗ 75131 для регрессионного анализа функциональной зависимости количества отказов двигателей от различных факторов (**таблица 1**).

Обработка статистических данных выполнена по девяти двигателям QSK 60-С автомобилей БелАЗ 75306. Обработке подверглись предварительно собранные статистические данные, с учетом отобранных ранее четырех эксплуатационных факторов. В результате математической обработки получены следующие результаты для формирования уравнений регрессии:

1) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 1: множественный коэффициент регрессии $R = 0,921002$; критерий Фишера $F = 338,101$;

2) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 2: множественный коэффициент регрессии $R = 0,95921$; критерий Фишера $F = 399,86056$;

3) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 3: множественный коэффициент регрессии $R = 0,97950$; критерий Фишера $F = 1242,45249$;

4) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 4: множественный коэффициент регрессии $R = 0,9649197$; критерий Фишера $F = 742,663218$;

5) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 5: множественный коэффициент регрессии $R = 0,9823125$; критерий Фишера $F = 1499,50516$;

6) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-С 6: множественный коэффициент регрессии $R = 0,903050446$; критерий Фишера $F = 121,09035$;

7) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-C 7: множественный коэффициент регрессии $R = 0,9801351$; критерий Фишера $F = 1381,522636$;

8) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-C 8: множественный коэффициент регрессии $R = 0,97198150$; критерий Фишера $F = 312,21639$;

9) автомобиль БелАЗ 75306 с двигателем QSK 60-C 9: множественный коэффициент регрессии $R = 0,96134092$; критерий Фишера $F = 472,475821$;

Таблица 1 – Упорядоченная статистика отказов двигателя автомобиля БелАЗ 75131 с двигателем КТА 50-С 3

БелАЗ 75131, двигатель КТА 50-С 3, год изготовления 2014				
Наработка	Время до появления отказа (дн.)	Сезон	Система ДВС	Количество отказов
2847	0	зима	эл.об. ДВС	1
3857	22	зима	сист. смазки	2
3885	23	зима	расх.материал.	3
3953	50	зима	сист. смазки	4
4121	60	весна	сист. смазки	5
4961	94	весна	сист. питания	7
6434	101	весна	сист. питания	9
6675	133	весна	сист. смазки	10
6947	203	лето	сист. питания	12
10787	412	зима	сист. питания	13
10873	418	весна	ЦПГ	14
11051	451	весна	сист. питания	15
11865	498	весна	сист. питания	16
12089	511	лето	сист. смазки	17
12721	557	лето	расх.материал.	18
13100	576	лето	сист. смазки	19
13452	668	осень	сист. питания	20
13831	733	зима	сист. охлажд.	21
14210	758	зима	сист. питания	22
14395	768	зима	сист. смазки	23
14395	828	зима	сист. охлажд.	24
15025		весна	сист. питания	25

Регрессионный анализ выполнялся в среде программного обеспечения Microsoft Excel (**Рис. 3**). В результате, с использованием метода ис-

ключения выявлен один фактор, оказывающий наиболее существенное влияние на количество отказов:

- для двигателей QSK 60-C 1, QSK 60-C 2, QSK 60-C 3, QSK 60-C 4, QSK 60-C 6, QSK 60-C 8, QSK 60-C-9 – время в эксплуатации;

- для двигателей QSK 60-C 5, QSK 60-C 7 – наработка в процессе эксплуатации.

Для определения количества отказов n двигателей QSK 60-C получены следующие математические модели

$$\text{QSK 60-C 1 } n = 0,0483673 \cdot \text{Дэкс} - 1,95832784841 \quad (1)$$

$$\text{QSK 60-C 2 } n = 0,0236031 \cdot \text{Дэкс} + 0,148145165190925; \quad (2)$$

$$\text{QSK 60-C 3 } n = 0,0370470 \cdot \text{Дэкс} - 0,357844376965765; \quad (3)$$

$$\text{QSK 60-C 4 } n = 0,0574704 \cdot \text{Дэкс} - 1,99809037478969; \quad (4)$$

$$\text{QSK 60-C 5 } n = 0,0018263 \cdot S - 0,706474552182739; \quad (5)$$

$$\text{QSK 60-C 6 } n = 0,0180317 \cdot \text{Дэкс} + 1,73664168399437; \quad (6)$$

$$\text{QSK 60-C 7 } n = 0,0019309 \cdot S - 17,5263300730235; \quad (7)$$

$$\text{QSK 60-C 8 } n = 0,0171519 \cdot \text{Дэкс} + 0,883772184201374; \quad (8)$$

$$\text{QSK 60-C 9 } n = 0,0265797 \cdot \text{Дэкс} + 3,52269469399617, \quad (9)$$

где n – количество отказов;

Дэкс – время эксплуатации, *дн.*;

S – наработка двигателя, *мото-ч.*

Результаты регрессионного анализа статистики отказов двигателей QSK 60-C представлены на **рис. 3**.

По установленным математическим моделям появляется возможность определения ориентировочного времени появления отказа.

Обработка результатов - Microsoft Excel									
Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид									
C1									
1	Вывод ИТОГОВ								
2									
3	<i>Регрессионная статистика</i>								
4	Множественный R	0,973201513							
5	R-квадрат	0,947121185							
6	Нормированный R-квадрат	0,938985983							
7	Стандартная ошибка	2,789337288							
8	Наблюдения	31							
9									
10	<i>Дисперсионный анализ</i>								
11		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>начимость F</i>			
12	Регрессия	4	3623,25792	905,8144805	116,4225732	3,365E-16			
13	Остаток	26	202,290465	7,780402507					
14	Итого	30	3825,54839						
15									
16		<i>Коэффициент</i>	<i>стандартная оши</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
17	Y-пересечение	17,96186615	13,6721569	1,313755125	0,200403457	-10,14165	46,065387	-10,1416545	46,06538681
18	Переменная X 1	-0,00336387	0,00204279	-1,646701689	0,111655028	-0,007563	0,0008352	-0,00756289	0,000835151
19	Переменная X 2	0,112288354	0,04013408	2,797830527	0,009558035	0,0297916	0,1947851	0,029791572	0,194785135
20	Переменная X 3	1,624531409	0,59555254	2,727771793	0,011273641	0,4003557	2,8487072	0,400355651	2,848707167
21	Переменная X 4	-0,22221941	0,22473769	-0,988794566	0,331876979	-0,684174	0,2397355	-0,68417434	0,239735528

Рисунок 3 - Результаты регрессионного анализа статистики отказов двигателей QSK 60-С

Построенные зависимости количества отказов от времени эксплуатации двигателей QSK 60-С 1, QSK 60-С 2, QSK 60-С 3, QSK 60-С 4, QSK 60-С 6, QSK 60-С 8, QSK 60-С 9 приведены на **рис. 4**, а построенные зависимости количества отказов n от времени S наработки двигателей QSK 60-С 5, QSK 60-С 7 представлены на **рис. 5**.

Величины коэффициентов корреляции (**Таблица 2**), по всем представленным регрессионным моделям, находятся в пределах 0,9 ... 0,99, что по шкале Чеддока [4], качественно характеризует силу связи как весьма высокую.

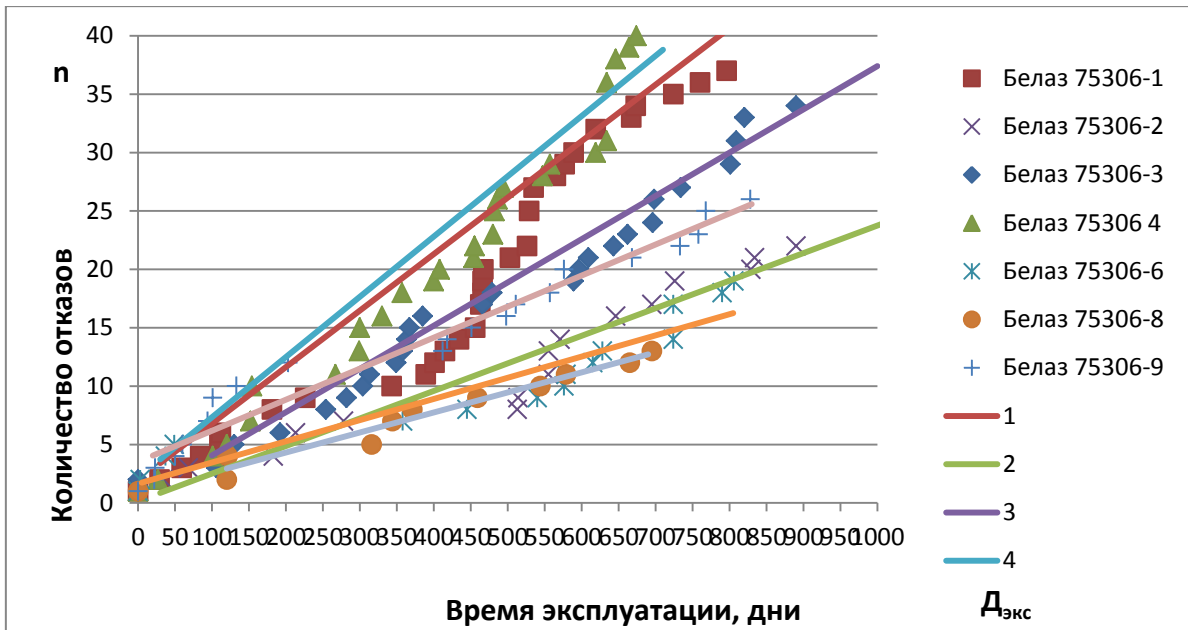


Рисунок 4 - Зависимости количества отказов двигателей QSK 60-C 1, QSK 60-C 2, QSK 60-C 3, QSK 60-C 4, QSK 60-C 6, QSK 60-C 8, QSK 60-C 9 от времени эксплуатации

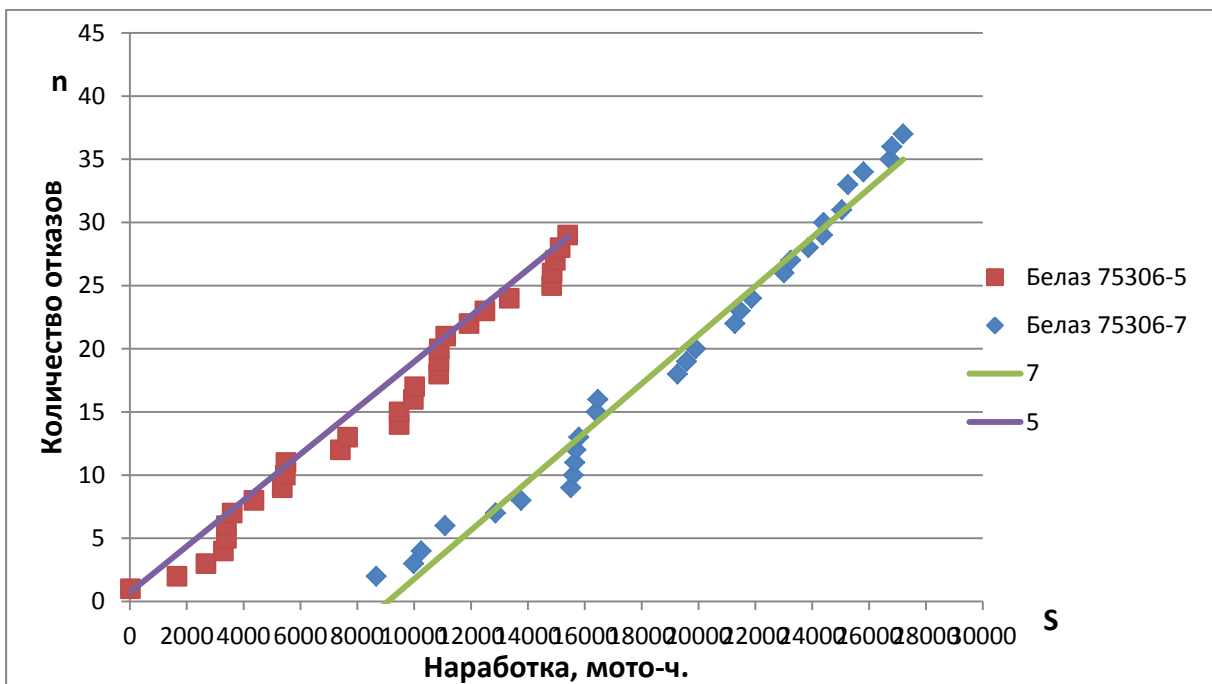


Рисунок 5 - Зависимость количества отказов от наработки двигателей QSK 60-C 5 и QSK 60-C 7

Таблица 2 – Шкала Чеддока: качественная оценка по показателям тесноты связи

Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи
0,1... 0,3	Слабая
0,3... 0,5	Умеренная
0,5... 0,7	Заметная
0,7... 0,9	Высокая
0,90... 0,99	Весьма высокая

Полученные математические модели и построенные зависимости количества отказов n от времени эксплуатации *Дэкс* двигателей QSK 60-C 1, QSK 60-C 2, QSK 60-C 3, QSK 60-C 4, QSK 60-C 6, QSK 60-C 8, QSK 60-C 9 позволяют сделать вывод о том, что для двигателей данной размерной группы отказы проявляются с увеличением времени эксплуатации, что связано с естественными процессами износа элементов и старения конструкционных и эксплуатационных материалов.

Для двигателей QSK 60-C 5, QSK 60-C 7 в результате регрессионного анализа получены математические модели определения количества отказов, графическое отображение которых позволяет подтвердить традиционную логику подобных наблюдений – с увеличением наработки машин, количество отказов естественно возрастает.

Список использованной литературы

1. Афанасьева, Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента [Текст]: учеб. пособие / Н.Ю. Афанасьева. – Москва: КНОРУС, 2013. – 330 с.
2. Ильшев, А.М. Общая теория статистики [Текст]: учеб. пособие / А.М. Ильшев, О.М. Шубат. – Москва: КНОРУС, 2013. – 432 с.
3. Федотов, А.И. Основы научных исследований на автомобильном транспорте [Текст]: учеб. пособие для магистрантов дневной и заочной формы обучения, направления подготовки 190600.68 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, степени - «магистр» / А.И. Федотов. – Иркутск: ИрГТУ, 2012. – 86 с.
4. Власов, М.П. Общая теория статистики [Текст]: Инструментарий менеджера международной фирмы: учеб. пособие / М.П. Власов, П.Д. Шимко. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГИЭУ, 2003. – 450 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫПРЯМИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

А.В. Пузаков

Аннотация. В статье рассмотрены неисправности выпрямителей автомобильных генераторов и методы их выявления. Обоснована оценка технического состояния выпрямителей на основе спектрального анализа выходного напряжения. Приведены результаты физического моделирования единичных и групповых неисправностей выпрямителя. Анализ амплитудно-частотной характеристики позволил выявить индикаторные гармонические составляющие, соответствующие характерным неисправностям выпрямителя. Использование полученных результатов позволит оперативно диагностировать техническое состояние выпрямителя автомобильного генератора.

Ключевые слова: автомобильный генератор, выпрямитель, спектральный анализ, физическое моделирование неисправностей.

Андрей Владимирович Пузаков - кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, 460018, пр-т Победы, д. 13, тел.: 8(3532) 77-67-70; E-mail: post@mail.osu.ru

Согласно проведенным ранее исследованиям [1, 2] неисправности выпрямителей автомобильных генераторов относятся к числу наиболее распространенных дефектов. На их долю приходится от 12% до 20% от общего числа неисправностей генераторов.

Для оценки технического состояния автомобильных генераторов можно использовать следующие методы диагностирования:

- по параметрам выходного напряжения, включая спектральный анализ [3, 4];
- по токоскоростной характеристике [5];
- на основе анализа теплового состояния [6, 7];
- с помощью анализа шума и вибраций [8];
- по параметрам внешнего магнитного поля [9].

Наименьшей трудоёмкостью и высокой информативностью обладает метод анализа параметров выходного напряжения.

К ним можно отнести среднее значение выходного напряжения, параметры осциллограмм (размах колебания напряжения, частота следования и импульсов), а также параметры амплитудно-частотной характеристики,

которая определяется количеством, амплитудой и частотой гармонических составляющих.

Аномальные режимы бывают единичными (обрыв или короткое замыкание одного диода) и групповыми (обрыв и короткое замыкание нескольких диодов, в том числе обрыв/короткое замыкание анодной или катодной группы, а также обрыв/короткое замыкание одной из фаз). Несмотря на то, что групповые неисправности встречаются относительно редко (рис. 1), представляет интерес исследование их влияния на параметры выходного напряжения генератора.



Рисунок 1 - Неисправности выпрямителей автомобильных генераторов

В работе [10] предложено диагностировать трехфазный мостовой выпрямитель, при возникновении аномальных режимов, путем анализа спектра выходного напряжения и фазного тока.

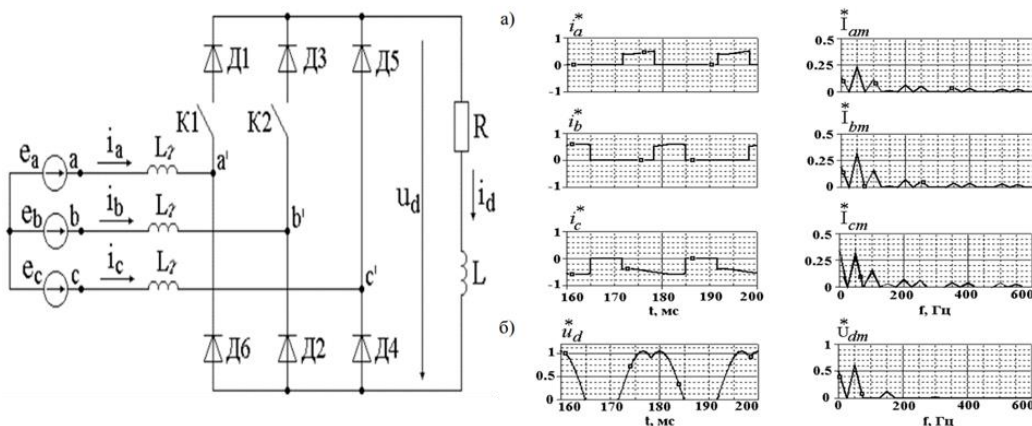


Рисунок 2 - Расчетная схема выпрямителя и кривые мгновенных значений токов и напряжения в аномальных режимах при отказе в работе плеч с диодами Д1 и Д3

Установлено, что точная идентификация вышедшего из строя диода возможна только при комплексном анализе спектра выходного напряжения и фазного тока (рис. 2).

Спектральным анализом выходного напряжения автомобильных генераторов занимались зарубежные исследователи. В статье [4] рассмотрено изменение спектра выходного напряжения исправного генератора при работе на холостом ходу и под нагрузкой. Однако, влияние неисправностей на спектр в данной статье не рассмотрено.

Изменение спектра выходного напряжения в аномальных режимах работы генератора рассмотрены в исследованиях С. Ченга (рис. 3) [11].

Автор установил, что неисправности выпрямителя хорошо описываются возникновением гармонической составляющей, с частотой 887,7 Гц.



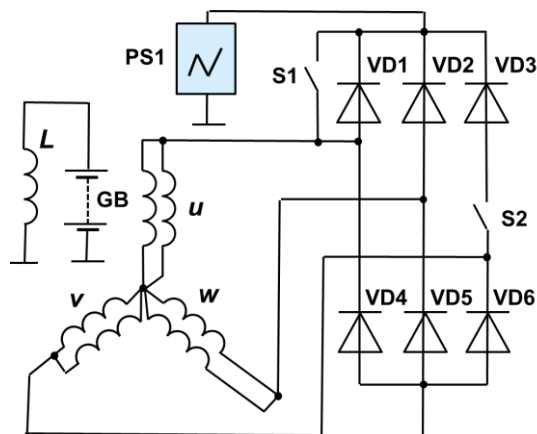
Рисунок 3 - Результаты спектрального анализа напряжения генератора

Ввиду актуальности данного вопроса нами был проведен эксперимент по исследованию влияния неисправностей выпрямителя автомобильного генератора на спектр выходного напряжения.

Неисправности выпрямителя автомобильного генератора 9402.3701 (рис. 4) моделировались путем размыкания цепи диода (тумблерами типа S2) и (или) включения параллельной перемычки (тумблеры типа S1). Подключенным к выводам генератора цифровым осциллографом фиксировались осциллограммы выходного напряжения и, с помощью встроенного быстрого преобразования Фурье, спектр в виде амплитудно-частотной характеристики выходного напряжения.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Согласно полученным результатам возникновение аномальных режимов выпрямителя приводит к существенному изменению осциллограммы и спектра выходного напряжения.



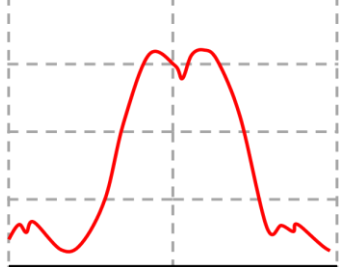
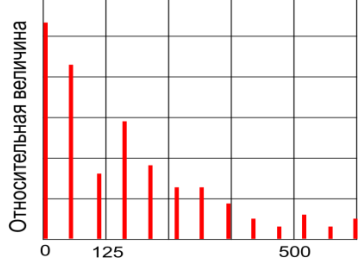
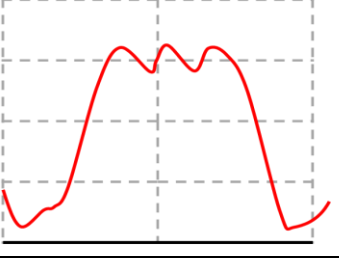
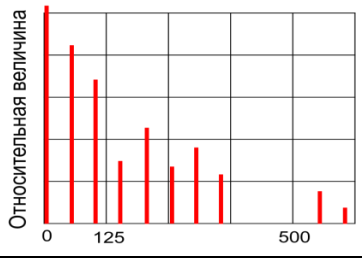
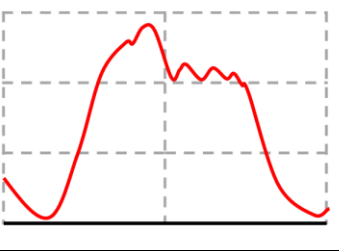
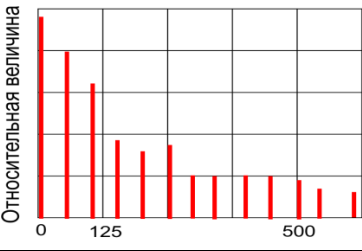
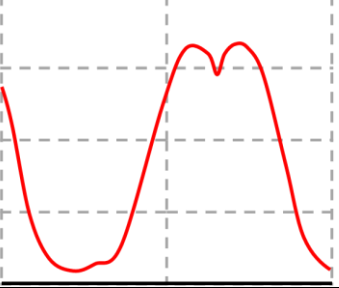
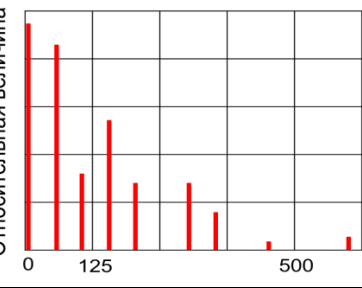
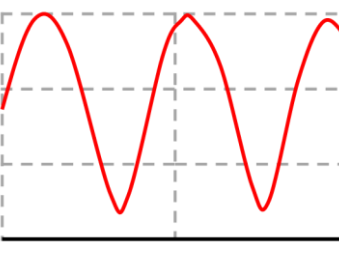
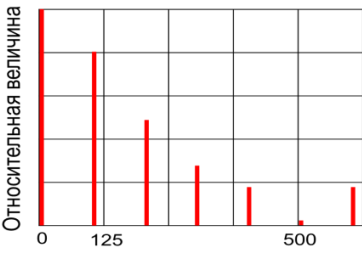
GB – Аккумуляторная батарея; L – обмотка ротора; PS1 – цифровой осциллограф; S1, S2 – выключатели моделирования неисправностей; VD1-VD6 – диоды выпрямителя; u, v, w– фазы обмотки статора.

Рисунок 4 - Схема трехфазного выпрямителя

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Наименование неисправности	Осциллограмма напряжения	Спектр напряжения
Исправный		
Короткое замыкание диода		
Короткое замыкание двух диодов		
Обрыв диода		

Окончание таблицы 1

Наименование неисправности	Осциллограмма напряжения	Спектр напряжения
Обрыв двух диодов		
Обрыв фазы		
Короткое замыкание одного диода, обрыв другого диода		
Обрыв трех диодов		
Обрыв линии		

Для практического использования спектрального анализа в качестве метода диагностирования выпрямителя автомобильных генераторов следует установить – какие гармонические составляющие будут являться индикатором той или иной неисправности выпрямителя.

Для этого вычислим величину гармонических составляющих относительно постоянной составляющей. Результаты вычисления представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Спектральный анализ выходного напряжения автомобильного генератора

Частота гармонических составляющих	Наименование неисправности								
	Исправный	Обрыв одного диода	Обрыв двух диодов	Обрыв линии	Обрыв фазы	Обрыв трех диодов	Замыкание двух диодов	Замыкание одного диода	Замыкание одного, обрыв второго
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	0	0,844	0,811	0	0,808	0,925	0,900	0,808	0,833
100	0	0,711	0,302	0,800	0,654	0,340	0,575	0,660	0,667
150	0	0,444	0,587	0	0,288	0,564	0,550	0,404	0,375
200	0	0,356	0,340	0,500	0,442	0,298	0,325	0,340	0,333
250	0,428	0,378	0,245	0	0,269	0	0,350	0,340	0,354
300	0	0,244	0,245	0,280	0,346	0,298	0	0,212	0,208
350	0	0,156	0,151	0	0,231	0,149	0,300	0,149	0,208
400	0	0,267	0,113	0,180	0	0	0	0,255	0,208
450	0,286	0	0,057	0	0	0,042	0,250	0	0,208
500	0	0,156	0,113	0,020	0	0	0	0,128	0
550	0	0	0,057	0	0,135	0	0,120	0	0,188
600	0	0,178	0,075	0,180	0,077	0,064	0	0,210	0,146

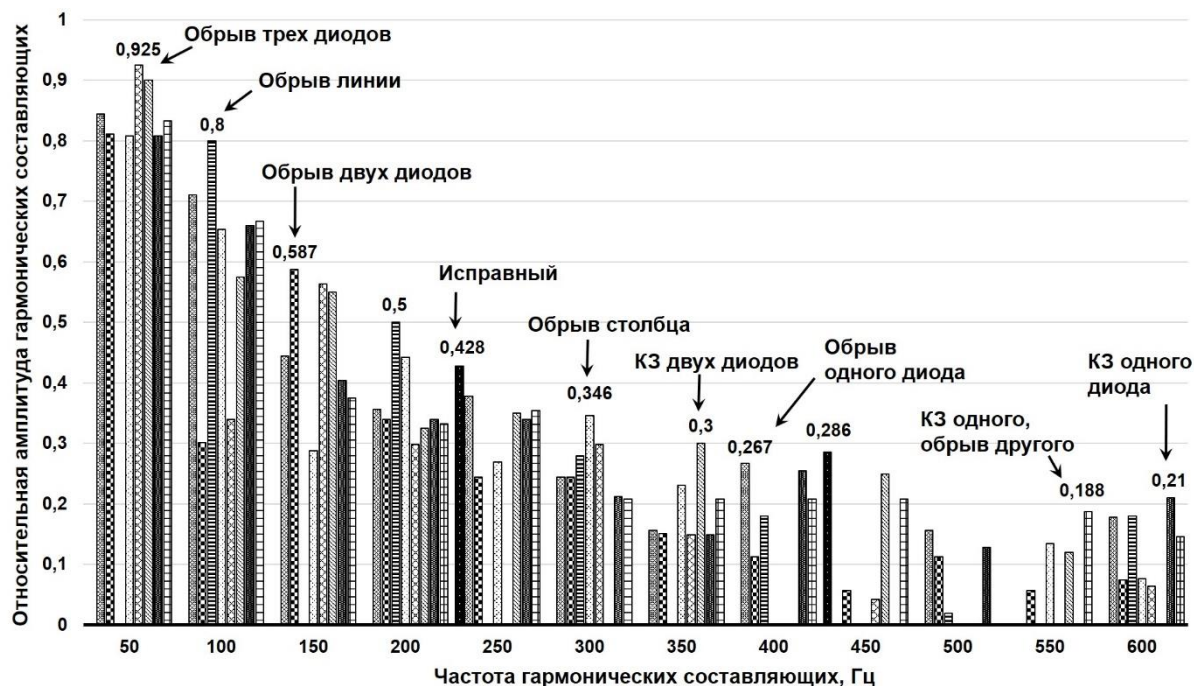


Рисунок 5 - Анализ индикаторных гармоник спектра выходного напряжения автомобильного генератора

В таблице 2 полужирным шрифтом выделены индикаторные гармоники, имеющие максимальную относительную величину, которые позволяют обнаружить ту или иную характерную неисправность выпрямителя автомобильного генератора. Одни состояния выпрямителя характеризуются двумя индикаторными гармониками (например, исправный генератор), остальные – только одной (рисунок 5).

Использование полученных результатов позволит оперативно диагностировать техническое состояние выпрямителя автомобильного генератора без снятия с двигателя.

Список использованной литературы

1. Mürken, M. Fault analysis of automotive claw pole alternator rectifier diodes / M. Mürken, D. Kübel, A. Kurz, A. Thanheiser, P. Gratzfeld // Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles. – Nottingham, 2018. – pp. 1-6.
2. Филатов, М. И. Обоснование параметров оценки технического состояния автомобильных генераторов на основе моделирования неисправностей / М. И. Филатов, А. В. Пузаков. – Грузовик. – 2016. – №1. – С. 25-29.
3. Пузаков, А. В. Методика диагностирования автомобильных генераторов по параметрам выходного напряжения: дис. ... канд. техн. наук 05.22.10 / А. В. Пузаков. – Оренбург, 2016. – 185 с.

4. Pillai, K.P.P. Spectral Study on The Voltage Waveform of Claw Pole Automotive Alternator / K.P.P. Pillai, M.K. Idiculla, A.S. Nair // European Council for Modeling and Simulation. – 2006. – pp. 456-461.
5. Соколов, Л.А. Совершенствование изделий автотракторного электрооборудования по результатам диагностирования дефектов в процессе производства и эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук /Л.А. Соколов. – М., 2010. – 108 с.
6. Пузаков, А. В. Исследование теплового состояния выпрямителя автомобильного генератора / А. В. Пузаков, Я. Ю. Осаулко. – Электроника и электрооборудование транспорта. – 2018. – №5. – С. 5-9.
7. Осаулко, Я. Ю. Температурное поле поверхности автомобильного генератора / Я. Ю. Осаулко, А. В. Пузаков. – Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №4(63). – С. 20-27.
8. Choi, J. Analysis of electrical signatures in synchronous generators characterized by bearing faults: Master's thesis / J. Choi. – Texas, 2006. – 84 p.
9. Пузаков, А. В. Совершенствование методики оценки внешнего магнитного поля автомобильного генератора / А.В. Пузаков. – Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – №9. – С. 87-91.
10. Кулик, В.Д. Аномальные режимы работы полупроводниковых выпрямителей и их диагностика: учебное пособие / В.Д. Кулик, В.И. Королев. – СПб.: СПбГТУРП, 2012 – 114 с.
11. Cheng, S. An analysis and discussion of the voltage and current spectrum of claw-pole alternators for fault detection purposes / S. Cheng, T. G. Habetler // 8th IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics & Drives. – Bologna, 2011. – pp. 606-611.

УДК 656.13

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ В АТМОСФЕРУ ЗА СЧЕТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В.А. Раков, А.А. Капустин

***Аннотация.** В статье сделан анализ снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду при эксплуатации электромобилей. Выполнено сравнение выбросов парниковых газов автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электромобилей с учетом воздействия инфраструктуры производства топлива и электроэнергии в России.*

Ключевые слова: электромобиль, выбросы загрязняющих веществ, парниковые газы, экологическая безопасность.

Вячеслав Александрович Раков - к.т.н., доцент, Вологодский государственный университет, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, инд. 160000, тел/факс: 8(8172) 72-46-45, E-mail: kanz@vogu35.ru.

Александр Александрович Капустин, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, инд. 190005, тел/факс: 8(812) 575-05-34, E-mail: rector@spbgasu.ru.

Основной текст

Электромобили, принято относить к транспортным средствам, имеющим «нулевые выбросы вредных веществ» и называть их «экологически чистыми автомобилями». При этом умалчивается то, что для зарядки аккумуляторов электромобиля, требуется электроэнергия, производимая электростанциями. То есть, оценка выбросов CO₂ электромобилями, должна учитывать выбросы CO₂ электростанциями.

В энергетический комплекс России входит около 600 электростанций различных типов, которые согласно статистическим данным ежегодно производят около 1055 млрд. кВт*ч электроэнергии [3]. В 2016 году тепловые электростанции выработали 674 млрд. кВт*ч электроэнергии, гидроэлектростанции – 178 млрд. кВт*ч, атомные электростанции – 196 млрд. кВт*ч. Выработка электроэнергии условно экологически чистыми солнечными и ветровыми электростанциями в России составила всего 0,7 млрд. кВт*ч, что менее 0,1% всей генерации энергии в России. Распределение долей производства различными типами электростанций представлено на **рис. 1**. При этом, за последние 15 лет этот показатель не изменился [3].



Рисунок 1 - Распределение долей производства электроэнергии различными типами электростанций

Основной причиной глобального потепления климата считается чрезмерно высокий выброс парниковых газов. По объёму производства электроэнергии [3] различными по типу электростанциями, можно оценить выбросы парникового газа. Для этого, можно определить общие объёмы выбросов вредных веществ разными электростанциями и пересчитать их в эквиваленте к CO₂ (табл. 1).

Таблица 1 – Выбросы парниковых газов от электростанции в России

Тип поставляющей электроэнергию электростанции	Выбросы CO ₂ , г/кВт*час	Производство электроэнергии млрд. кВт*час	Эквивалент в выброса CO ₂ , млн. тонн
Тепловые электростанции	1100	674	741,4
Гидроэлектростанции	50	178	8,9
Атомные электростанции	300	196	58,8
Ветровые и солнечные электростанции	30	0,7	0,021
	Всего	1048,7	809,121

Отечественный парк легковых автомобилей составляют около 42 млн. ед. ($N_{ЛА}$ - число легковых автомобилей). Согласно статистическим данным, приводимым порталом «Автостат», средний пробег легковых автомобилей (L_{CP} – средний пробег) в год, составляет 12 тыс. км. Величина выбросов CO₂ легковым автомобилем (D_{CO_2} – выбросы CO₂ легковым автомобилем) зависит от рабочего объема двигателя, массы автомобиля и условий эксплуатации. Например, в каталогах можно прочитать, что для легкового автомобиля с рабочим объемом двигателя 1,8 л выбросы CO₂ составляют 170 г/км, а автомобиль с рабочим объемом двигателя 2,5 л выбрасывает - 230 г/км.

В условиях реальной эксплуатации, приведённые значения выбросов CO₂ часто превышаются. Для первой оценки выбросов CO₂ легковыми автомобилями в России можно, с небольшой погрешностью, принять среднее значение выбросов CO₂ – 200 г/км. Используя эту величину, подсчитаем общую массу выбросов CO₂ легковыми автомобилями в год

$$M_{CO_2} = N_{ЛА} \times L_{CP} \times D_{CO_2} = 42000000 \times 12000 \times 200 = 100,8 \text{ млн.т.} \quad (1)$$

Т.е., весь российский парк легковых автомобилей производит 1/8 от выбросов парниковых газов электростанций, в CO₂ – эквиваленте. При этом совокупный антропогенный выброс парникового газа от всех видов

источников в России составляет около 1500 млн. тонн, в CO_2 - эквиваленте [4].

На графике, изображенном на **рис. 2**, приведён вклад разных секторов экономики в совокупных выбросах парниковых газов. Таким образом, доля выбросов парниковых газов от легковых автомобилей не превышает 10% от всех источников загрязнения.

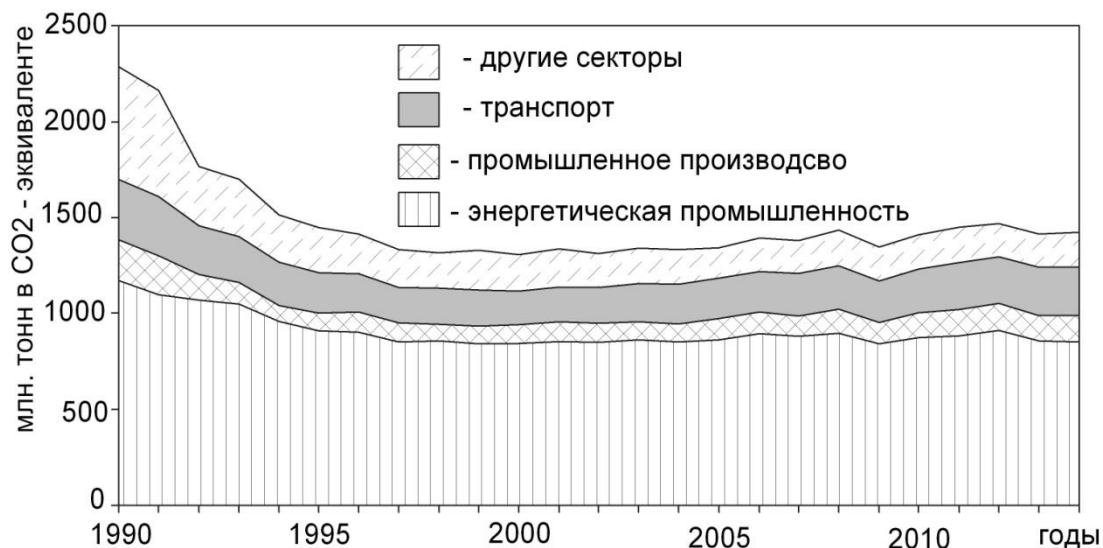


Рисунок 2 - Выбросы парниковых газов источниками в CO_2 – эквиваленте

Сравнение выбросов CO_2 сделано для автомобиля с бензиновым ДВС LADA Kalina 1.6 и электромобиля LADA ELada. Автомобили построены на одной платформе и имеют близкие технические характеристики (табл. 2).

Электромобиль не производит выбросов CO_2 в атмосферу при эксплуатации, но экологическое воздействие оказывают электростанции, вырабатывающие энергию для зарядки аккумуляторов.

Норма выбросов CO_2 электростанцией (M) и расход энергии ($Q_{\text{Э}}$) электромобилем позволяют оценить для электромобиля удельный выброс в граммах на километр ($M_{\text{Э}}$). Также нужно отметить, что есть косвенные выбросы, связанные с переработкой нефти, и передачей электроэнергии. Согласно «Национальному докладу о кадастре...» [4] выбросы парниковых газов при производстве топлива (переработке нефти) составляют 5,8 % от выбросов, которые образуются при сжигании топлива. Условно обозначим этот показатель как коэффициент загрязнения при производстве ($K_{\text{ЗП}}$).

Таблица 2 – Характеристики сравниваемых автомобилей

Характеристика	LADA Kalina 1,6	LADA EILada
Тип кузова	Универсал	Универсал
Снаряженная масса, кг	1110	1215
Максимальная скорость, км/ч	183	140
Мощность, л.с.	98	80
Средний расход топлива, л/100 км	7,2	нет
Расход электроэнергии, кВт*ч /100км	нет	15,3
Пробег без дозаправки, км	700	150
Выбросы CO₂ в отработавших газах, г/км	177	-

*электроэнергия в кВт ч/100 км

Также известно, что при передаче электроэнергии от электростанций до конечного потребителя теряется до 15% электроэнергии. Обозначим данные потери как коэффициент потерь при передаче электроэнергии ($K_{пт}$). Совокупный выброс CO₂ сравниваемыми автомобилями будет равен:

автомобиль с ДВС

$$M_{CO_2} = M_3 \times K_{пт} = 177 \times 1,058 = 187 \text{ г/км}; \quad (2)$$

электромобиль

$$M_{CO_2} = \frac{M \times Q_{э}}{100} \times K_{пт} = \frac{900 \times 15,3}{100} \times 1,15 = 158 \text{ г/км}. \quad (3)$$

Ниже приведены результаты расчетов выбросов в CO₂ - эквиваленте (Табл. 3) при производстве электроэнергии на разных электростанциях для зарядки электромобиля.

Заключение и результаты

Учитывая, тот факт, что основная доля электроэнергии в России производится с помощью различных типов теплоэлектростанций выбросы CO₂ при эксплуатации электромобиля LADA EILada составят не менее 158 г/км, что сопоставимо с выбросами автомобиля с бензиновым двигателем LADA Kalina 1.6 - 187 г/км. Соотношение выбросов указано на **рис. 3**. Ветровые и солнечные электростанции практически не выбрасывают парниковый газ, но из-за высокой удельной стоимости электроэнергия, выра-

батываемая ими, оказывается значительно дороже, что ограничивает их широкое внедрение в России.

Таблица 3 – Выбросы парниковых газов электромобилем, с учётом производства электроэнергии на разных электростанциях

Тип поставляющей электроэнергию электростанции	Выбросы CO ₂ , г/кВт·час	Выбросы в CO ₂ – эквиваленте*, г/км
Гидроэлектростанция	50	8,7
Атомная электростанция	300	53
Газовая теплоэлектростанция	900	158
Теплоэлектростанция на базе нефтепродуктов	1300	229
Угольная теплоэлектростанция	1600	282

Необходимо обратить внимание на известный зарубежный опыт эксплуатации электромобилей. Известен случай с электромобилем в Сингапуре, где электроэнергия производится угольными ТЭС. Владелец электромобиля «Tesla», вместо получения субсидии на покупку экологически чистого автомобиля, был оштрафован. Местная полиция подсчитала, что суммарный выброс CO₂ составил для электромобиля 400 г/км, против допустимых 200 г/км.

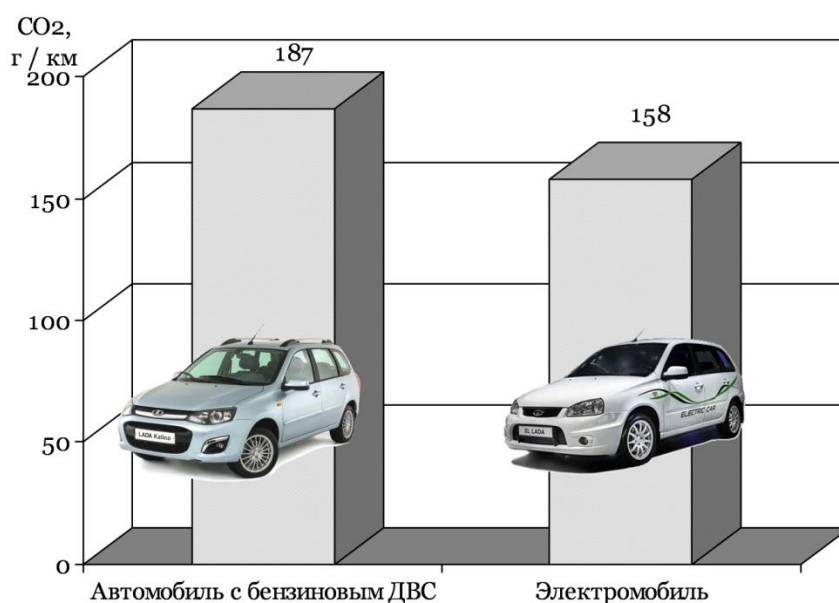


Рисунок 3 - Сравнение выбросов бензинового автомобиля и электромобиля (по заводским данным)

Выбросы при производстве и рециклинге электромобилей тоже отличаются от автомобилей с ДВС. Масса Li-Ion и Ni-MH аккумуляторных батарей, с запасом электрической энергии для электромобиля, может достигать 1 тонны, что сопоставимо с массой небольшого городского автомобиля. Согласно ранее проведённым исследованиям доля выбросов парниковых газов при производстве электромобилей может значительно превысить выбросы от производства одного автомобиля с ДВС [5-6].

Выводы

Развитие массового использования электромобилей в России, при существующей конструкции и технологии производства комплектующих в автомобилестроении, не сможет способствовать снижению выбросов парниковых газов от автомобилей. Сложившаяся инфраструктура генерации электроэнергии при большей части электростанций работающих на ископаемых – угле, нефти и газе, не создадут положительного экологического эффекта при эксплуатации электромобилей. Задачу не решить на современном этапе, даже при переноса источников электроэнергии в удаленные географические зоны с большими возможностями увеличения антропогенной нагрузки на природу.

В перспективе рассмотрение экологического эффекта от перехода на широкое использование электромобилей, целесообразно проводить отдельно для каждого российского региона, учитывая его географические, климатические и инфраструктурные особенности, но самое главное - наличие ресурсов дешёвой электроэнергии, вырабатываемой по экологически чистым электростанциями.

Список использованной литературы

1. Капустин, А.А. Гибридные автомобили / А.А. Капустин, В.А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 116 с.
2. Александров, И.К. Анализ перспектив развития электрифицированного автомобильного транспорта / И.К. Александров, В.А.Раков // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – №2. – С. 50-52.
3. Основные характеристики российской электроэнергетики [Электронные ресурсы]. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/532>. Дата: 22.12.17
4. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2014гг. / А.И. Нахутин, М.Л. Гитарский, А.А. Романовская и др. - Москва: Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2016. – 451 С.

5. Kapustin, A. Methodology to evaluate the impact of hybrid cars engine type on their economic efficiency and environmental safety. / A. Kapustin, V. Rakov // Transportation Research Procedia Ser. "12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities" SPbOTSIC 2016". – 2017. – С. 247-253.

6. Капустин, А.А., Оценка выбросов при производстве транспортных средств // А.А. Капустин, В.А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин приборов и оборудования: материалы XII международной научно–технической конференции; – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 96-99.

УДК 629.3.01

ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЕЙ

В.А. Раков, А.А. Капустин

***Аннотация.** В статье приводится анализ дальнейших возможных перспектив развития конструкции двигателей автомобиля за счет использования электромеханических энергетических установок. В частности приводится сравнение последовательных, параллельных и смешанных типовых схем для условий эксплуатации в городе, за городом и загородном режиме. Приводится анализ возможных причин недостаточного развития технологий изготовления электромеханических энергетических установок, в частности, представлен анализ существующих разработок с указанием их преимуществ и недостатков.*

Ключевые слова: *комбинированная энергетическая установка, двигатель, автомобиль, развитие, конструкция, транспорт.*

Вячеслав Александрович Раков - к.т.н., доцент, Вологодский государственный университет, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, инд. 160000, тел/факс: 8(8172) 72-46-45, E-mail: kanz@vogu35.ru.

Александр Александрович Капустин - д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, инд. 190005, тел/факс: 8(812) 575-05-34, E-mail: rector@spbgasu.ru.

Основной текст

Традиционные энергетические установки в автомобилях в составе двигателя внутреннего сгорания передающего механическую энергию на колеса автомобиля через коробку переменных передач существуют уже

более 130 лет. При этом создание энергетической установки с несколькими источниками энергии оказалось технически возможным уже в самом начале 20 века.

Известно несколько десятков разных типов схем комбинированных энергетических установок (КЭУ), однако все их подразделяют на 3 основных типа[1].

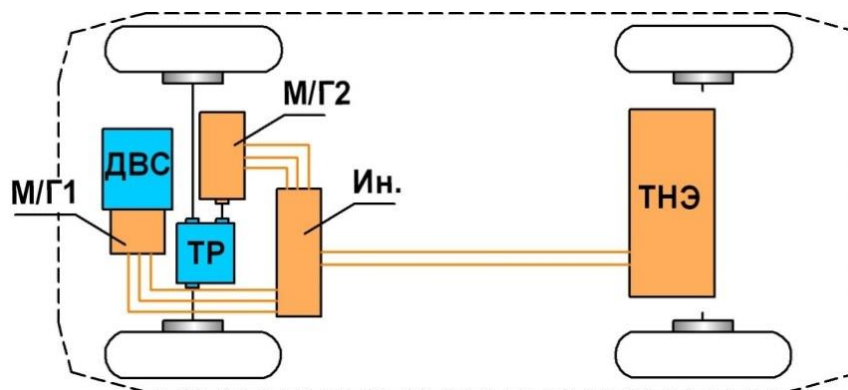


Рисунок 1 - Последовательная схема КЭУ

С точки зрения сложности реализации самой простой является последовательная схема КЭУ впервые использованная на автомобиле Sempag Vivus в начале 20 века. Двигатель внутреннего сгорания в этой схеме соединен только с электрической машиной (М/Г1) вырабатывающей электроэнергию для питания тягового электродвигателя (М/Г2), соединенного с ведущей осью, и для заряда тягового накопителя электрической энергии (ТНЭ). Последовательная схема КЭУ изображена на **рис. 1**.

При движении в условиях частых разгонов и торможений, как показано на **рис. 2**, последовательная схема может иметь следующие преимущества: работа ДВС в постоянном нагрузочном режиме обеспечивает постоянный высокий его КПД; кратковременные пиковые нагрузки при движении компенсируются запасенной электрической энергией в ТНЭ. При любом торможении М/Г2 обеспечивает частичный возврат накопленной кинетической энергии обратно в ТНЭ (рекуперация); при остановках, или в других случаях, когда для движения не требуется значительная мощность ДВС может быть выключен[2].

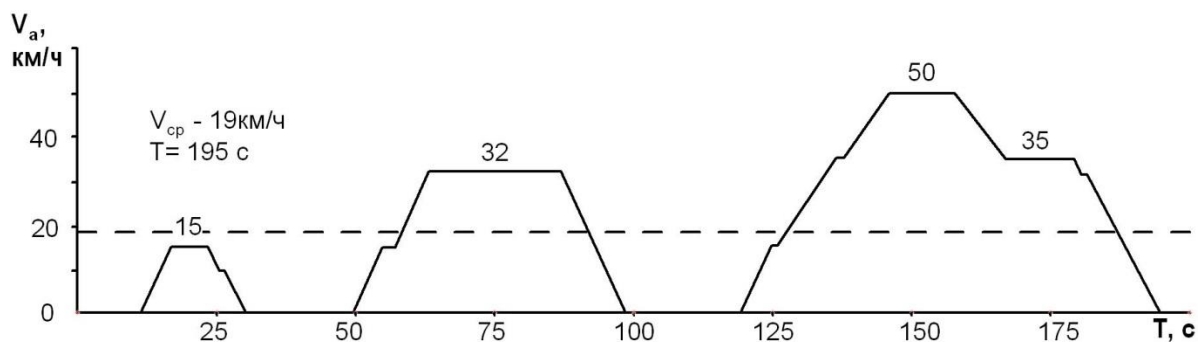


Рисунок 2 - Городской цикл движения

Однако, при движении в условиях постоянного движения по загородному или пригородному циклу, изображенных на схемах **рис. 3-4**, эффективность последовательной схемы КЭУ становится значительно хуже традиционной энергоустановки, имеющей ДВС и трансмиссию, что связано с дополнительным двойным преобразованием энергии при передаче ее от ДВС на ведущие колеса. Данный недостаток значительно ограничивает применение такой схемы на практике, т.к. помимо усложнения конструкции и повышения ее стоимости в некоторых случаях может значительно вырасти расход топлива автомобилем.

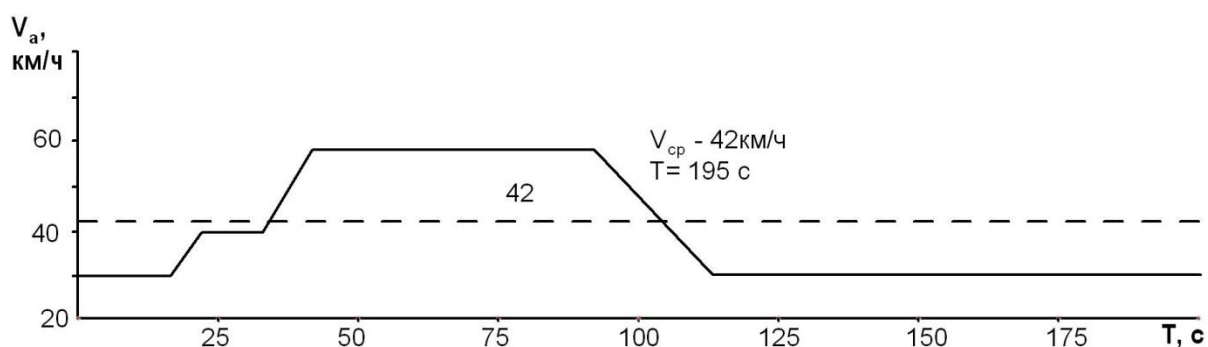


Рисунок 3 - Пример пригородного цикла движения

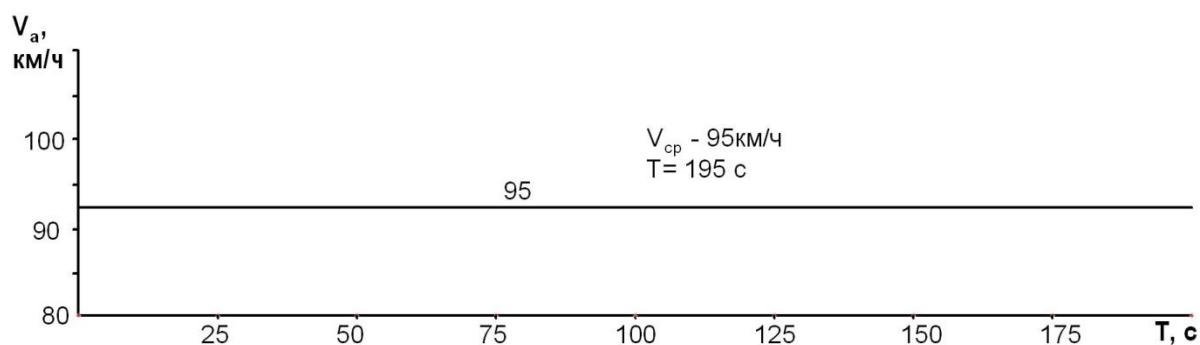


Рисунок 4 - Пример загородного цикла движения

Последовательная схема КЭУ может быть эффективна только для городских автомобилей, работающих циклично, таких как маршрутные автобусы, городская коммунальная техника, почтовые и курьерские службы. Серийное производство автомобилей с подобной схемой КЭУ весьма ограничено. Мелкими партиями по 200-300 шт. в год их выпускала американская компания Azure Dynamics для государственных коммунальных и почтовых служб [3]. В России подобная концепция была заложена в КЭУ Ё-Мобилья, который не был доведен до серийного производства.

Параллельная схема КЭУ, изображенная на **рис. 5**, получила гораздо большее распространение в автомобилях, она известна более 80 лет, однако активно стала применяться только в последние 15 лет. В данной схеме целиком присутствует вся традиционная энергетическая установка, в которой энергия от ДВС передается механическим путем через ступенчатую или бесступенчатую трансмиссию на ведущие колеса. Однако между ДВС и трансмиссией устанавливается обратимая электрическая машина (МГ), которая передает часть энергии ДВС путем преобразования ее в электрическую энергию в накопитель ТНЭ, работая как генератор. При режимах разгона МГ помогает ДВС, работая как электродвигатель, используя ранее накопленную в ТНЭ электроэнергию [4].

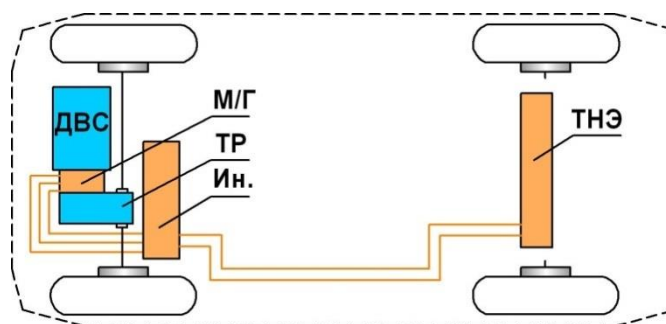


Рисунок 5 - Смешанная схема

Подобная схема адаптирована для традиционного автомобиля, хорошо работает в условиях частых разгонов и торможений, а также сохраняет преимущества традиционной энергоустановки передающей энергию от ДВС на колеса механическим путем. Однако в условиях частых остановок уступает последовательной, т.к., не позволяет автомобилю двигаться с выключенным ДВС при малой нагрузке. Параллельная схема активно начала внедряться автомобильной компанией Хонда в 1999 году, а позже и другие автомобильные компании: Фольксваген, БМВ, Мерседес, Вольво, Пежо, Ситроен, Порше, нашла применение в военной технике. В России подобная схема предложена в виде концептуальных идей фактически всеми существующими автопроизводителями: Лада (ВАЗ-21904); ГАЗ (ГАЗ

330232); УАЗ (УАЗ Профи Гибрид); КамАЗ (Автобус КАМАЗ — 5297Н; Тягач КАМАЗ-5490); ЛиАЗ (ЛИАЗ 5292) и др. [5].

На сегодня единственным существующим серийным автомобилем с КЭУ в России является седан Aurus, производства которого начато в 2018 году. В 2019 году планируется произвести всего около 200 автомобилей.

Существует также большое количество перспективных разработок автомобилей, автобусов, сельскохозяйственных и лесных машин, военной техники, имеющих КЭУ [6].

В 1995 году компания Toyota предложила модель автомобиля с революционной энергоустановкой, получившая название Prius, которая была представлена на выставке, а в 1998 году было начато ее серийное производство. Применяемая смешанная схема КЭУ оказалась настолько удачной, что до сих пор успешно применяется во многих моделях автомобилей. Смелое решение компании также подтолкнуло других автопроизводителей задуматься о разработке автомобилей с КЭУ.

Никаких серьезной необходимости для создания автомобилей с КЭУ до сих пор в мире нет. Вероятно, естественный уровень технического развития и более строгие административные требования должны были бы привести к широкому внедрению автомобилей с КЭУ во всем мире в 20-е годы, 21-го века, однако смешанная схема Hybrid Synergy Drive, примененная в автомобиле Prius в 1998 году, опередила свое время. Не случайно, название модели Prius дословно переводится как «идущий вперед» [7].

Смешанная схема, изображенная на **рис. 6**, сочетает в себе преимущества последовательной и параллельной схем КСУ. В данной схеме ДВС, М/Г1 и ведущая ось, соединены вместе с помощью планетарной передачи, играющей роль устройства смешения мощности (УСМ).

Для ответов на вопрос почему электромеханические энергоустановки не получили большого распространения в России нужно представить: а что если бы проект автомобиля с КЭУ будет снова предложен сегодня? Скорее всего, как и в предыдущее время менеджеры по развитию автомобильных компаний посчитают его слишком рискованным, дорогим и никому не нужным. Однако, если среди корейских или французских бюджетных автомобилей завтра появится более высокотехнологичная и удобная в использовании энергетическая установка, то всем остальным придется быстро менять свои подходы. Вероятно, по этой причине все автопроизводители имеют в запасе концептуальные наработки в области создания КЭУ. Также нужно учитывать, что экологические нормы рано или поздно будут требовать снижения выбросов CO₂, если не в России, то в перспективных рынках.

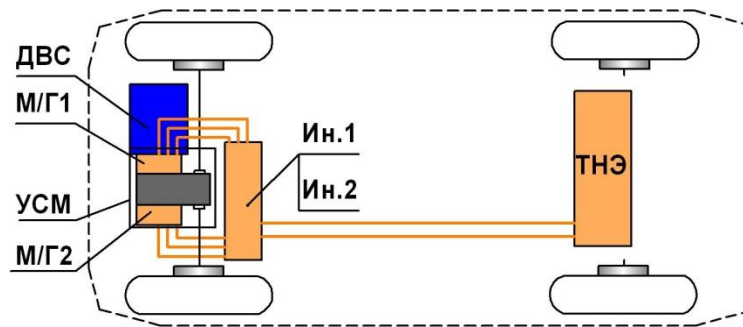


Рисунок 6 - Смешанная схема

Если предполагать, что технологический прогресс все равно приведет к необходимости кардинального совершенствования энергетической установки автомобиля за счет использования КЭУ, то, вероятно, производители могут пойти по пути минимальных технологических и экономических рисков, используя параллельную схему привода. Такая схема может быть реализована как со ступенчатой ручной, так и бесступенчатой автоматической трансмиссией. Для этого между ДВС и трансмиссией в месте расположения маховика необходимо установить компактный электродвигатель-генератор, а в задней части кузова накопителя электрической энергии на основе Li-Ion или Ni-MH накопителем. Такая схема позволит: экономить до 25% топлива при городском режиме движения, отказаться от традиционного электрогенератора, стартера с бендиксом, и не потребует серьезных изменений трансмиссии и кузова автомобиля. При этом для легкового автомобиля с передним приводом расход топлива в городском режиме движения может быть снижен на 20-25%, во столько же раз снижены выбросы CO₂, масса автомобиля увеличится примерно на 60-80 кг, стоимость автомобиля возрастет примерно на 15-20% [8]. НИОКР по разработке данной схемы был реализован в 2014 году Волжским автомобильным заводом на модели ВАЗ-21904.

Технология изготовления различных узлов КЭУ в настоящее время уже хорошо отработана в ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" на различных опытных образцах и прототипах [9]. Так, например, электрическая машина для КЭУ автомобиля Augus производится на предприятии СЭГЭ в Удмуртии, инверторы и преобразователи электрической энергии для электротранспорта различной мощности уже давно производятся в России на различных предприятиях.

При внедрении КЭУ отсутствие кардинальных изменений в конструкции автомобиля и отсутствие необходимости разработки сложных узлов позволит не тратить много средств на НИОКР, а так же постепенно совершенствовать технологию в будущем.

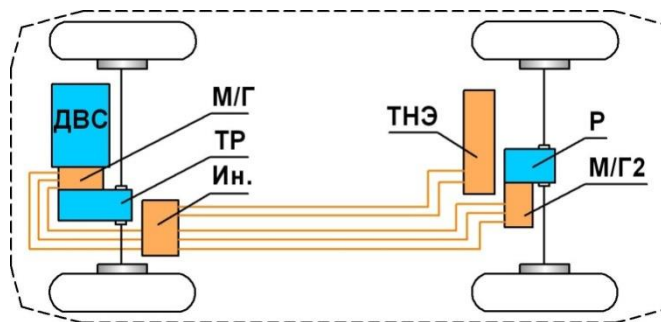


Рисунок 7 - Перспективная смешанная схема КЭУ для автомобилей с полным приводом

Выводы

В качестве дальнейшего развития технологий КЭУ возможно создание полноприводных вариантов трансмиссий за счет установки отдельного компактного редуктора (Р) с электродвигателем (М/Г2) на задней оси, что позволит отказаться от угловых редукторов, карданной передачи, которые используются в настоящее время. Отсутствие карданной передачи позволит быстро внедрять полный привод в производственные платформы с передним приводом.

При такой схеме автомобиль сможет двигаться в режиме электромобиля с выключенным ДВС, т.е. будет обеспечена полноценная смешанная схема КЭУ без существенных технологических изменений.

Похожая схема КЭУ применена на автомобиле модели Peugeot 3008 HYbrid4, ее схема изображена на **рис. 7**.

Помимо полного привода и возможности начинать движение только на электричестве данная схема позволит создавать множество вариантов энергетических установок с различными задачами, включая автомобили с КЭУ, имеющие возможность длительного движения на электроэнергии и заряжаемые от общей электрической сети. Масса легкового автомобиля с такой схемой КЭУ может увеличиться на 120-180 кг, расход топлива может снизиться на 30-50%, во столько же уменьшатся выбросы CO₂. Стоимость автомобиля возрастет на 30-40% по сравнению с традиционной схемой.

Список использованной литературы

1. Капустин, А.А. Гибридные автомобили / А.А. Капустин, В.А. Раков. - Учебное пособие: Вологда, 2016.
2. Pistoia, G. Electricandhybridvehicles, Amsterdam, Elsevier, 2010, 645 p.

3. Американская компания, производящая гибридные грузовые автомобили [Электронный ресурс] // Azure Dynamics: официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.azuredynamics.com>.

4. Kapustin, A.A., Rakov V.A. Methodology to evaluate the impact of hybrid cars engine type on their economic efficiency and environmental safety. Transportation Research Procedia Сер. "12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities" SPbOTSIC 2016", 247-253 pp.

5. Ютт, В.Е. Перспективы развития автомобилей с комбинированными энергетическими установками / В.Е. Ютт, Е.И. Сурин, К.М. Сидоров // Электроника и электрооборудование транспорта. 2009. № 2-3. С. 2-5.

6. Kulikov, I.A. Modeling and simulation of parallel type hybrid electric vehicle / I.A. Kulikov, V.V. Selifonov // ТрудыНАМИ. 2009. № 242. С. 67-84.

7. Лайкер, Д.К. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Д.К. Лайкер; пер. с англ. – Москва, 2005. – 402 с.

8. Капустин, А.А. Альтернативная эффективность гибридных автомобилей / А.А. Капустин, В.А. Раков // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2017. Т. 16. № 2. С. 68-72.

9. Бахмутов, С.В. Работы МГТУ "МАМИ" в области автомобилей с гибридными силовыми установками / С.В. Бахмутов, В.В. Селифонов, А.И. Филонов и др. // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 2 (20). С. 17-21.

УДК 629.113

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПОДВЕСОК В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

П.Г. Руденко, В.Н. Катаргин, В.М. Терских

***Аннотация.** Известно, что все пневматические системы автомобилей, тормозная система или пневматическая подвеска, подвержены огромному влиянию от образования сконденсированной влаги в системе и низких температур. Это проявляется большим количеством отказов пневмосистемы, как частично, так и полностью. Следовательно, некоторые виды отказов классифицируются как опасными (получение травм и гибель людей). Для снижения вероятности отказов, а также повышения надежности пневмосистемы, необходимо ввести ряд профилактических работ. Детальное изучение характера проявления отказов, а также закономерность их проявления, позволит обосновать периодичность проведения профилактических работ.*

Ключевые слова: адсорбирующий фильтр, блок клапанов, пневматический компрессор, зимняя эксплуатация, выпадение влаги, пневматическая стойка, рко, вода, влага, конденсат, воздух, водяной пар, влажность, насыщение.

Владимир Николаевич Катаргин - кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспорт», 660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20, тел. 8-963-959-52-25, E-mail: katargin@gmail.com.

Павел Геннадьевич Руденко - аспирант СФУ, 660074, г. Красноярск, ул. ул. Борисова, 20, тел.: 8-923-320-33-83, E-mail: rudenkoravelgen@mail.ru.

Виктор Михайлович Терских - кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт», 660074, г. Красноярск, ул. ул. Борисова, 20, тел.: 8-913-041-46-83, E-mail: terskich_vm@mail.ru.

Современные автомобили становятся более технологичными. Это не удивительно, ведь производители автомобилей не хотят терять свою долю в рынке, наоборот, стараются нарастить её. Почти у каждого крупного производителя, в модельном ряде есть автомобили, оборудованные пневматической подвеской. Производитель автомобилей в целях сегментации рынка по группам потребителей комплектует пневматической подвеской автомобили только премиум класса. Это обусловлено тем, что стоимость компонентов пневматической подвески велика и установка в автомобили более низкого класса нецелесообразна. В целях снижения себестоимости автомобилей производители ищут более дешевые комплектующие для пневматической подвески. Данные факторы ведут к снижению уровня технологичности и отражаются на функциональных особенностях элементов этой подвески [1].



Рисунок 1 - Образование влаги на компонентах пневмосистемы

Пневматическая подвеска, как и другие разновидности, имеет ряд достоинств и недостатков [2]. В ряде источников уже рассматривались проблемы, связанные с отказом элементов пневматической подвески автомобилей [3]. Автомобили, оборудованные пневматической подвеской (как и любая другая пневматическая система), в значительной мере подвержена влиянию влаги в системе. Поэтому при определенных (суровых) климатических эксплуатационных условиях, происходит быстрое скопление влаги в пневмосистеме. Установлено, что количество текущих ремонтов пневмоподвески, в самых суровых условиях эксплуатации (в зимний период времени) может достигать 30% от общего числа текущих ремонтов автомобиля [4].

Повышенная влажность в системе ведет к обводненности элементов системы пневмоподвески рис.1.

По результатам предварительных исследований установлено, что большинство отказов исследуемого образца пневматической подвески, вызвано неверным расчетом конструкции компонентов пневмосистемы. Также, используемый алгоритм работы пневмоподвески позволяет беспрепятственно попадать атмосферному воздуху, минуя адсорбирующий фильтр. В настоящее время нет четкого регламента по устранению данного вида отказа, а также по обслуживанию системы пневмоподвески. Поэтому, для снижения вероятности отказа, а также увеличения надежности пневмосистемы, необходимо ввести ряд контрольных и профилактических работ. С целью обоснования дополнительных работ, необходимо детально изучить характер проявления, а также закономерность отказа. Для выявления закономерностей в проявлении этих недостатков и других слабых мест (связанных с повышенной влажностью) было решено спроектировать и изготовить стенд, для моделирования работы пневматической подвески легкового автомобиля.



Рисунок 2 – Прототип стенда

К настоящему времени, создан прототип и ведется модернизация стенда, для испытаний пневмоподвески рис. 2. Данный прототип стенда, полностью построен из компонентов реальной пневматической подвески премиум автомобиля [5], которая в свою очередь позволяет моделировать работу пневматической подвески и наблюдать за происходящими процессами в работе пневматической подвески в разных природно-климатических условиях. В целях унификации получения данных, а также возможности изменения алгоритма работы пневмоподвески и возможности дополнительного (более тонкого) анализа компонентов пневматической подвески, решено было модернизировать данный стенд, путем внедрения микрокомпьютера на базе ардуино. Такая модернизация позволит на данном стенде тестировать любые системы и компоненты (разных производителей) пневматической подвески. Выявлять их недостатки (в случае обнаружения) и исходя из полученных результатов, пытаться устранить эти недостатки.

Список использованных источников

1. Руденко П.Г. Обзор основных отказов элементов пневматической подвески автомобилей премиум класса [Электронный ресурс] /Катаргин В.Н., Хмельницкий С.В., Руденко П.Г.// «Перспектив Свободный 2015» - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. – 55с.;
2. Руденко П.Г. Особенности технической эксплуатации пневматической подвески на автомобилях премиум сегмента [Электронный ресурс] /Катаргин В.Н., Жавнер О.В., Руденко П.Г.// «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке» - Новосибирск: Сибирский государственный институт путей сообщения, 2016.;
3. «Автопилот» - журнал для автомобилистов. О проблемах пневмоподвески в экстремальных условиях [электронный ресурс] // Режим доступа: <http://pnevma.ru>
4. Ананьин А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб.заведений / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов. – М: Академия, 2008. – 432 с.
5. Руденко П.Г. Стенд для проверки пневматической подвески легковых автомобилей и ее компонентов [Электронный ресурс] / В.Н. Катаргин, П.Г. Руденко, О.В. Жавнер. — Электрон. текстовые дан. — Перспектив Свободный 2017» - посвященная году экологии в РФ, 2017. — Режим доступа: , свободный. — Электрон. версия печ. публикации.

СОЗДАНИЕ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПЛОХИХ ДОРОГ И БЕЗДОРОЖЬЯ

В.В. Цветков, В.Л. Рупосов

Аннотация: В статье приводятся результаты исследования востребованности автомобилей для перевозки грузов по плохим дорогам. Проанализированы основные подходы, существующие для движения по поверхностям с нетвердым покрытием. Выявлены основные проблемы связанные, как с дорогами, так и с существующими автотранспортными средствами, для передвижения по территории РФ не обеспеченных дорогами с твердым покрытием. Определены основные направления создания универсальных транспортных средств для плохих дорог.

Ключевые слова: полноприводные автомобили, шнекоходы, дороги с нетвердым покрытием, экономика территорий.

Владимир Владимирович Цветков - генеральный директор ООО «РАЗ-ЦВЕТ», тел.: +79246364208, 89501313836, E-mail: ooo.razcvet-babra@mail.ru

Виталий Леонидович Рупосов - к.г.-м.н., доцент кафедры менеджмента ИРНИТУ, тел.: 89025686276, E-mail: ruposov@istu.edu.

Развитие территории является важной задачей для многих регионов Российской Федерации. Одним из ключевых элементов повышения комфортности проживания граждан является наличие дорог с твердым покрытием. Для развитых стран данная проблема не является актуальной, так как для территории Великобритании и Франции характерно обеспечение полностью дорогами с твердым покрытием. В Японии только 89% дороги с твердым покрытием, при этом в этой стране самая высокая плотность дорог в Японии, где на 1000 квадратных километров территории приходится 3250 километров дорог, во Франции эта статистика составляет 1932 километра, а в Великобритании 1733 километра^[1]. Для Российской Федерации данный показатель очень низкий только 87 километров на 1000 квадратных, из которых дорог с твердым покрытием 70,6%.

Статистика по Российской Федерации показывает, что протяженность автомобильных дорог составляет 1,66 миллиона километров, при этом с твердым покрытием всего 1,16 миллиона, при этом на грунтовые трассы федерального, регионального или межмуниципального значения приходится 7,3% от общей протяженности. По статистике на 2016 год доля сельских населенных пунктов страны, которые не имеют дорог с твердым покрытием для связи с федеральной или местной сетью дорог составляет

28,2%. Это очень большое значение, что обуславливает актуальность темы исследования. Создание транспорта позволяющего использовать плохие дороги и сельскохозяйственные дороги для доставки персонала и груза, имеет большое значение для развития территорий. Поэтому создание таких транспортных средств является весьма важной задачей. Целью исследования является поиск технических решений для передвижения по труднопроходимым дорогам с не высокой стоимостью конструкции.

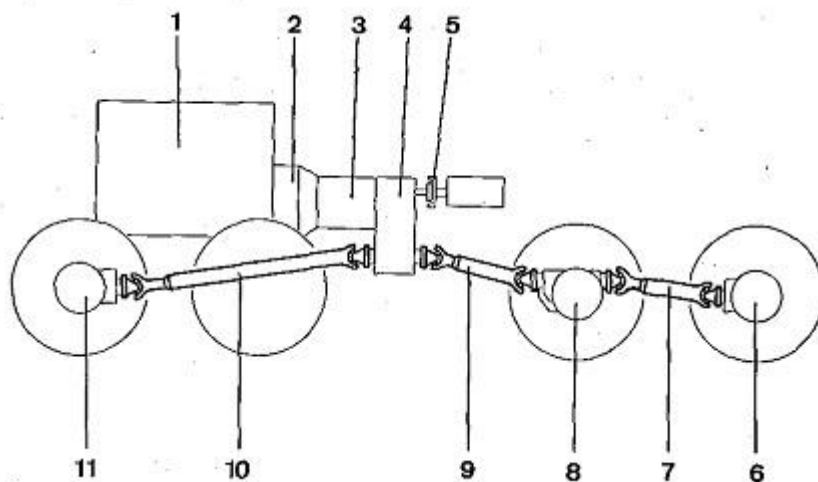
Исследование этого вопроса связано с экономическими вопросами, так, например, отсутствие подъездов с твердым покрытием к малым сельским населенным пунктам обуславливает дополнительные затраты на перевозки по грунтовым дорогам, которые в 3-4 раза выше, чем по дорогам с более качественным покрытием [2]. Ориентировочно около 50 тыс. сельских поселений не имеют круглогодичной связи по автомобильным дорогам с твердым покрытием, что приводит к снижению экономического развития территории и миграции населения в более развитые части страны.

Наиболее дешевая реализация возможностей доставки груза в труднодоступные районы является полноприводный автомобиль, он гораздо дешевле авиатранспорта и позволяет передвигаться по дорогам без твердого покрытия.

Полный привод колёс грузовых автомобилей, это тип конструкции ходовой части и трансмиссии автомобиля, с использованием подачи момента на всех колеса. Полный привод колёс обозначается с помощью осевой формулы, где первое число количество колес, второе число количество колес с приводом. Типичные, и редко встречающиеся осевые формулы бывают 2×2, 3х3, 4×4, 6×6, 8×8, 10х10, 12×12, и даже 24×24. Где совсем уникальные 2х2 это моторизированные одноосные тягачи для сцепки с оборудованием, трех колёсные схемы 3х3 это трехпорные специальные грузовики, а 24-24 это многоосные с 12 осями транспортные системы для тяжелых грузов. Наиболее типичные привода, массово используемые и по настоящему эффективные, это приводные грузовики 4х4, 6х6 и 8х8.

Для тяжелых грузов используют привод грузовых автомобилей по схеме 8х6 [3]. Этот вид подачи мощности часто представляет модернизацию транспортного средства с целью повышения ряда характеристик - проходимости и грузоподъемности. Поэтому за основу берется трехосный грузовой внедорожник 6х6, в межосевое расстояние которого вкатывают ось. Эта ось может быть подъемная (пушер, или ленивец) и управляемая. Использование базовой машины 6х6 делает привод с подачей мощности на первый мост, хотя бывают и переделки, на которых первый мост не имеет привода. В целом эти доработки часто делают кузовные мастерские под заказ клиента, но иногда это есть заводской тип машины, разработанный исключительно с чистого листа. Второй мост, через который должен проходит кардан должен имеет выемку в средней части, по этой причине такие машины не всегда являются вездеходами, а лишь машинами повышенной

проходимости, или обладающие высокой стабильностью работы в условиях сколькой поверхности. Это дорожные тяжелые тягачи, грузовые эвакуаторы, или коммунально-уборочные магистральные машины.



1 - Силовой агрегат; 2 - сцепление; 3 -к оробка передач; 4 - раздаточная коробка; 5 - вал отбора мощности; 6,8,11 - колесные приводные мосты; 7,9,10 - карданная передача.

Рисунок 1 - Схема внедорожника

Полноприводные автомобили, так же имеют ограниченное применение, для сельских дорог и дорог на пашнях. Для этого используют транспорт на гусеничном ходу. Но существует еще более эффективная технология перемещения по такому типу не твердой поверхности. Транспорт, основанный на применении архимедового винта получил название – шнекороторные вездеходы или шнекоходы [4]. Подобные транспортные средства могут передвигаться по обводненным грунтам, глинам, болотам, полям, снегу и т.д. Существуют различные схемы организации движение с помощью вращающихся шнеков. Например, можно привести несколько патентов зарегистрированных в 60-е года XX века.

На рисунках 2 и 3 представлены шнекоходы с различными способами организации передвижение по грунту и снегу.

Оригинальную машину на базе шнекохода запатентовал калифорниец Элвин Беккер. Идея Беккера состояла в создании независимого модуля, оснащенного двумя параллельными роторами-шнеками, приводящимися от общего двигателя. Модуль можно прицепить к саням или даже к лыжнику.

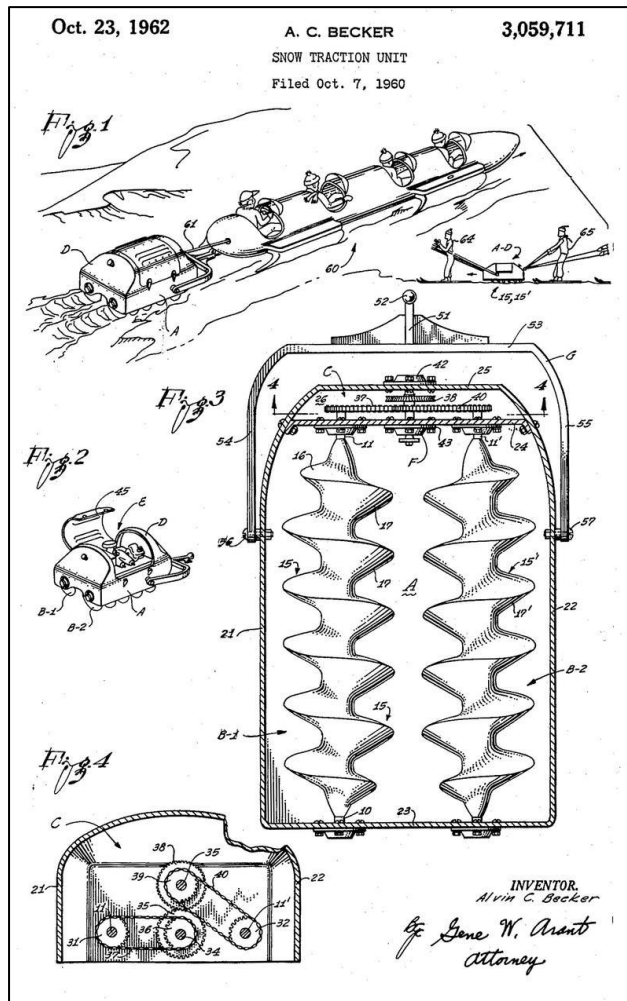


Рисунок 2 - Снежный толкач Беккера (1960)

Для повышения и без того прекрасной проходимости шнекохода Казимир Казмер придумал невероятное... Странная машина Казмера имела 4 независимых шнека, расположенных под углами 90 градусов, — под машиной получался крест или квадрат из шнеков. Полз шнекоход медленно, зато не боялся твердой почвы.

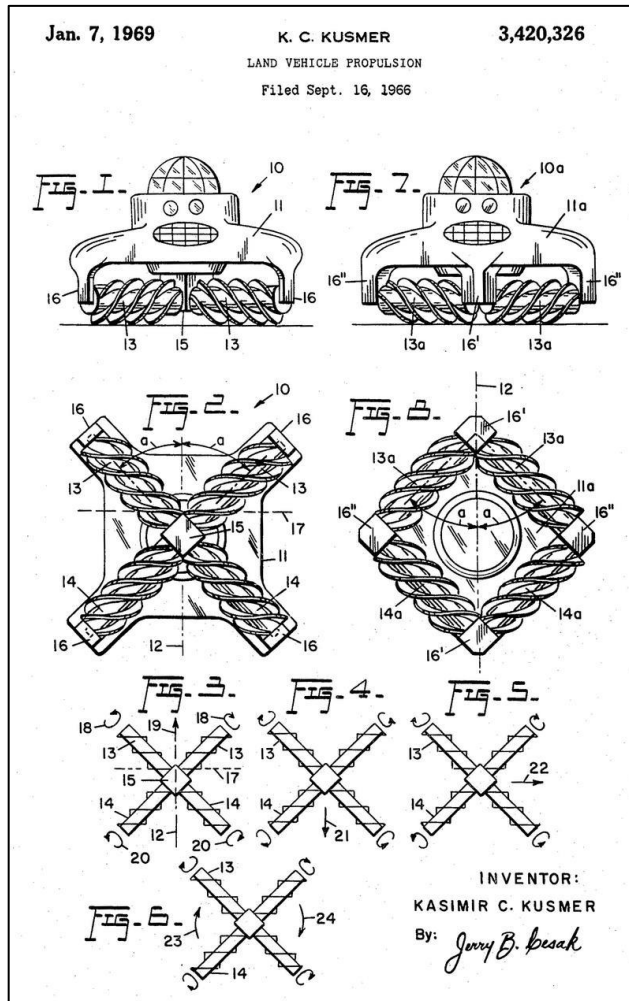


Рисунок 3 - Шнекоход Казмера (1966)

Сейчас серийно производят только один шнекоход в мире это Mud Master, который производит австралийская компания Residue Solutions. Серийное производство реализуется индивидуально по каждому отдельному заказу, а данная универсальная платформа позволяет установить различное оборудование по заказу покупателя. В год выпускается только около 20 единиц техники.



Рисунок 4 - Шнекоход Mud Master, от австралийской компании Residue Solutions

Существуют несколько больших недостатков шнекохода, в первую очередь это низкая скорость передвижения, высокий расход топлива, а самым главным недостатком является невозможность передвижения по дорогам с твердым покрытием, происходит разрушение, как самих шнеков, так и дорожного полотна. Поэтому используют автотралл для их транспортировки по дорогам с твердым покрытием. В целом эксплуатация такого транспорта, как и сам транспорт выходит с большой стоимостью, что практически неприменима для условий глубинки Российской Федерации.

С учетом всех факторов и недостатков каждой схемы передвижения по труднодоступным местам предлагается создание транспортных средств с использованием сразу нескольких технологий передвижения. Предлагается схема, основанная на комбинации схемы полноприводного автомобиля с использованием шнековых опор в нижней части автомобиля.

Было произведено моделирование подобного транспортного средства, который может передвигаться по различным поверхностям с нетвердым покрытием. Предлагается система технических решений способных компенсировать недостатки геометрической проходимости техники с широким спектром применения. В систему технических решений «БАБР» входят «Фронтальные Навесные Модули Фрезы» компенсирующие углы въезда, «Основные Толкающие Модули Фрезы» компенсирующие углы съезда, «Кардан Шнеки» и «Активно Пассивные Вальцы» четырёх видов компенсирующие дорожный просвет не позволяющие сесть на мосты, «Шагающие Телескопические Толкатели» позволяющие преодолевать гололёдные подъёмы. Применение системы «Альтернативной Опоры Тягового Усилия» позволяет опираться транспорту на грунт в любом виде, воду и воздух дающие в совокупности феноменальную проходимость. Подвес кабины позволяющий преодолевать броды до 3 метров (см. рис. 5.).

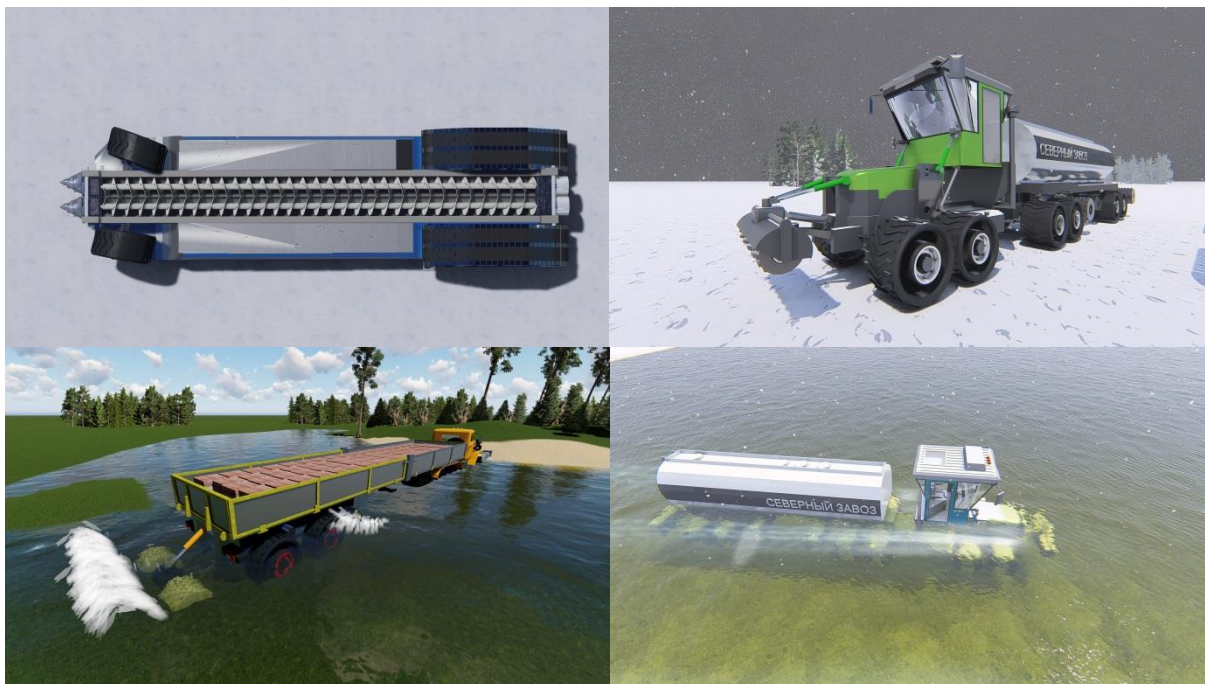


Рисунок 5 - Предлагаемые решения для транспортировки груза по плохим дорогам

Основным выводом по статье является определение направления конструкции новых транспортных средств для дорог с нетвердым покрытием и бездорожья, что позволит преодолевать такую проблему как снабжение удаленных населенных пунктов, проведение сельскохозяйственных работ в весеннюю распутицу и так далее. Решение такой проблемы позволит повысить экономическую эффективность развития удаленных территорий Российской Федерации.

Список использованной литературы

1. СТАТИСТИКА: ДОРОЖНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ В ЦИФРАХ [Электронный ресурс]URL: <http://avtovesti.ru/statistika-dorozhnoe-xozyajstvo-rossii-v-cifrax/>(Дата обращения: 30.03.2019)
2. Статистическая информация, собранная и обработанная Федеральным дорожным агентством [Электронный ресурс]URL: <http://rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/statisticheskaya-otchetnost/211881>(Дата обращения: 30.03.2019)
3. Полный привод грузовых автомобилей [Электронный ресурс]URL: http://www.euronato.ru/articles/polnyj_privod_gruzovyh_avtomobilej_kratkij_li_kbez_po_sxemat_4x4_6x6_8x6_i_8x8/(Дата обращения: 30.03.2019)

4. Шнекоходы: самые редкие вездеходы [Электронный ресурс]
URL: <https://www.popmech.ru/technologies/11541-vvinchivayas-v-gryaz-shnekokhod/>(Дата обращения: 30.03.2019)

УДК 629.113

СРАВНЕНИЕ ЭПЮР НОРМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СНОСА РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ РЕАКЦИИ ДОРОГИ НА ШИНУ

С.П. Рыков

Аннотация. В статье делается попытка преодолеть противоречие, связанное с двумя методами качественного представления и количественной оценки сноса нормальной реакции при взаимодействии пневматической шины с опорной поверхностью дороги. Поскольку величина сноса реакции позволяет по известным соотношениям рассчитать силовую составляющую коэффициента сопротивления качению, как измерителя основных потерь мощности, теряемых при качении колеса с пневматической шиной.

Противоречие возникло после ряда публикаций автора статьи, в которых обоснован новый метод представления и оценки сноса нормальной реакции в зоне контакта и, следовательно, расчета коэффициента сопротивления качению, исходя из математического описания экспериментальных характеристик нормальной жесткости и их развертки по длине пятна контакта уравнением эллипса и степенной функции. Это позволило рассчитать центр тяжести криволинейного треугольника, стороны которого образуют нагрузочная и разгрузочная ветви характеристики жесткости. Результаты расчетов сноса реакции и коэффициента сопротивления качению хорошо согласуются с данными, приводимыми в справочной и научной литературе.

Поскольку ранее для представления о сносе нормальной реакции со стороны дороги на шину всегда использовалась эпюра элементарных нормальных реакций, то в научной среде возникли вопросы о сопоставимости этих методов. Имея график развертки характеристики жесткости шины и предполагая, что пятно контакта имеет прямоугольную форму, в статье было доказано: эти два метода идентичны друг другу. Т.е., имея характеристику нормальной жесткости всегда можно перейти к эпюре элементарных нормальных реакций и наоборот. Но, так как экспериментально построить эту эпюру («трапеция») достаточно сложно, как и описать её функционально, то предпочтение следует отдать методу, построенному на анализе эпюры нормальных реакций, т.е. «плавник акулы».

Ключевые слова: пневматическая шина, потери мощности в шине, коэффициент сопротивления качению, снос нормальной реакции дороги, эллиптически-степенная модель, эпюра «плавник акулы», эпюра «трапеция».

Сергей Петрович Рыков - д.т.н., профессор, Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, г. Братск, тел.: 89501094090, E-mail: rsp7-8-48@rambler.ru

Введение

Для выявления причин потерь мощности, связанных с качением автомобильного колеса с пневматической шиной, измерителем которых является коэффициент сопротивления качению, используется соотношение [1]

$$f = \frac{a_{ш}}{r_{д}} + \frac{M(r_{д} + r_{к})}{R_z r_{д} r_{к}} = f_c + f_k; \quad (1)$$

где f_c, f_k – силовая и кинематическая составляющие коэффициента сопротивления качению;

M – крутящий момент, приложенный к колесу;

R_z – нормальная реакция, действующая на колесо в зоне контакта шины с дорогой;

$r_{д}, r_{к}$ – динамический и кинематический радиусы колеса;

$a_{ш}$ – продольный снос нормальной реакции.

При качении колеса по недеформируемой поверхности дороги силовые потери, в основном, определяются гистерезисным трением в материале покрышки, а кинематические – проскальзыванием шины относительно поверхности дороги.

Для иллюстрации силовых потерь при качении колеса часто используется эпюра элементарных нормальных реакций в контакте шины с дорогой. Например:

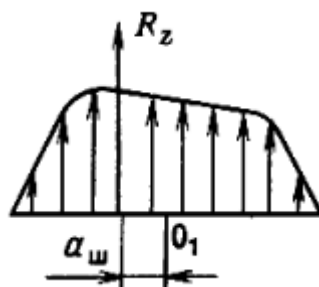


Рисунок 1 - Эпюра элементарных нормальных реакций в контакте шины с дорогой [1]

В других публикациях используются иные названия этой эпюры. В работе [2] – эпюра контактных напряжений, в работе [3] – эпюра удельных давлений.

По сути, эта эпюра отражает распределение отношения нормальной нагрузки на колесе к площади контакта по мере качения колеса через зону контакта.

Как видно из рис.1. эпюра элементарных нормальных реакций несимметрична относительно середины области контакта. Это связано с особенностями проявления гистерезисных потерь в материале шины при её деформации. Причем, в набегающей области эти реакции больше, чем в сбегаяющей и, следовательно, равнодействующая элементарных реакций R_z будет смещена вперед по движению колеса на расстояние $a_{ш}$.

Обладая хорошей информативностью, эпюра элементарных реакций, в то же время, трудно реализуема в натурном эксперименте, поскольку требуется специальное оборудование для измерения малых сил в зоне контакта катящегося колеса. Те единичные примеры, приводимые в ряде публикаций [4,5], подтверждают это утверждение. А без качественно построенной эпюры элементарных реакций невозможно оценить с достаточной степенью точности снос результирующей реакции и, следовательно, рассчитать коэффициент сопротивления качению колеса.

Метод «плавник акулы»

Другой метод качественного представления и количественной оценки потерь мощности, связанных с качением колеса представлен авторами работ [6, 9]. Метод базируется на экспериментально полученных характеристиках нормальной жесткости шины и их математическом описании эллиптическо-степенной моделью.

Характеристика жесткости представляет собой графическое изображение в координатах «сила-деформация» функциональной зависимости нормальной нагрузки, действующей на колесо от вызванного ею нормального прогиба шины при изменении нагрузки как на ходе нагружения колеса, так и на ходе его разгружения.

Характеристика в явном виде, в виде площади замкнутой петли отражает энергию, теряемую при деформации шины от действия сил неупругого сопротивления (гистерезисные потери), а наклон средней линии характеристики отражает упругие свойства шины.

Характер изменения характеристик жесткости шин, особенно получаемых в динамическом режиме нагружения колеса (рис.2 [7]), дает основание аппроксимировать их уравнением эллипса вида

$$F = \pm F_a \sqrt{1 - (h_z / h_{za})^2}, \quad (2)$$

где F , F_a – текущее и амплитудное значения силы неупругого сопротивления в шине;
 h_z , h_{za} – текущее и амплитудное значения нормального прогиба шины.

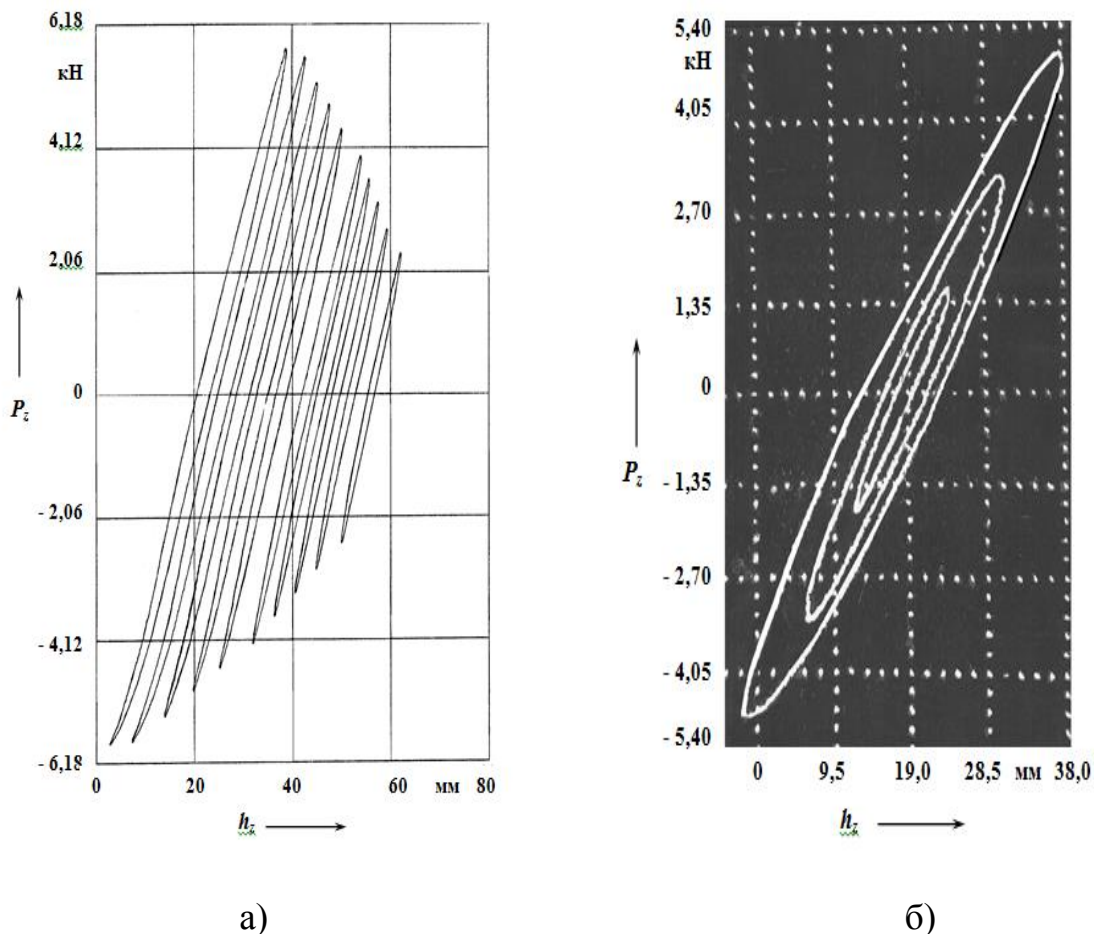


Рисунок 2 - Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жесткости шин, полученными в квазистатическом (а) и в динамическом (б) режимах нагружения колеса:

а – шина 8.40-15 Я-245 ($P_{zn} = 5,95$ кН, $p_{wh} = 0,20$ МПа, $T_{ш} = 20$ °С);
 б - шина 7.00-15 модели И-89 ($P_{zn} = 6,15$ кН, $p_{wh} = 0,22$ МПа, $p = 3,6$ Гц, $\omega_k = 0$)

Другим экспериментально подтвержденным фактом является функциональная зависимость амплитудных значений силы неупругого сопротивления от амплитудных значений радиальной деформации шины (рис. 3), которая в самом общем виде может быть выражена степенной функцией

$$F_a = H_{ш} h_{za}^n, \quad (3)$$

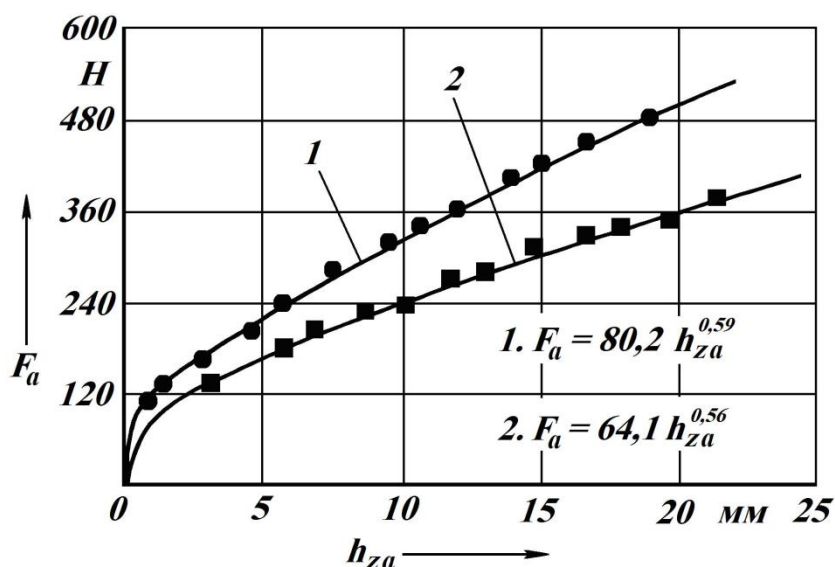
где коэффициент пропорциональности $H_{ш}$ и показатель степени n являются параметрами модели и отражают степень проявления поглощающих свойств шины.

Таким образом, математическое описание эллиптическо-степенной модели поглощающей способности может быть определено следующим уравнением

$$F = H_{\phi} h_{za}^n \sqrt{1 - (h_z / h_{za})^2} \text{sign } \dot{h}_z, \quad (4)$$

где $\text{sign } \dot{h}_z$ - функция «знак \dot{h}_z ».

Параметры эллиптическо-степенной модели (3) являются константами для конкретной шины, т.е. не зависят от внутреннего давления воздуха, уровня статической нагрузки, температуры покрышки, частоты изменения вертикальной нагрузки, скорости качения колеса, догружения крутящим моментом и боковой силой. А конструктивные особенности шин (норма слойности, материал корда, степень износа протектора) оказывают влияние только на коэффициент пропорциональности $H_{ш}$.



1 – шина 8.40-15 модели Я-245, $P_{zh} = 5,95$ кН, $p_{wh} = 0,20$ Мпа;
2 – шина 7.00-15 модели И-89, $P_{zh} = 6,15$ кН, $p_{wh} = 0,22$ Мпа

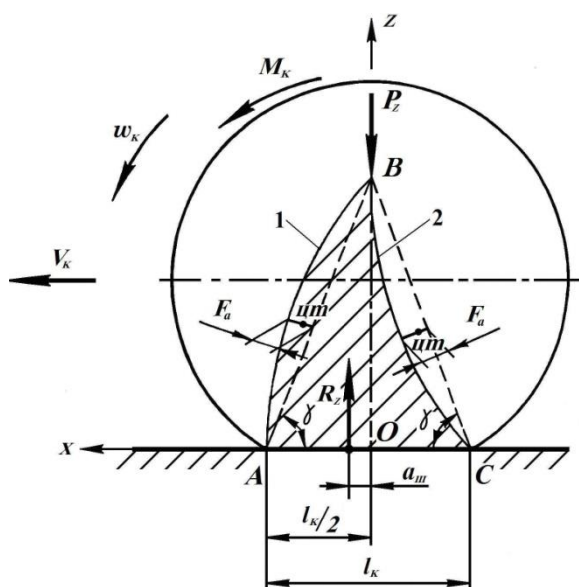
Рисунок 3 - Результаты обработки характеристик нормальной жесткости шин, построенных при различных размахах нагрузки

Будем прокатывать колесо с испытуемой шиной через измерительную площадку, длина которой равна длине отпечатка шины, одновременно

регистрируя нормальную нагрузку на колесе или, равную ей, вертикальную реакцию в зоне контакта шины с площадкой. В результате получим развертку характеристики нормальной жесткости шины по длине пятна контакта (рис.4). Причем, при наезде колеса на площадку строится нагрузочная ветвь характеристики, а при съезде – разгрузочная с поворотом во круг линии абсолютной упругости (штриховая линия).

Суть метода оценки коэффициента сопротивления качению автомобильного колеса заключается в аппроксимации реальной эпюры нормальной нагрузки на колесо для конкретного сечения ветвями петли гистерезиса с параметрами эллиптическо-степенной модели неупругого сопротивления в шине и нахождении абсциссы центра тяжести такой криволинейной фигуры.

Рассмотрим схему взаимодействия эластичного колеса при качении без скольжения с ровной недеформируемой поверхностью дороги. Примем следующие допущения: реальное колесо приводится к плоскому, вследствие чего действующие силы и моменты будут иметь приведенные значения; зона радиальной деформации шины ограничивается зоной пятна контакта (для плоского колеса – длиной l_k).



1 - Линия сжатия сечения шины, 2 – линия распрямления.

Рисунок 4 - Схема взаимодействия эластичного колеса с поверхностью дороги и эпюра нормальной нагрузки P_z действующей в каждом сечении шины при прохождении его через зону контакта (заштрихованная фигура)

Изменение действительной эпюры (линии 1 и 2) нагруженности сечения шины по отношению к идеальной (штриховые линии), свойственной абсолютно упругому телу, связано с проявлением в шине при ее деформировании гистерезисных потерь. Поэтому равнодействующая R_z

нормальных реакций опорной поверхности дороги при качении колеса будет смещена вперед по отношению к линии действия нормальной нагрузки P_z и проходить через центр тяжести криволинейного треугольника ABC (заштрихованная фигура). А абсцисса центра тяжести заштрихованной фигуры будет равна смещению нормальной реакции и, следовательно, определять коэффициент сопротивления качению колеса.

Определим абсциссу центра тяжести криволинейной фигуры (действительной эпюры P_z). Для этого воспользуемся положением, принятым при построении эллиптическо-степенной модели поглощающей способности шины, о возможности аппроксимации характеристики нормальной жесткости (линии 1 и 2) уравнением эллипса.

Тогда, учитывая соотношения геометрии плоских сечений, можно получить выражение для определения абсциссы центра тяжести наклонного полуэллипса

$$x_{um} = \frac{4}{3\pi} F_a \cos \gamma, \quad (5)$$

где F_a – амплитудное значение силы неупругого сопротивления в шине (половина малого диаметра эллипса);

γ – угол, ограничивающий зону деформации шины.

Поскольку эпюра нагруженности состоит из равнобедренного треугольника ABC и двух полуэллипсов, один из которых добавлен к треугольнику, а другой исключен, а также учитывая выражение (3), можно вывести формулу для определения центра тяжести эпюры и, следовательно, смещения нормальной реакции дороги, т.е.

$$x_{uf} = a_u = \frac{4}{3\pi} H_u h_{za}^n \cos \gamma \sin \gamma. \quad (6)$$

Так как $\cos \gamma = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}$, а $\sin \gamma = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \gamma}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}$, то окончательно получим

$$a_u = \frac{4}{3\pi} H_u h_{za}^n \frac{\operatorname{tg} \gamma}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}.$$

Учитывая, что $tg\gamma = \frac{P_z}{l_k/2}$, а для размерностей P_z [Н], l_k [мм] соблюдается условие $tg^2\gamma \gg 1$, то можно преобразовать последний сомножитель к виду

$$\frac{tg\gamma}{1 + tg^2\gamma} = \frac{1}{tg\gamma} = \frac{l_k}{2P_z}.$$

Следовательно,

$$a_{uu} = \frac{2l_k H_{uu} h_{za}^n}{3\pi P_z}. \quad (7)$$

Можно также учесть известные соотношения: $h_{za} = h_{zmax} / 2$,
 $l_k = k_l h_{zmax}$.

Тогда

$$a_{uu} = \frac{2^{1-n} k_l H_{uu} h_{zmax}^{1+n}}{3\pi P_z}. \quad (8)$$

Поскольку коэффициент сопротивления качению шины f_c связан со смещением нормальной реакции дороги выражением вида

$$f_c = \frac{a_{uu}}{r_d},$$

где r_d – динамический радиус колеса, то можно получить формулу для определения коэффициента f_c через параметры H_{uu} , n эллиптическо-степенной модели поглощающей способности шины вида

$$f_c = \frac{2^{1-n} k_l H_{uu} h_{zmax}^{1+n}}{3\pi r_d P_z}. \quad (9)$$

где k_l – коэффициент пропорциональности между длиной пятна контакта и нормальным прогибом шины;

h_{zmax} – полный прогиб шины в радиальном направлении.

Необходимо подчеркнуть, что в полученных формулах (8) и (9) для заданного эксплуатационного состояния шины и режима нагружения ко-

леса все входящие в выражения величины (кроме $h_{z,max}$, r_d и P_z) определяются в предварительном эксперименте, как при исследовании поглощающей способности, и при изменении этих условий остаются неизменными, т.е. константами. Величина P_z задается как исходная, а величины $h_{z,max}$ и r_d легко определяются из простейшего эксперимента по обжатию шины, либо берутся из справочной литературы.

В качестве проверки полученных соотношений вычислим значения $a_{ш}$ и f_c для двух шин 185-14 ИД-195 и LR78-15 SAR, параметры которых приведены в монографии [11] и статье [10].

Шина 185-14 ИД-195

$$a_{ш}=4,67 \text{ мм}; f_c=0,015$$

Шина LR78-15 SAR

$$a_{ш}=4,31 \text{ мм}; f_c=0,012$$

Полученные результаты хорошо согласуются с данными, приводимыми в литературных источниках по испытанию шин, поэтому выведенные закономерности могут быть рекомендованы для оценки коэффициента сопротивления качению шин в теоритических исследованиях динамики автомобиля.

Более того, если коэффициент сопротивления качению рассчитан по параметрам характеристик нормальной жесткости шины, построенным в режиме квазистатического нагружения колеса (что соответствует малым скоростям движения автомобиля), то для выявления закономерностей влияния скорости автомобиля и конструкции шины на коэффициент, можно воспользоваться эмпирическими соотношениями, приводимыми в литературе [8].

Сравнение методов «плавник акулы» и «трапеция»

Поставим вопрос: можно ли эпюру нормальных реакций (рис.4), названную «плавник акулы», привести к эпюре элементарных нормальных реакций (рис.1), названную «трапеция», и наоборот?

Разделим набегающую и сбегаящую области эпюры нормальных реакций на 4-е равные части (рис. 5, а), как и пятно контакта, предполагая изменение его контура по закону прямоугольника (рис. 5, б). В этом случае каждый элемент пятна контакта будет иметь одинаковую площадь

$$F_i = \frac{F}{i} \cdot k,$$

где F_k – площадь пятна контакта,
 F_i – площадь одного элемента,
 i – количество элементов.

Тогда элементарная нормальная реакция, действующая в зоне контакта шины с измерительной площадкой, связана с нормальной реакцией следующим выражением

$$q_{zn} = \frac{R_{zn}}{nF_i}, \quad (10)$$

где R_{zn} – нормальная реакция при наезде (съезде) на n элементов площадки.

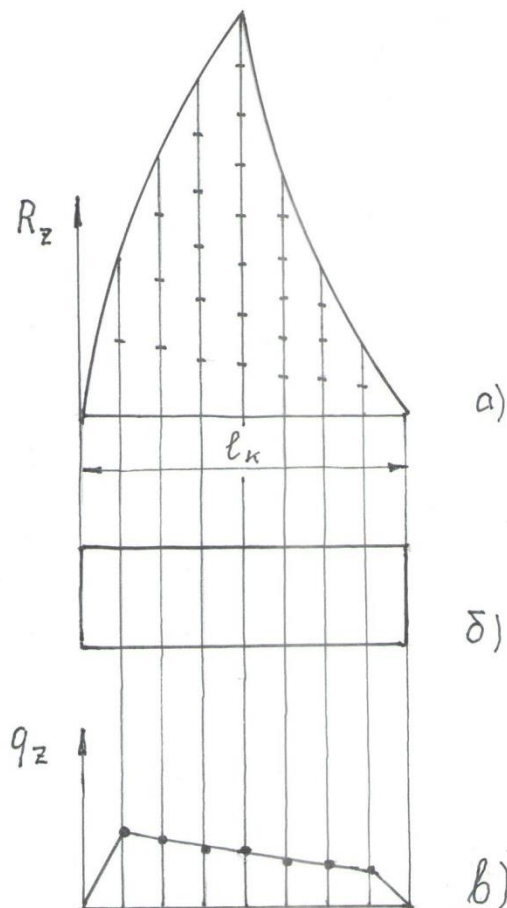


Рисунок 5 - Схема перестроения эпюры нормальных реакций в эпюру элементарных нормальных реакций:

а – эпюра нормальных реакций; б – пятно контакта шины;
 в – эпюра элементарных нормальных реакций.

Построим эпюру элементарных нормальных реакций $q(l_k)$ из эпюры нормальных реакций $R_z(l_k)$, используя соотношение (10). Допустим, что $F_i = 1$ кв.ед., а масштаб эпюры нормальных реакций R_z соответствует реально действующим силам.

Ординаты каждого участка эпюры нормальных реакций делятся на количество участков наезда колеса на измерительную площадку и количество участков съезда с нее. Эти данные наносятся в масштабе на диаграмму с эпюрой элементарных нормальных реакций. Полученные точки соединяются плавной линией (рис 5, в).

Выводы

Таким образом, мы получили однозначный ответ на поставленный в начале статьи вопрос. Да, эпюра «плавник акулы» адекватна эпюре «трапеция», а эпюры могут достаточно просто перестраиваться одна в другую.

Но, если эпюра «трапеция» требует для построения сложного и дорогостоящего оборудования, то эпюра «плавник акулы», являясь разверткой характеристики нормальной жесткости шины, достаточно просто реализуется на обжимных стендах, имеющихся в лабораториях технических вузов, шинных и автомобильных заводов.

Более того, характеристика нормальной жесткости шины и её развертка весьма точно описывается аналитическими уравнениями эллипса и степенной функции, в которых отражены конструктивные и нагрузочные параметры шины. А эпюра элементарных нормальных реакций не может быть описана сравнительно простыми уравнениями, в которых бы отражались те же конструктивные и нагрузочные параметры шины.

Список использованной литературы

1. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. - 240с.
2. Тарновский В.Н. Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
3. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров, А.С. Шелухин, Ю.М. Юрьев. Под ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
4. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. – 224 с.
5. Федотов А.И. Экспериментальные исследования процесса взаимодействия эластичной шины с беговыми барабанами и дорогой / А.И. Федотов, А.В. Бойко, В.П. Халезов. Вестник ИрГТУ. – Иркутск: ИрГТУ, 2012. - №9. - С. 157-163.

6. Рыков С.П. Метод оценки сопротивления качению автомобильного колеса / С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк // Автомобильная промышленность. – М.: ООО «Издательство «Машиностроение», 2011. - №1. – С.32-35.

7. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин: автореф.дис....уч.ст.д-ра техн.наук. - М.: ФГУП «НАТИ», 2005. – 44 с.

8. Высоцкий М.С. Топливная экономичность автомобилей и автопоездов / М.С. Высоцкий, Ю.Ю. Беленький, В.В. Московкин. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 208 с.

9. Пат. RU 2327968 С2, МПК G01M17/02. Способ определения коэффициента сопротивления качению колеса с пневматической шиной и устройство для его осуществления / С.П.Рыков, В.Н.Тарасюк (RU). - Заяв. 10.05.2006; Опубл. 27.06.2008г., Бюл. № 18.

10. Rykov S.P. Determination of rolling resistance coefficient based on normal type stiffness / S.P. Rykov, V.N. Tarasuyk, V.S. Koval, N.I. Ovchinnikova, A.I. Fedotov, K.V. Fedotov. AER – Advances in Engineering Research. – Tomsk, TPU, 2018.

11. Рыков С.П. Основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах с приложениями: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 440 с.: ил.

УДК 621.43

ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕСТОВОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ИНЖЕКТОРОВ

А.В. Неговора, Р.Ж. Магафуров, М.М. Разяпов

***Аннотация.** В данной статье приведены обоснования рабочей температуры тестируемой жидкости для оценки характеристики впрыскивания, представлены экспериментальные данные, раскрывающие влияние температуры топлива на показатели работы топливной аппаратуры дизелей. В результате экспериментально обоснована оптимальная температура устройства при проведении экспериментов.*

Ключевые слова: испытание форсунок, характеристика впрыска, термостабилизация стенда, топливная аппаратура.

Андрей Владимирович Неговора - д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и машинно-тракторные комплексы» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, тел.: 8 (347) 241-68-33, E-mail: negovora@bsau.ru.

Руслан Жамилович Магафуров - старший преподаватель кафедры «Автомобили и машинно-тракторные комплексы» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, тел.: 8 (927) 233-39-42, E-mail: magafuroffruslan@yandex.ru.

Махмут Магдутович Разяпов - доцент кафедры «Автомобили и машинно-тракторные комплексы» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, тел.: 8 (961) 36-82-555, E-mail: mahmut@yandex.ru.

Известно, что температура топлива в топливной системе оказывает значительное влияние на показатели работы агрегатов топливной аппаратуры дизелей. [1]. Вследствие этого при диагностировании форсунок или ТНВД возникает необходимость в создании условий максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации и сохранить заданные свойства рабочей жидкости, что требует поддержания температуры измерительного устройства в определенных пределах. Не все современные стенды, предназначенные для испытания топливной аппаратуры, имеют встроенную систему контроля температуры и термостабилизации. Стоит отметить, что в литературе нет четкого обоснования оптимальной температуры агрегата или рабочей жидкости при испытании новых аккумуляторных систем топливоподачи типа Common Rail.

Предлагаемое нами устройство для оценки характеристики впрыскивания (рис.1) позволяет решить указанную проблему [2].

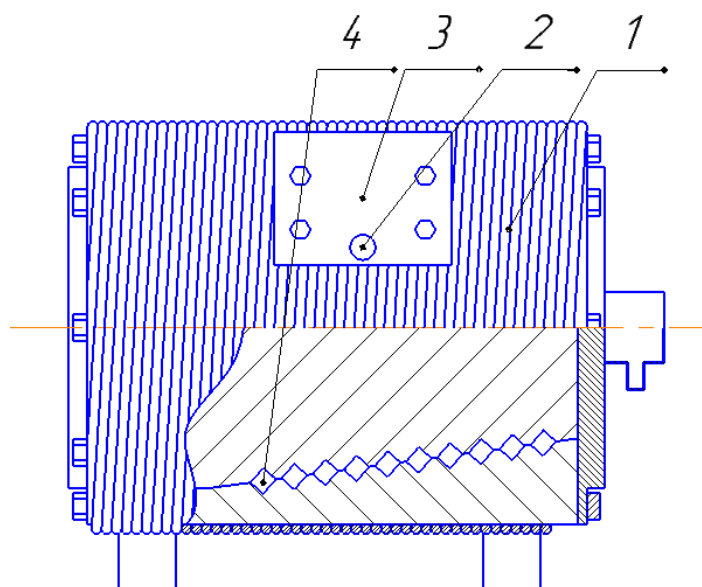


Рисунок 1 - Устройство для оценки характеристики впрыскивания

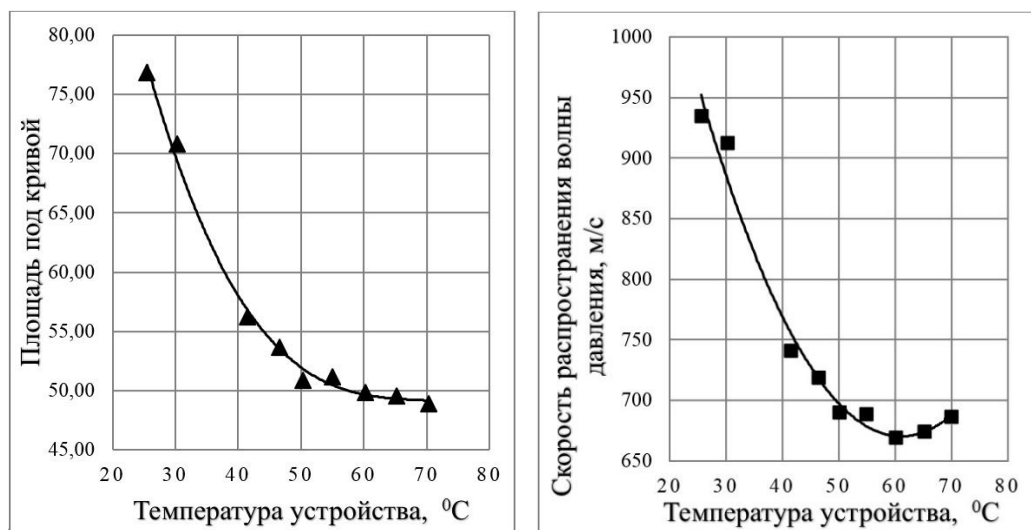
Для поддержания заданной температуры тестируемой жидкости на корпус устройства установлен (намотан) силиконо-керамический нагрева-

тельный элемент 1, отличающийся повышенной стойкостью к негативному воздействию агрессивных жидкостей и влаги. Следует сказать, что таким нагревателям требуется мало времени для нагрева и остывания, при этом они могут точно поддерживать температуру тестируемой жидкости, используя электронное управление с обратной связью по датчику температуры 2.

Температура тестируемой жидкости при испытаниях фиксировалась цифровым датчиком температуры 2, установленным в корпус приемного штуцера 3 в начале спиральной канавки 4. Для повышения точности оценки фиксируемых показаний посадочное место для температурного датчика 2 заполнено термопастой до его установки, тем самым исключая воздушный зазор, который может исказить данные.

Испытания проводились при величине цикловой подачи топлива равной $30 \text{ мм}^3/\text{ц}$ и противодавлении в системе равном атмосферному. Методика исследований по определению оптимальной температуры подразумевает включение силиконо-керамического нагревательного элемента 1 в циклическом режиме для равномерного нагрева устройства с шагом $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Полученные данные позволили построить графические зависимости (рис. 2) влияния температуры устройства на основные датчика характеристики впрыскивания топлива форсункой дизеля.



а)

б)

Рисунок 2 - Влияние температуры измерительного устройства на основные показатели датчика характеристики впрыскивания топлива:

- а) на площадь под кривой датчика давления;
- б) на скорость распространения волны давления

Анализ графиков показывает, что в диапазоне температур до 50 °С наблюдается существенное изменение площади под кривой давления, характеризующей цикловую подачу. При нагреве тестовой жидкости более 50 °С и площадь под кривой датчика давления и скорость распространения волны давления стабилизируются. Подобный тренд имеют известные зависимости изменения сжимаемости топлива и его вязкости от температуры [3], что может быть взято за основу при исследовании процесса.

Исходя из конструктивных особенностей устройства и опираясь на данные других исследователей [4] его нагрев ограничили температурой 70 °С, так как чрезмерный нагрев тестовой жидкости и топливной аппаратуры оказывает положительный эффект только в узкой области на частичных нагрузках и при температуре до 100 °С. Так же указано, что влияние температуры топлива на процесс топливоподачи не сильно выражено при рабочих давлениях в линии нагнетания ниже 50 МПа. В нашем случае, когда испытываются форсунки типа Common Rail и давление впрыскивания достигает 250 МПа, поэтому пренебрегать термостабилизацией измерительного устройства недопустимо.

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы о том, что с увеличением температуры тестовой жидкости и устройства скорость распространения волны давления в измерительном канале снижается, это позволяет констатировать, что характер изменения в основном определяет вязкость дизельного топлива. Так при увеличении температуры с 25 до 50 °С скорость распространения волны давления снижается на 260 м/с, и также наблюдаются потери давления впрыскивания на 2,5 МПа. Минимальная скорость распространения волны давления зарегистрирована при температуре устройства около 60 °С, в данной точке также происходит выравнивание температуры корпуса устройства и тестовой жидкости. Данное значение температуры можно обоснованно принять в качестве оптимального температурного режима устройства.

Проведенные испытания позволили обосновать, что для получения достоверных показателей при диагностировании топливной аппаратуры дизелей необходимо стабильно поддерживать рабочую температуру устройства на уровне 60 °С.

Список используемой литературы

1. Габитов И.И. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / учеб. пособие для студентов вузов / И. И. Габитов, А. В. Неговора; Мин-во сел. хоз-ва Рос. Федерации. Уфа, 2004.- с.216.
2. Патент на изобретение №2433299 Устройство для исследования подачи топлива топливоподающей аппаратурой в дизелях / Габитов И.И., Неговора А.В., Габбасов А.Г., Валиев А.Р., Давлетов А.Ф. Уфа: БГАУ НИЧ - Опубликовано 10.11.2011г. - Бюл. №31.

3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов.- М.: Легион-Автодата, 2004. - с.344.

4. Неговора А.В., Низамутдинов А.И., Хакимов Р.Т. Специализированное устройство для исследования закона подачи топлива в системах питания дизелей / Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 3 (29). С.

5. Неговора А.В., Ахметов А.Ф., Факиев А.Ф. Метод безразборного диагностирования насос-форсунок автотракторных двигателей / Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 197-199.

УДК 629.018

АНАЛИЗ ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТА ФАР

А.А. Ивасинкова, Е.М. Портнягин

***Аннотация.** В статье приведен анализ погрешностей при проверке параметров света фар, описание процесса проверки света фар в рамках периодического технического осмотра с применением приборов для проверки света фар.*

***Ключевые слова:** контроль технического состояния, технический осмотр, погрешность, проверка параметров света фар.*

Анастасия Алексеевна Ивасинкова - магистрант группы ТЭАм-18-1, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: (3952) 405136.

Евгений Михайлович Портнягин - канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: (3952) 405136.

Технический осмотр автомобиля – это проверка технического состояния находящегося в эксплуатации колесного транспортного средства (КТС) [1]. Легковые автомобили, грузовые автомобили с разрешенной максимальной массой до 3,5 тонн, мотоциклы и другие мототранспортные средства, полуприцепы и прицепы не старше 3 лет техническому осмотру не подвергаются. После того, как с года их выпуска пройдет трехлетний срок, процедура прохождения техосмотра станет обязательной. Исключением являются только прицепы, но лишь в том случае, если их собственниками являются физические лица, а сами они имеют массу не более 3,5

тонн. Для КТС возрастом от 3 до 7 лет технический осмотр нужно делать каждые два года, после истечения семилетнего срока – ежегодно.

Относительно некоторых видов автомобилей установлены особые правила, которые касаются периодичности прохождения техосмотра. В частности, проводить эту процедуру ежегодно необходимо в отношении таких КТС, как:

- грузовые авто с разрешенной максимальной массой свыше 3,5 тонн;
- автомобили, которые используются для обучения на них вождению;
- КТС со специальными сигналами.

Более жесткие требования к срокам установлены для тех авто, которые используются для перевозки граждан, поскольку от их исправности зависит жизнь и здоровье множества людей. Каждые полгода проводить техосмотр должны владельцы таких КТС, как:

- легковые такси;
 - автобусы;
 - грузовые авто, которые используются для систематической перевозки пассажиров и имеют не менее восьми мест для сидения, не считая водительского;
- а также
- специальные КТС и прицепы к ним, которые предназначены для транспортировки опасных грузов.

В рамках технического осмотра ведется проверка внешних источников света. Внешние световые приборы – устройства для освещения дороги, государственного регистрационного знака, а также устройства световой сигнализации [1]. В рамках технического осмотра контролируется угол наклона светового пучка к поверхности дороги, т. е. регулировка фар, а также сила их света.

Сила света – часть светового потока, излучаемая в определенном направлении [1].

Требования к проверке внешних световых приборов:

- свет фар проверяют на КТС, размещенном на посту, оборудованном горизонтальной ровной рабочей площадкой с уклонами не более $\pm 0,1$ % и прибором для проверки света фар, установленном на ориентирующем приспособлении, обеспечивающем взаимное расположение КТС и прибора с погрешностью не более $\pm 0,2$ %;
- размещение КТС на рабочей площадке должно обеспечивать параллельность оси отсчета фары и плоскости рабочей площадки с погрешностью не более $\pm 0,1$ %;
- размещение прибора на рабочей площадке должно обеспечивать параллельность оптической оси объектива прибора плоскости рабочей

площадки с погрешностью не более $\pm 0,1$ % и продольной центральной плоскости КТС или перпендикулярность к оси задних колес с погрешностью не более $\pm 0,2$ % и прохождение оптической оси через оптический центр рассеивателя фары. Расстояние от центра рассеивателя фары до плоскости объектива прибора должно быть (350 ± 50) мм, если изготовителем прибора в инструкции по эксплуатации не установлено иное значение;

- свет фар проверяют по прибору визуально на незагруженном КТС и соответствующем положении корректора фар;

- рассеиватели фар при проверке должны быть снаружи чистыми и сухими, давление воздуха в шинах должно соответствовать установленному изготовителем КТС в эксплуатационной документации;

- в фокальной плоскости объектива прибора устанавливают подвижный экран с разметкой, обеспечивающей возможности проверки фар и регулировки положения разметки по высоте;

- положение левой части светотеневой границы в режиме «ближний свет» определяют визуально относительно разметки подвижного экрана, встроенного в прибор;

- силу света фар измеряют с погрешностью не более 7 % при помощи датчика, встроенного в подвижный экран прибора и откоррегированного под среднюю кривую спектральной чувствительности глаза человека. Чувствительность датчика должна соответствовать интервалам допускаемых значений силы света [2].

- также на погрешность проверки света фар влияют загруженность автомобиля, чистота фары и давление в шинах [2].

Требования по взаимному размещению прибора, автомобиля и рабочей площадки прописаны в стандарте [2] и регламенте [1]. Однако установка и ориентирование прибора производится вручную и практически «на глаз».

Обязательным прибором на техническом осмотре согласно приказу Министерства промышленности и торговли РФ от 6 декабря 2011 г. № 1677 является, в том числе, прибор для контроля регулировки и силы света фар [3].

В таблицу 1 сведем диапазоны измерений и погрешности измеряемых параметров, согласно [2] и [3].

Приведем наиболее распространенные модели приборов для проверки силы света и контроля регулировки фар, используемые в России.

Измеритель параметров света фар ИПФ-01 (производства ИПФ «Мета», г. Жигулевск) приведен на рис. 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ погрешностей измеряемых параметров

Измеряемые параметры, ед. изм.	Диапазон измерения	Максимальная погрешность согласно [2]	Максимальная погрешность согласно [3]
Угол наклона светотеневой границы светового пучка в вертикальной плоскости	0°00' ÷ 2°20'	± 0,2 % / ± 0,1%	± 0,1%
Сила света фар, кд	200 ÷ 125000	7%	15%
Высота измерений, мм	250 ÷ 1400	-	-
Погрешность ориентации оптической оси прибора относительно продольной плоскости транспортного средства	-	± 0,2%	± 30'



Рисунок 1 - Прибор проверки света фар ИПФ-01

Измеритель параметров света фар автотранспортных средств ИПФ-01 предназначен для проверки технического состояния и регулировки

внешних световых приборов транспортных средств в соответствии с требованиями Технического регламента [1] и ГОСТ Р 33997-2016 [2].

Функции прибора ИПФ-01:

- измерение углов наклона светового пучка фар автомобилей;
- измерение силы света внешних световых приборов;
- измерение времени от момента включения указателей поворота до появления первого проблеска;
- измерение частоты следования проблесков указателей поворота.

Прибор проверки света фар ОПК (производства завода ГАРО, г. Великий Новгород) приведен на рис. 2.



Рисунок 2 - Прибор проверки света фар ОПК

Прибор проверки света фар ОПК предназначен для проверки, регулировки и измерения силы света всех типов внешних световых приборов автотранспортных средств согласно [1] и [2]. Оптическая камера и устройство ориентации расположены на передвижной стойке. В корпусе оптической камеры установлены фокусирующая линза, экран с разметкой и индикатор силы света. Экран перемещается по вертикали вращением диска отсчета величины снижения светотеневой границы. Высота установки камеры считывается по рискам на стойке. Оптическая ось камеры устанавливается в горизонтальной плоскости по уровню, а параллельность оси автомобиля достигается при помощи ориентирующего устройства щелевого или зеркального типа.

Техническое описание:

- Проверка силы света фар ближнего и дальнего света, противотуманных фар, габаритных огней, сигналов торможения, указателей поворотов, фар с ксеноновым источником света;
- Регулировка угла наклона фар;
- Результаты замеров отображаются на жидкокристаллическом графическом дисплее с подсветкой;
- Измерительная камера легко перемещается в вертикальной плоскости и надежно фиксируется в установленном положении;
- Четыре фотоприемника надежно защищены от посторонних внешних источников света;
- Автоматическая передача данных на персональный компьютер по RS-232.

Анализируя вышеприведенный материал, можно сделать вывод, что для повышения безопасности КТС, следует уменьшать погрешности при измерении параметров внешних световых приборов, следует повышать точность измерений, используя при этом точное оборудование.

Однако следует заметить, что в настоящее время в рамках технического осмотра при проверке внешних световых приборов не учитываются такие факторы как:

- изменение загруженности автомобиля;
- изменение уклона площадки, на которой производится измерение;
- изменение углов взаимного расположения прибора и автомобиля;
- изменение давления в шинах.

Поэтому исследование, направленное на изучение погрешностей контроля внешних световых приборов автомобиля в процессе его технического осмотра актуально, и будет проведено с учетом влияния всех вышеперечисленных факторов.

Список использованных источников

1. Технический регламент таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» ТР ТС 018/2011. – Введен 2011-12-9. – М. 2010 г. 465 с.
2. ГОСТ 33997-2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методики проверки. – Введен 2018-02-01. – М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2017. – 68 с.
3. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ № 1677 "Об утверждении основных технических характеристик средств технического диагностирования и их перечня" (с изменениями и дополнениями) - Введен 2011.12.06.- Собрание законодательства Российской Федерации, 2008 г. – 6 с.

4. Измеритель параметров света фар автотранспортных средств ИПФ-01. Руководство по эксплуатации М048.000.00РЭ – Научно-производственная фирма «Мета». – 50 с.

5. Прибор проверки фар модели ОПК. Руководство по эксплуатации прибора ОПК00.000РЭ. – Новгородский завод ГАРО. – 20 с.

УДК 629.053

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОГО АВТОТРАНСПОРТА В ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РФ

С.В. Бахмутов, С.Е. Бузников, А.М. Сайкин, Д.В. Ендачев

***Аннотация.** Целью исследования является научное обоснование перспектив развития беспилотного автотранспорта в дорожно-климатических условиях РФ. Методы исследования включают методы системного анализа и современной теории управления. Структурированное множество столкновений строится с помощью метода «Морфологического ящика» Цвикки и включает столкновения, обусловленные определенными техническими неисправностями, состоянием дорожного покрытия и ошибками управления. Анализ условий предотвращения определенных групп столкновений структурированного множества позволяет свести задачу их предотвращения к задаче динамической стабилизации координат состояния. В работе приводятся результаты решения задачи мониторинга вектора координат состояния и его динамических границ на основе виртуальных датчиков информации, позволяющих решать эту задачу в минимальной конфигурации технических средств. На основе анализа свойств структурированного множества столкновений предлагается последовательность этапов опытной эксплуатации БТС возрастающей сложности и формируются задачи, которые необходимо решать на каждом из них.*

Ключевые слова: беспилотный автотранспорт, дорожно-климатические условия, системный анализ, предотвращение столкновений, динамическая стабилизация координат состояния.

Сергей Васильевич Бахмутов - доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке, ФГУП «НАМИ», Москва, РФ.

Сергей Евгеньевич Бузников - кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором «Имитационного моделирования», ФГУП «НАМИ», Москва, РФ.

Андрей Михайлович Сайкин - доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник управления «Специальных программ», ФГУП «НАМИ», Москва, РФ.

Денис Владимирович Ендачев - кандидат технических наук, директор центра «Информационных и интеллектуальных систем», ФГУП «НАМИ», Москва, РФ, E-mail: s.bakmutov@nami.ru.

Введение

Проблема безопасности движения автомобильного транспорта затрагивает жизненно важные интересы. Особую актуальность проблема безопасности движения приобретает в условиях развития беспилотных транспортных средств (БТС), эксплуатируемых на дорогах общего пользования.

Перспектива заметного повышения экономической эффективности грузопассажирских перевозок [1] за счет исключения негативного влияния «человеческого фактора», снижения аварийности и повышения производительности транспортных средств в значительной степени определяют повышенный интерес автопроизводителей и потенциальных потребителей к достижениям в этой области.

Ключевыми для управления беспилотными транспортными средствами (БТС) являются задачи стабилизации на заданной траектории и предотвращение столкновений с препятствиями.

Ведущие зарубежные фирмы [2] и отечественные организации [3] проводят широкомасштабные исследования в области интеллектуальных транспортных систем [4] и беспилотного автотранспорта, часть разработок которого представлена на рисунке 1.

Как показывает практика, переход к беспилотному управлению связан не только с совершенствованием систем активной безопасности, например, систем адаптивного круиз-контроля [5], технического зрения [6] и навигации [7].

Безопасная эксплуатация беспилотного транспорта представляется невозможной, если не решена задача предотвращения столкновений в её наиболее общей постановке.

Перспективным направлением решения проблемы, развиваемым ведущими зарубежными фирмами [8], является создание эффективных систем активной безопасности автомобилей.

Специфика дорожно-климатических условий РФ сводится к существенному влиянию следующих факторов: отрицательные температуры и низкие сцепные качества на протяжении значительного периода (в северных регионах до 8-10 месяцев в году); загрязнения дорожного покрытия, не позволяющие обнаруживать дорожную разметку; подавляющее большинство дорог между населенными пунктами имеют две полосы движения, что требует выезда на встречную полосу для обгона попутного транспор-

та;значительные неровности дорожного покрытия создают предпосылки к аварийным ситуациям.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)

Рисунок 1 - Примеры разработок зарубежных и российских БТС:

- а) беспилотный автомобиль Google на базе Toyota Prius;
- б) автомобиль Volkswagen с полуавтоматической системой Temporary Auto Pilot;
- в) серийный автомобиль Audi с системой Traffic Jam Assistant;
- г) беспилотный электромобиль Google;
- д) грузовое БТС на базе КАМАЗ-5350;
- е) беспилотные грузовики в Японии;
- ж) колонна грузовых БТС Scania;
- з) беспилотная грузовая платформа SURUS;
- и) беспилотный карьерный самосвал Autonomous Haulage Vehicle (AHV)

В этих условиях известные зарубежные системы активной безопасности, включая антиблокировочные, стабилизации курсовой устойчивости

и автоматического торможения, основанные на использовании прерывистого торможения, являются недостаточно эффективными.

Использование систем технического зрения для контроля положения на полосе в системах активной безопасности ограничивается наличием распознаваемой разметки при благоприятных погодных условиях.

Ошибки определения местоположения автомобиля по данным спутниковых навигационных систем существенно зависят от условий радиовидимости и в условиях плотной застройки, в туннелях и в лесных массивах оказываются недопустимо большими.

С учетом выше изложенного возникает необходимость использования в системах активной безопасности и управления движением БТС дополнительных технических решений, свободных от указанных недостатков.

Постановка задачи

При рассмотрении перспектив развития беспилотного автотранспорта в комплексе с перспективной дорожной инфраструктурой, образующих единую транспортную систему, особенно для дорожно-климатических условий РФ, целесообразно провести анализ условий столкновений транспортных средств с препятствиями в общем виде. Системный анализ [9] условий столкновений с препятствиями позволяет с помощью метода «Морфологического ящика» Цвикки [10] построить структурированное множество типовых столкновений, приведенное на рисунке 2.

Структурированное множество типовых столкновений состоит из двух подмножеств M_1 и M_2 , соответствующих столкновениям с препятствиями на поверхности дорожного покрытия и опрокидываниям. Мощности указанных подмножеств составляют соответственно 90 и 10 событий. Подмножества M_1 и M_2 строятся с использованием 3 структурных переменных: $\bar{V}_{пр}$, \bar{a}_m и $\Delta\bar{\varphi}_m$, соответствующих нулевому, положительному и отрицательному значениям скорости препятствия, продольному ускорению управляемого объекта и непрогнозируемому изменению направления движения управляемого объекта, обусловленного определенными дестабилизирующими факторами.

К их числу относятся асимметрия осевых колесных пар, разрушения шин, шарнирных соединений подвески и рулевого управления, недопустимые продольные и поперечные скольжения колес, асимметрия функционирования тормозов, значительные неровности дорожного покрытия и ошибки водителя при маневрировании.

Результаты исследования

Введение структурированного множества типовых столкновений путем декомпозиции основной проблемы на частные позволяет провести

оценку научно-технического уровня различных технических и организационных решений.

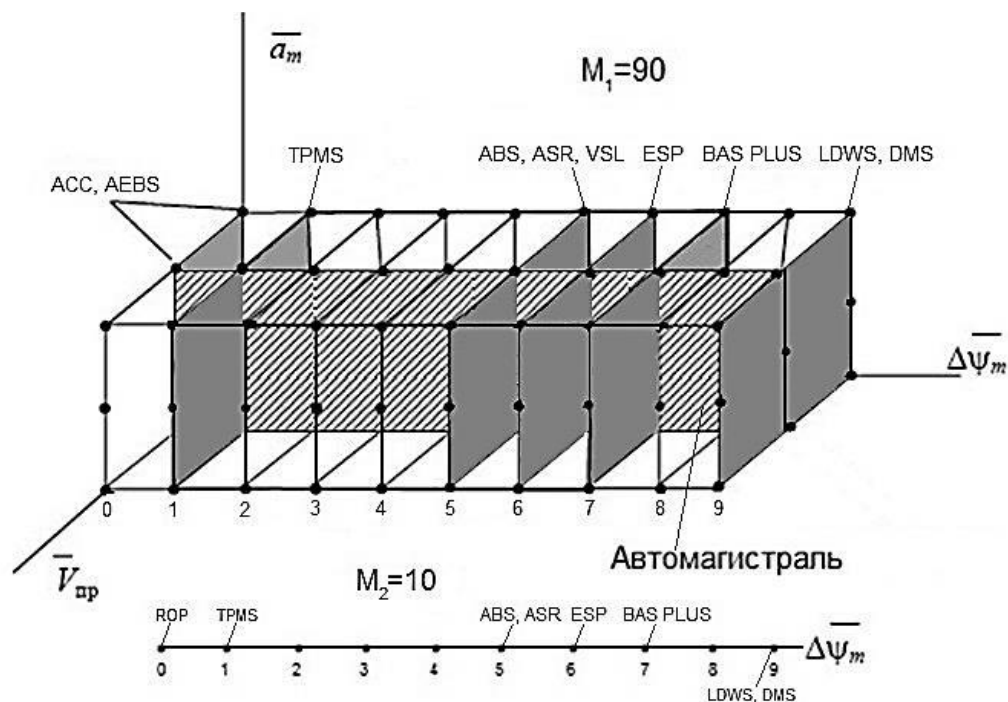


Рисунок 2 - Структурированное множество типовых столкновений

Применение современных систем активной безопасности (AEBS, ROP, ACC, ABS, ASR, ESP, TPMS, BAS PLUS, DMS и др.) позволяет при соблюдении определенных условий предотвратить до 57 типовых столкновений из 100 возможных. Однако в дорожно-климатических условиях РФ возникает ограничение, заметно снижающее эффективность их применения (таблица 1).

Системы предотвращения столкновений со встречными препятствиями, столкновений, обусловленных разрушением шин, подвески, рулевого управления, значительными неровностями дорожного покрытия, в современной зарубежной практике отсутствуют.

Одним из направлений решения задачи предотвращения столкновений, сложившемся в мировой практике, является строительство дорог магистрального типа. Топология магистрали позволяет исключить столкновения со встречными препятствиями, неподвижными и условно неподвижными с пересекающихся направлений. В этом случае из структурированного множества M_1 исключаются 30 столкновений со встречными и 30 - с неподвижными препятствиями. Оставшиеся 30 столкновений с попутными препятствиями и 10 опрокидываний, обусловленных ошибками управления, техническими неисправностями автомобиля и состоянием дорожного покрытия являются потенциально возможными.

Таблица 1 –Характеристики зарубежных систем активной безопасности

№	Зарубежные системы активной безопасности	Ограничения функционирования в полной конфигурации
1	AEBS	Торможение со срабатыванием ABS без учета дистанции до сзади идущего автомобиля
2	ACC	Стабилизация заданной скорости и дистанции, не являющихся безопасными
3	TPMS	Падение давления в 1-м из 4-х колес при $V_m > 40$ км/ч; $\Delta P_i > 0.6$ бар
4	ABS, ASR	Значительное снижение эффективности торможения на неровных поверхностях, на льду и на снегу
5	ESP	Неэффективна для автомобилей с высоким центром масс и на грунтовых дорогах
6	LDWS	Наличие распознаваемой разметки и вывод автомобиля на колею
7	DMS	Требует настройки на индивидуальные характеристики водителя

К основным задачам первого этапа опытной эксплуатации БТС следует отнести: регистрацию параметров движения и положения на полосе; комплексирование спутниковой и колесной навигационных систем; адаптацию систем управления тормозами в условиях скользких покрытий; стабилизацию на траектории беспилотных автомобилей при движении колонн с ведущим пилотным ТС; аварийную остановку при обнаружении опасных неисправностей.

На втором этапе опытной эксплуатации беспилотных автомобилей должно предусматриваться их движение по заданным маршрутам на ограниченной территории с низкой интенсивностью движения. К числу основных задач этого этапа относятся следующие: предотвращение столкновений со встречными препятствиями; коррекция маршрута в зависимости от пробок; безопасный объезд препятствий на полосе движения.

На третьем этапе опытной эксплуатации беспилотных автомобилей должно предусматриваться безопасное движение по загородным трассам между населенными пунктами. В число основных задач этого этапа входят: безусловное распознавание дорожных знаков вне зависимости от времени суток, осадков, тумана, освещения и др.; обгон попутного транспорта с выездом на встречную полосу; автоматическое переключение света с дальнего на ближний и наоборот в зависимости от дистанции до встречного ТС.

На четвертом этапе опытной эксплуатации беспилотных автомобилей должно предусматриваться их движение по участкам городских улиц. В число основных задач этого этапа следует отнести следующие: распознавание сигналов светофоров и прогнозирование их переключения; безопасное маневрирование в потоке автомобилей со сменой полос движения; распознавание пешеходов, других препятствий и прогнозирование траектории их движения.

Обсуждение

Оценка перспектив развития беспилотного транспорта в дорожно-климатических условиях РФ непосредственно связана с результатами решения задач рассмотренных этапов опытной эксплуатации беспилотных автомобилей. На рисунке 3 представлены разработанные ФГУП «НАМИ» в период с 2012 года по настоящее время опытные образцы БТС, систем активной безопасности и объективного контроля (черный ящик).



Рисунок 3 - Макетные и опытные образцы ряда беспилотных автомобилей ФГУП «НАМИ»:

а) макетный образец БТС «Лада Калина» (2012 г.); б) экспериментальный образец БТС с электроприводом на базе легкового автомобиля «Лада Калина» (2014-2016 гг.); в) беспилотный автобус Шатл на электротяге (2015-2017 гг.); г) беспилотный грузовой автомобиль КАМАЗ (2015-2016 гг.); д) мишень для испытаний БТС (2016 г.); е) серийный автомобиль «Лада Калина» с системой объективного контроля» (2017-2018 гг.); ж) серийный автомобиль «Лада Веста» с системой объективного контроля; з) колонна беспилотных легковых автомобилей «Лада Веста» с ведущим пилотным автомобилем.

Начиная с 2017 года ФГУП «НАМИ» выполняет научно-исследовательские работы по перспективным проектам Минобрнауки по темам «Система объективного контроля» (Рисунок 3 е), «Интеллектуальная система активной безопасности» (Рисунок 3 ж), «Интеллектуальная транспортная система» (Рисунок 3 з) и «Беспилотное транспортное средство без кабины водителя с электроприводом». Индустриальным партнером по данным темам является ПАО «КАМАЗ».

Результатами этих работ являются: создание системы объективного контроля (СОК) параметров движения автомобиля для оценки причин ДТП на основе виртуальных датчиков информации; создание интеллектуальной системы активной безопасности автомобиля на основе новых алгоритмов стабилизации курсовой устойчивости и автоматического торможения; разработка системы управления движением колонны БТС с ведущим пилотным автомобилем; разработка программы комплексирования колесной и спутниковой навигационной систем; разработка программы распознавания дорожных знаков по данным навигационной системы; разработка программы стабилизации на заданной траектории для бескабинного беспилотного транспортного средства с электроприводом.

Дорожные испытания экспериментальной СОК проводились в зимний, летний и осенний периоды в 2018 году на Дмитровском автополигоне. Анализ результатов проведенных исследований показал, что эффективность полученных результатов относится к 3-му поколению интеллектуальных информационно-измерительных систем.

По проекту «Беспилотное транспортное средство без кабины водителя с электроприводом» (БТСЭ) в 2018 году были выполнены следующие основные работы: изготовлен прототип модуля системы управления движением, включающего системы технического зрения, навигации, и связи по эскизной конструкторской документации; осуществлено программирование и отладка специального программного обеспечения системы управления движением прототипа; проведено исследование технических параметров системы управления движением автомобиля в различных скоростных, дорожных, погодных условиях и в различное время суток; разработана эскизная конструкторская документация и изготовлена грузовая плат-

форма КАМАЗ без кабины водителя, оборудованная системой управления движением. Испытания БГТСЭ должны завершиться в 2019 году.

Результаты дорожных испытаний интеллектуальной системы управления движением (ИТС) колонны легковых БТС «Лада Веста» с ведущим пилотным автомобилем показали, что основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели и принятые технические решения разработанной ИТС колонны беспилотных транспортных средств с ведущим пилотным транспортным средством обеспечивают решение задачи повышения эффективности и безопасности грузопассажирских перевозок в труднодоступных регионах Севера страны, Арктики и Антарктики. Испытания ИТС колонны грузовых БТС на базе автомобилей «КАМАЗ» должны завершиться в 2019 году.

Что же касается последующих этапов опытной эксплуатации, то решение соответствующих задач требует сосредоточения усилий как в плане алгоритмизации их решения, так и в технической реализации наиболее перспективных БТС.

Благодарности

Данная научная работа была подготовлена по результатам прикладного научного исследования и экспериментальных разработок, которые проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки Российской Федерации по Соглашениям № 14.625.21.0043 (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62517X0043), №14.624.21.0049 (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62417X0049), № 14.625.21.0042 (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62517X0042) и № 14.624.21.0048 (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62417X0048).

Список используемых источников

1. Сайкин А М, Ендачев Д В, Евграфов В В, Шагурин А Л, Маслов К В, Новожилов А А. Основы критериев оценки беспилотных транспортных средств. -*Труды НАМИ*, 2(269). -2017.-С. 48-54.

2. Rothhämel M 2018 Fail-operational vehicle dynamics for autonomous operation—a review through other engineering domains. *Proceedings of the 25th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD 2017)* 1.

3. Saykin A M, Bakhmutov S V, Terenchenko A S, Endachev D V, Karpukhin K E, Zarubkin V V 2014 Tendency of Creation of “Driverless” Vehicles Abroad. *Biosciences Biotechnology Research Asia* 11 241-6. DOI: 10.13005/bbra/1469.

4. Shadrin S, Ivanov A and Karpukhin K 2016 Using Data From Multiplex Networks on Vehicles in Road Tests, in *Intelligent Transportation*

Systems, and in Self-Driving Cars. *Russian Engineering Research* 36(10) 811-814.

5. Davis L C 2012 Stability of adaptive cruise control systems taking account of vehicle response time and delay. *Physics Letters A* 376 2658–2662.

6. Saikin A, Buznikov S and Karpukhin K 2016 The Analysis of Technical Vision Problems Typical for Driverless Vehicles. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 7 (4) 2053-9.

7. Kiss D and Papp D 2017 Effective navigation in narrow areas: a planning method for autonomous cars. *IEEE 15th Int. Symp. on Applied Machine Intelligence and Informatics* DOI: 10.1109/SAMI.2017.7880346.

8. Jeong E 2017 Evaluating the effectiveness of active vehicle safety systems. *Accident Analysis & Prevention* 100 85–96.

9. Buznikov S E 2018 System analysis of vehicle active safety problem. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 315 DOI: 10.1088/1757-899X/315/1/012005.

10. Zwicky F 1967 The morphological approach to discovery, invention, research and construction *New methods of thought and procedure* 273–297.

УДК 629.018

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

А.С. Чернышков, О.С. Яньков, Г.А. Безносков

Аннотация. *Статья посвящена исследованию причин возникновения относительной погрешности Δ при измерении тормозной силы F_T бесконтактным магнитострикционным методом, на силовых роликовых тормозных стендах, используемых для контроля технического состояния тормозных систем автотранспортных средств. Авторы статьи выдвигают предположение о том, что погрешность измерения Δ зависит от зазора δ_C , образующегося между поверхностью вала, на которой смонтирован магнитострикционный датчик и измерительными и намагничивающими катушками датчика. Исходя из этого предположения, было проведено экспериментальное исследование, направленное на выявление зависимости величины относительной погрешности Δ от зазора δ_C , порождающего биение вала δ_{max} внутри датчика. В результате исследования установлено, что при биении вала $\delta_{max} = 0,2$ мм погрешность измерения тормозной силы составляет $\Delta = 1,4$ %. Данная величина относительной погрешности Δ измерения тормозной силы не превышает предельно допу-*

стимого значения $\Delta = \pm 3\%$. При увеличении биения вала δ_{\max} внутри датчика происходит увеличение относительной погрешности Δ .

Ключевые слова: магнитоотрицательный датчик, относительная погрешность, тормозная сила, силовой тормозной стенд, измерение, зазор, напряжение.

Антон Сергеевич Чернышков - магистрант группы ТЭАм-17-1, ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, тел.: 8(950) 102-16-79, E-mail: aschernyshkov.s@mail.ru.

Олег Сергеевич Яньков - к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ, 664074, г. Иркутск; ул. Лермонтова 83, тел.: 8(343)361-74-81, E-mail: yos913005@mail.ru.

Геннадий Анатольевич Безносков - кандидат экономических наук, 620075, г. Екатеринбург, ул. Пушкина 9а, офис 115, тел.: 8(924) 837-66-58, E-mail: beznosov-ga@mail.ru.

Резюме

Для обеспечения безопасности в условиях эксплуатации современных автотранспортных средств (АТС) необходим контроль технического состояния их тормозной системы. Он выполняется как дорожными, так и стендовыми методами, но учитывая, что на результаты дорожного контроля тормозных систем значительное влияние оказывают климатические и погодные воздействия, стендовые испытания получили наибольшее распространение [3, 1].

Основным преимуществом таких методов выступает реализация ими принципа обратимости движения, суть которого заключается в том, что системы автомобиля функционируют так же, как в дорожных условиях, но сам автомобиль при этом остаётся неподвижным. Это повышает информативность и оперативность контроля тормозных систем АТС.

Большинство современных тормозных стендов имеют типовую конструкцию - они симметричны и состоят из двух одинаковых по конструкции механических блоков, каждый из которых приводит во вращение свое колесо диагностируемой оси автомобиля. В конструкции современных силовых стендов имеются отдельные блоки, содержащие по два опорных ролика, приводимых во вращение от индивидуального балансирного мотор-редуктора. Статоры балансирных мотор-редукторов опираются на тензометрические датчики измерения тормозных сил. Симметричность конструкции механических блоков современных стендов обеспечивает равные тестовые условия для правого и левого тормозящих колёс диагностируемой оси АТС [3].

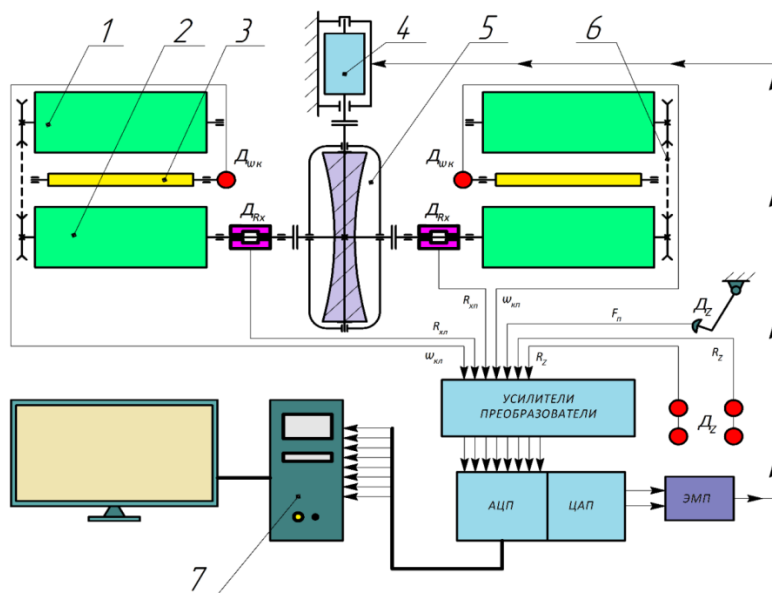
Анализ проблемы

Недостатком тензометрических датчиков, применяющихся в большинстве тормозных стендах, является присутствие сил трения в элементах привода, которые повышают погрешность их измерения. Экспериментальные исследования, проведённые на кафедре «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета, подтверждают это [6, 7].

Решить данную проблему можно используя бесконтактный метод измерения тормозных сил с применением магнитострикционных датчиков [8]. Схема стенда, реализующего такой метод, представлена на рис.1. Стенд представляет собой раму с двумя секциями, каждая из которых имеет один ведомый 2 и один приводной ролик 5, а также ролик следящей системы 3 с датчиком измерения скорости вращения колёс АТС.

Приводит устройство в действие электродвигатель 6, мощностью 7,5 кВт, который передаёт крутящий момент на валы ведущих опорных роликов 5, при помощи червячного редуктора 7. Червячный редуктор имеет передаточное число, при котором опорные ролики вращаются со скоростью движения автомобиля, приблизительно 4 км/час [5, 8].

Ведущие опорные ролики соединены цепной передачей 4 с ведомыми опорными роликами 2. Электродвигатель запускается с помощью электромагнитного пускателя, включение которого задаётся на компьютере [5].



1 – Ролик опорный ведомый; 2 – ролик опорный ведущий; 3 – ролик следящей системы; 4 – электродвигатель; 5 – редуктор червячный; 6 – цепная передача; 7 – компьютер.

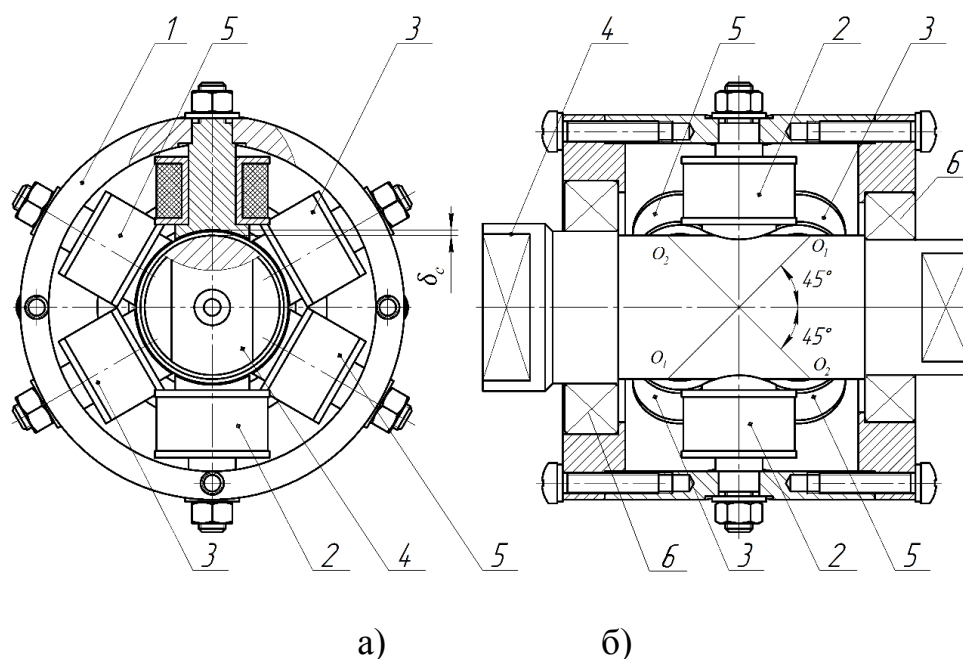
Рисунок 1 - Схема стенда, реализующего бесконтактный метод измерения тормозных сил

При этом привод опорных роликов осуществляется от единой силовой установки, что способствует одновременному синхронному включению и выключению привода стенда, а также синхронному вращению обоих колёс диагностируемого автотранспортного средства.

На валах, жестко соединённых с приводными роликами 5, установлены два бесконтактных магнестрикционных датчика D_{Rx} для измерения тормозных сил, передающих сигнал R_x , аналогично вышеупомянутым датчикам на монитор компьютера 1 [5, 8].

Магнестрикционная система измерения тормозной силы $F_{Tвключ}$ включает в себя магнестрикционные датчики, установленные на валах ведущих опорных роликов, а также плату усилителей и преобразователей сигналов.

Магнестрикционный датчик, представленный на рис. 2 выполнен в цилиндрическом металлическом корпусе 1, внутри которого вращается вал 4, передающий крутящий момент $M_{кр}$. В центре внутренней поверхности корпуса расположены две намагничивающие катушки 2. Рядом с ними, справа и слева расположены восемь катушек 3 и 5, измеряющих напряжения в металле вала 4, действующие вдоль главных осей $O_1 - O_1$ и $O_2 - O_2$. Все катушки, как намагничивающие 2, так и измерительные 3 и 5 установлены на сердечниках из магнитомягкой стали. Сердечники катушек жестко закреплены на корпусе 1 датчика так, что равно удалены от вращающегося вала 4 на величину зазоров $\delta_c = 0,4$ мм. Эти зазоры обеспечивают бесконтактное взаимодействие сердечников датчика с вращающимся валом 4 посредством магнитных полей, которые создают намагничивающие катушки 2 [4].



1 – Металлический корпус датчика; 2 – намагничивающие катушки датчика; 3 – катушки, измеряющие напряжения в металле вала вдоль оси

$O_1 - O_1$; 4 – вращающийся вал; 5 – катушки, измеряющие напряжения в металле вала вдоль оси $O_2 - O_2$; 6 – опорные подшипники; δ_C – зазор между поверхностью вала и сердечниками катушек.

Рисунок 2 - Магнитострикционный датчик

При использовании таких систем измерения не исключается вероятность погрешностей. Для повышения эффективности стендового контроля тормозных систем автотранспортных средств на роликовых стендах с магнитострикционными датчиками необходимо изучить факторы, влияющие на процесс измерения.

Была выдвинута гипотеза о том, что погрешность измерения зависит от зазора δ_C , между поверхностью вала 4, на которой смонтирован датчик, и измерительными 3, 5 и намагничивающими 2 катушками датчика, который, в свою очередь зависит от зазора δ_{max} при посадке вала в опорные подшипники 6. Зазор δ_{max} в местах посадки датчика может возникать из-за износа опорных подшипников, в результате чего вращение вала относительно сердечников датчика будет осуществляться с биением δ . Биение вала δ также может проявиться в процессе эксплуатации вследствие деформации вала (перегрузка, неправильный монтаж и т.д.) В связи с этим, было проведено экспериментальное исследование, выявляющее зависимость величины электрического сигнала системы измерения тормозной силы U_F от величины биения вала δ .

Методика проведения эксперимента

При проведении эксперимента использовался спроектированный и изготовленный магнитострикционный датчик [9]. Напряжение питания датчика U_D , стабилизированное, с частотой $\nu = 50$ Гц, по максимальной амплитуде составляет $U_D = 36$ В.

Для экспериментального исследования применялось два вала:

1. эталонный;
2. имитационный.

Эталонный вал (рис. 3) изготовлен с допусками s_b , с отсутствием зазора в опорных подшипниках при установке в датчик. Эталонный вал использовался для определения тарировочных коэффициентов a и b , а также для расчёта относительной погрешности Δ измерения тормозной силы F_T . Имитационный вал с уменьшенными посадочными диаметрами под опорные подшипники использовался для имитации зазоров δ_{max} .



Г и Д – поверхности вала, соприкасающиеся с опорными подшипниками.

Рисунок 3 - Внешний вид и чертеж эталонного вала

На крышку магнестрикционного датчика была нанесена шкала измерения (рис. 4) для определения угла поворота вала α_B . На торец вала была нанесена нулевая метка в виде стрелки для позиционирования вала. С помощью наборовщупов были имитированы требуемые величины биения вала. Было принято решение исследовать простое радиальное биение, при котором зазор δ_{max} между поверхностями вала Г и Д (рис. 3, а) и внутренними кольцами опорных подшипников равны, т.к. это самый распространённый тип зазора δ_{max} .

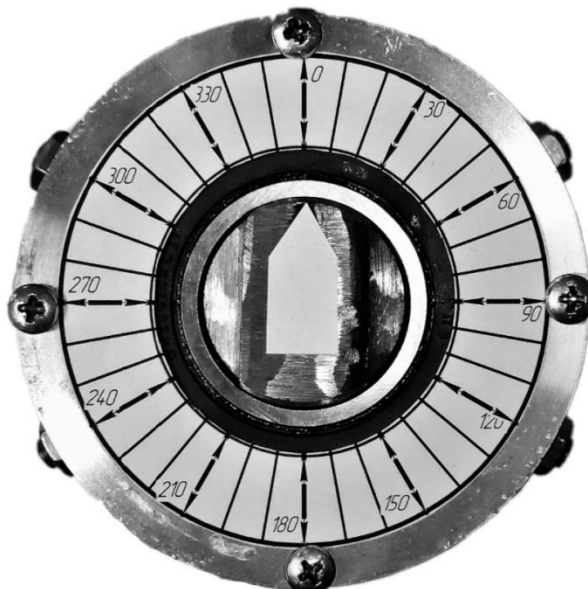


Рисунок 4 - Внешний вид датчика с нанесённой на его боковую крышку шкалой измерения угла поворота вала α_B

Для каждого положения поворота вала α_B с шагом 10 градусов производилось измерение напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы. По полученным данным построена зависимость изменения напряже-

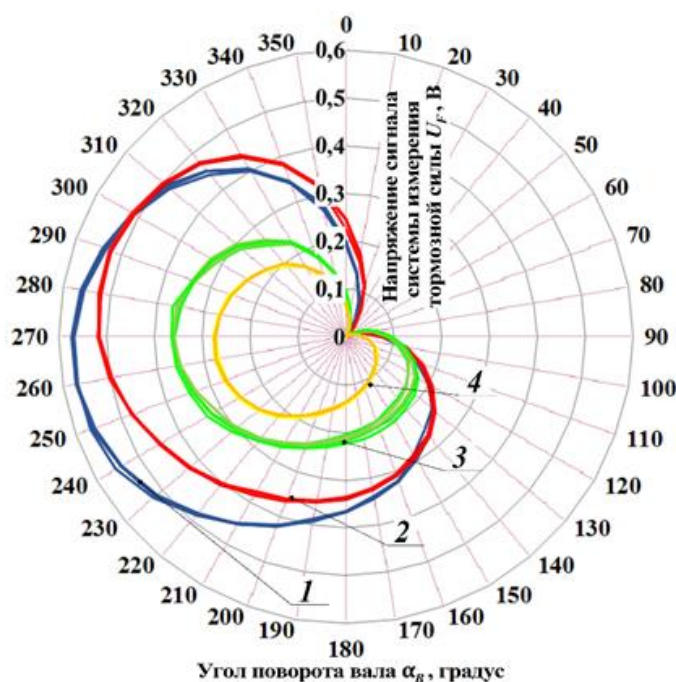
ния U_F сигнала системы измерения тормозной силы при изменении угла поворота вала α_B . По максимальным значениям изменений напряжений U_F с помощью коэффициентов a и b , полученных ранее в процессе тарирования датчика, рассчитана зависимость величины относительной погрешности измерения тормозной силы F_T от величины биения вала δ_{max} .

Результаты исследования и анализ

В ходе экспериментального исследования было проведено по 10 оборотов вала при различных зазорах δ_{max} между поверхностями вала Г и Д (рис. 3, а) и внутренними кольцами опорных подшипников. Величина зазора δ_{max} составила:

1. $\delta_{max} = 0,2$ мм;
2. $\delta_{max} = 0,4$ мм;
3. $\delta_{max} = 0,8$ мм;
4. $\delta_{max} = 1$ мм.

Зависимость изменения напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы от угла поворота вала α_B приведена на рисунке 5.



1 - Зависимость $U_F = f(\alpha_B)$, при $\delta_{max} = 0,2$ мм; 2 - зависимость $U_F = f(\alpha_B)$, при $\delta_{max} = 0,4$ мм; 3 - зависимость $U_F = f(\alpha_B)$, при $\delta_{max} = 0,8$ мм; 4 - зависимость $U_F = f(\alpha_B)$, при $\delta_{max} = 1$ мм.

Рисунок 5 - Зависимость изменения напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы от угла поворота вала α_B

Зависимость изменения максимального напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы от величины зазора δ_{max} изображена на рисунке 6.

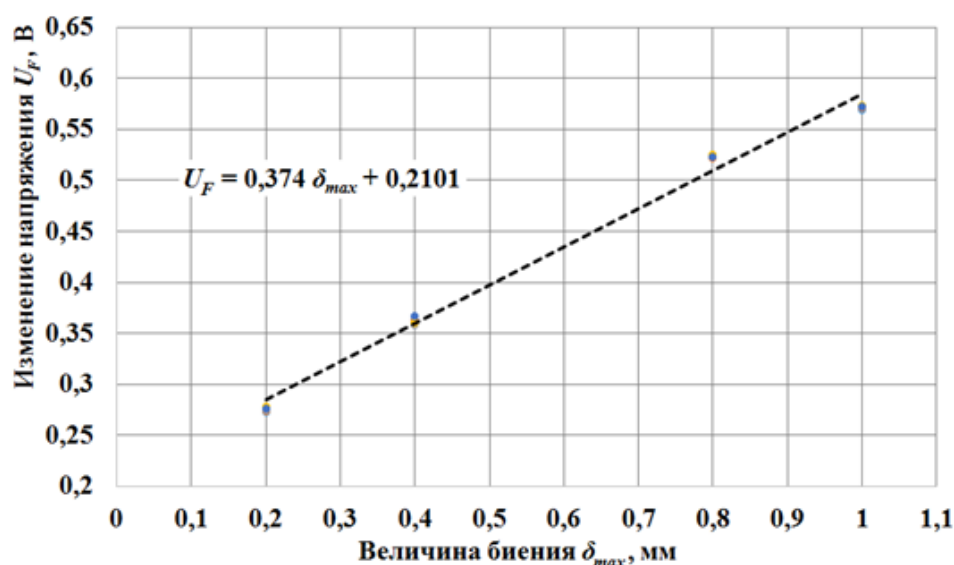


Рисунок 6 - Зависимость изменения максимального напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы от величины зазора δ_{max}

Напряжение U_F сигнала системы измерения тормозной силы по полученным с помощью эталонного вала тарировочным коэффициентам a и b было пересчитано в тормозную силу F_T по формуле

$$F_T = a \cdot U_F + b, \quad (1)$$

где a – тарировочный коэффициент, $a = 11885$;
 b – тарировочный коэффициент, $b = -3110,8$.

Из полученных значений по формуле 2 рассчитаем относительную погрешность Δ измерения тормозной силы F_T , вызванную биением вала

$$\Delta = \frac{F_T \cdot 100\%}{F_{Tmax}}, \quad (2)$$

где F_{Tmax} – максимальное значение F_T при тарировании датчика, $F_{Tmax} = 11,5$ кН.

Зависимость изменения относительной погрешности Δ измерения тормозной силы F_T от величины биения вала δ_{max} представлена на рисунке 7.

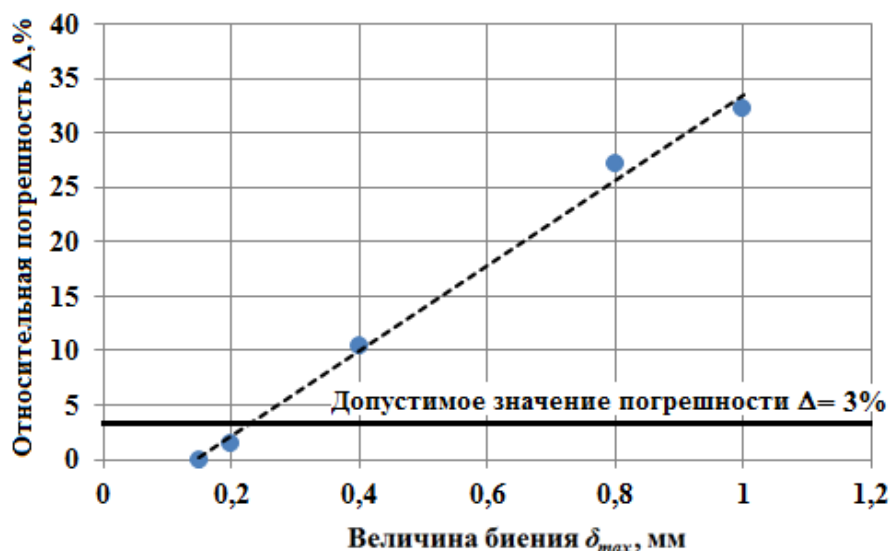


Рисунок 7 - Зависимость изменения относительной погрешности Δ тормозной силы F_T от величины биения вала δ_{max}

Из рисунка видно, что допустимое значение относительной погрешности $\Delta_{доп} = 1,4$, при котором относительная погрешность Δ измерения тормозной силы не выходит за пределы $\Delta = \pm 3\%$ [2].

Выводы

По результатам проведённого экспериментального исследования можно сделать следующие выводы.

1) Присутствие зазоров δ_{max} между поверхностями вала Г и Д (рис. 3, а) и внутренними кольцами опорных подшипников магнито-стрикционного датчика влечёт за собой появление нестабильности значения напряжения сигнала U_F системы измерения тормозной силы. При этом зависимость изменения напряжения U_F от величины зазора δ_{max} имеет линейный характер.

2) Изменение напряжения U_F сигнала системы измерения тормозной силы может достигать $\Delta U_F = 0,57$ В при зазоре $\delta_{max} = 1,0$ мм. Погрешность измерения тормозной силы при этом увеличится на $\Delta = 32,2\%$ по отношению к максимальному значению тормозной силы F_{Tmax} . Биение вала $\delta_{max} = 0,8$ мм вызовет изменение напряжения в системе измерения магнито-стрикционного датчика $\Delta U_F = 0,52$ В и увеличение погрешности измерений на $\Delta = 27,23\%$. Величина биения вала $\delta_{max} = 0,4$ мм приведет к изменению напряжения сигнала $\Delta U_F = 0,36$ В, при этом погрешность измерения тормозной силы увеличится на $\Delta = 10,47\%$. Нестабильность напряжения U_F сигнала в таких пределах влечёт за собой увеличение относительной погрешности Δ измерения тормозной силы F_T до $\Delta = 32,2\%$, что превышает предельно допустимую относительную погрешность измерения, которая составляет $\Delta = \pm 3\%$ [2].

3) Также при биении вала $\delta_{max} = 0,2$ мм возникает изменение напряжения системы измерения $\Delta U_F = 0,27$ В, в результате погрешность измерения тормозной силы возрастает на $\Delta = 1,4$ %. Данная величина относительной погрешности Δ измерения тормозной силы не превышает $\Delta = \pm 3\%$ [2], следовательно, биение вала $\delta_{max} = 0,2$ мм лежит в допустимом диапазоне.

Список используемой литературы

1. Бойко А.В.; Федотов А.И.; Халезов В.П.; Млынчак М. Анализ методов испытаний тормозов в безопасности транспортных средств // Безопасность и надежность: методология и применение - : Вроцлав, ПОЛЬША, 2015. – с.: 933-937

2. ГОСТ Р 51709-2001. Государственный стандарт Российской Федерации. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки" (утв. Постановлением Госстандарта России от 01.02.2001 N 47-ст) (ред. от 28.03.2006).

3. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" / А. И. Федотов; М-во образования и науки РФ, Иркутский гос. технический ун-т. Иркутск, 2012.-476 с.

4. Федотов А.И. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие. Изд-во ИрГТУ, Иркутск. – 2012. – 122 с.

5. Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю., Яньков О.С., Бойко А.В. / Патент на полезную модель №167143 // Стенд для контроля технического состояния тормозных систем колесных транспортных средств// Патентообладатель: ООО «Фритрейн», 6.12.2016 г.

6. Федотов А.И., Бойко А.В., Потапов А.С. Воспроизводимость результатов измерений параметров тормозной системы автомобиля на тормозном стенде с беговыми барабанами// Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования: сб. тр. международ. науч.-практ.конф. –Иркутск: ИрГТУ. 2007. - С.26-32.

7. Федотов А.И., Бойко А.В. Результаты экспериментальных исследований процесса торможения автомобиля на современном тормозном стенде СТМ 3500 // Актуальные проблемы эксплуатации машинотракторного парка, технического сервиса, энергетики и экологической безопасности в агропромышленном комплексе: сб. тр. мат.международ. науч.-практ.конф. посвященной 75-летию со дня рождения И.П. Терских. - Иркутск, 2007г. -С. 146-150

8. Яньков О.С., Кузнецов Н.Ю., Федотов А.И., Безносков Г.А. Стенд для контроля технического состояния тормозных систем колёсных транспорт-

ных средств// Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации:матер. 99-й междунаро.науч.-техн.конф. ААИ – Иркутск: ИРНТУ, 2017. - С.417-426.

9. Яньков О.С., Чернышков А.С. Совершенствование конструкции силоизмерительного магнитострикционного датчика тормозного стенда// Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация:матер. II-й Всерос.науч.-практ.конф. – Чита: ЗабГУ, 2018. - С.53-59.

УДК 629.113.001

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА
ФОРМИРОВАНИЯ БОКОВЫХ РЕАКЦИЙ МЕЖДУ
ЭЛАСТИЧНОЙ ШИНОЙ И ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
ПРИ ПЕРЕЕЗДЕ КОЛЕСА, ДВИЖУЩЕГОСЯ
С УГЛАМИ УВОДА, ЕДИНИЧНОЙ НЕРОВНОСТИ**

**Н.Ю. Кузнецов, А.И. Федотов, А.В. Лысенко,
Д.А. Тихов-Тинников, В.Г. Власов, А.М. Ишков**

***Аннотация.** В статье приведены результаты аналитического и экспериментального исследования процесса формирования боковых реакций R_y между эластичной шиной и опорной поверхностью при переезде колеса, движущегося с углом увода δ , единичной неровности.*

В данной работе были использованы стендовые методы экспериментального исследования процесса формирования боковых реакций R_y между эластичной шиной и опорной поверхностью при переезде колеса, движущегося с углом увода δ , единичной неровности.

Эксперименты были получены в стендовых условиях на специальном стенде, разработанном учеными кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального технического университета. Результаты экспериментов и расчета представлены в виде графиков.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при исследовании процесса формирования боковых реакций R_y между эластичной шиной и опорной поверхностью при переезде колеса, движущегося с углом увода δ , единичной неровности, необходимо рассматривать нестационарный режим качения колеса и учитывать колебания отдельных частей шин.

Ключевые слова: эластичная шина, боковая реакция, нормальная реакция, нестационарные характеристики, увод, единичная неровность, амортизатор.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: Kuznetsov92@mail.ru.

Александр Иванович Федотов - д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: fai.abs@rambler.ru.

Андрей Владимирович Лысенко - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: Kuznetsov92@mail.ru.

Дмитрий Анатольевич Тихов -Тинников - к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Автомобили», Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления, тел.: 8-3012-41-08-04, E-mail: dm_tt@mail.ru.

Валерий Георгиевич Власов - д.ф.-м.н., профессор кафедры «Математика», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-3952-40-51-76, E-mail: vlasov@istu.edu.

Александр Михайлович Ишков - д.т.н., Якутский научный центр СО РАН, тел.: 89142708367, E-mail: a.m.ishkov@prez.ysn.ru.

Современный автомобильный транспорт занимает важное место в нашей жизни, и прежде всего благодаря, доставке пассажиров и грузов «от двери – до двери». При всех очевидных достоинствах, автомобиль был и остается одним из самых опасных видов транспорта. Только за последние 3 года в России государственной инспекцией безопасности дорожного движения было зафиксировано около 527 тыс. ДТП, в результате которых погибло 62510 и ранено 667711 людей [1].

Большая часть ДТП происходит по причине потери автомобилем устойчивости и управляемости на больших скоростях. Управляемость и устойчивость автотранспортного средства (АТС) при движении под действием боковых сил зависит от стабильности сцепления его шин с дорогой [2, 3, 4]. Действие на АТС боковых сил сопровождается качением его колес с боковыми углами увода шин.

Значительное влияние на стабильность бокового сцепления шин с неровной дорогой при их качении с углами увода оказывает техническое состояние амортизаторов [5,6].

Боковое сцепление шин зависит от процессов формирования боковых R_y и нормальных R_z реакций в пятне контакта с опорной поверхностью.

Обычно качение эластичной шины с углами увода рассматривают в одном из двух режимов: стационарном (*установившемся*) и нестационарном (*неустановившемся*) [7]. При этом боковую реакцию R_y представляют

либо как функцию изменения угла увода шины: $R_Y=f(\delta)$; либо как функцию изменения проскальзывания в пятне контакта шины $R_Y=f(S)$ [8].

Стационарный режим качения колеса с эластичной шиной рассматривают с целью получения параметров, характеризующих процесс протекания функции проскальзывания $f(S)$. Такими параметрами являются: коэффициент бокового сцепления φ , коэффициент снижения сцепления f_b и удельный коэффициент сопротивления проскальзыванию η_s .

Нами предпринята попытка исследования процесса формирования боковых реакций R_Y в пятне контакта эластичной шины с опорной поверхностью при переезде колеса, движущегося с углом увода δ , единичной неровности в условиях эксплуатации АТС. Это сложный процесс. При этом учитывали динамику движения подрессоренной и неподрессоренной масс АТС, а также силы, действующие на колесо со стороны опорной поверхности.

В процессе исследования учитывали динамику частей шины в окрестности пятна контакта, которая имеет нестационарный характер, а также изменения силовых и кинематических параметров шины. Нестационарность режима работы колеса связана с неустановившимся режимом деформаций шины. Деформации шины не наклоненного колеса, как правило, определяются тремя параметрами: продольным x_k , боковым y_k линейными смещениями пятна контакта шины относительно диска колеса и углом поворота ψ_z пятна контакта относительно вертикальной оси (рис. 1.) [7].

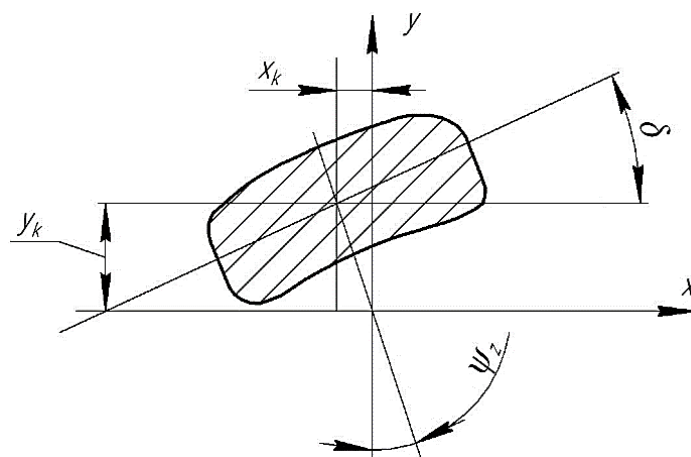


Рисунок 1 – Схема смещений пятна контакта шины с опорной поверхностью относительно диска колеса

Одним из важных условий проводимого исследования являлось отсутствие действия тормозного момента на процесс качения колеса с углами увода. Шина работала в ведомом режиме. Это позволило выявить наибольшие её потенциальные способности к созданию боковых реакций. Неустановившийся характер деформаций шины характеризовали скорости

её бокового \dot{y} и продольного смещения \dot{x}_k . Скоростью продольной деформации \dot{x}_k шины пренебрегали ввиду ее малости. Запоздыванием нарастания угла ψ_z поворота пятна контакта шины вокруг вертикальной оси также пренебрегали, поскольку не учитывали действие стабилизирующего момента.

Наиболее удобной для аналитического исследования данного процесса, по мнению авторов, является разработанная А.Б. Диком математическая модель, описывающая нестационарный режим качения колеса с эластичной шиной с уводом [7].

В работе Дика А.Б., описание процесса формирования боковой реакции в пятне контакта эластичной шины автомобильного колеса при его качении на нестационарных режимах, выглядит следующим образом [7]

$$R_Y = R_Z \cdot \varphi_y \cdot \sin \left(a \cdot \arctg \left(b \cdot \sin \delta - b \cdot \frac{\dot{y}_S}{V_X} \right) \right), \quad (1)$$

где R_Z – нормальная реакция, действующая от опорной поверхности на колесо,

φ_y – коэффициент бокового сцепления шины с опорной поверхностью;

δ – угол увода, \dot{y}_S – скорость смещения пятна контакта в боковом направлении,

V_X – скорость движения центра колеса,

a и b – коэффициенты, определяющие характер протекания функции проскальзывания $f(S)$ и зависящие от коэффициента снижения сцепных свойств f_b , а также от удельного коэффициента сопротивления проскальзыванию η_S [7].

Скорость \dot{y} смещения центра пятна контакта в боковом направлении определяли из уравнения описывающего динамику колебания отдельной части шины. В процессе проведения исследования выяснилось, что помимо колебаний отдельной части шины, не менее важно рассматривать колебания колеса в боковом направлении относительно подрессоренной массы АТС, которые возникают в результате упругих и неупругих деформаций сайлентблоков, направляющих элементов подвески (*рычагов*).

Для составления уравнения динамического равновесия системы была составлена расчетная схема (рис. 2.). Схема учитывает: упругие и демпфирующие характеристики элементов подвески (C_{YD} и K_{YD}) и шины (C_Y и K_{YS}), массу колеса m_k и часть массы шины m_S в окрестности пятна контакта, а также боковые реакции R_Y и R_{YD} , действующие от опорной поверхности на колесо, и от колеса на подрессоренную массу.

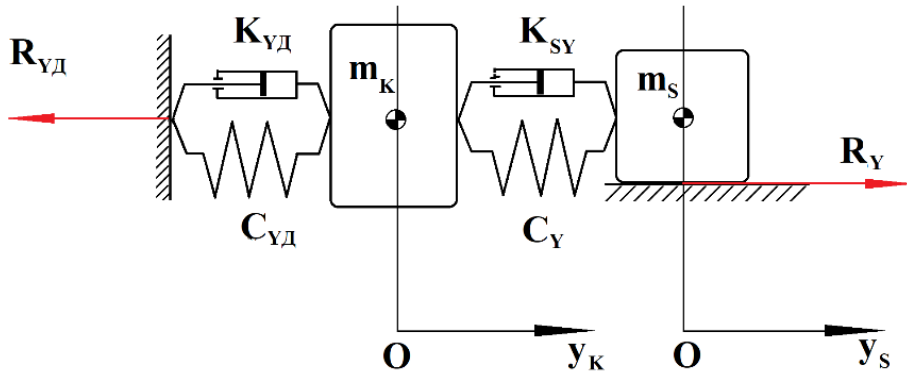


Рисунок 2 – Расчетная схема колебательной системы колеса с эластичной шиной под действием боковых сил

На основании схемы (рис. 2) уравнение динамического равновесия рассматриваемой системы, составленное по принципу Даламбера [9] записано в виде

$$\begin{cases} R_Y - C_Y \cdot (y_S - y_K) - K_{SY} \cdot (\dot{y}_S - \dot{y}_K) - m_S \cdot \ddot{y}_S = 0 \\ C_Y \cdot (y_S - y_K) + K_{SY} \cdot (\dot{y}_S - \dot{y}_K) - C_{YD} \cdot y_K - K_{YD} \cdot \dot{y}_K - m_K \cdot \ddot{y}_K = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где C_Y – динамическая боковая жесткость шины;
 K_{SY} – коэффициент демпфирования шины;
 C_{YD} – жесткость направляющих элементов подвески;
 K_{YD} – коэффициент демпфирования направляющих элементов подвески;
 m_K – масса колеса с эластичной шиной;
 m_S – масса отдельной, колеблющейся части шины при «срыве» пятна контакта.

Решение уравнений системы (2), относительно старших производных (численным методом Эйлера) [10], позволяет получать скорости и перемещения пятна контакта шины и обода колеса в боковом направлении в i -ый момент времени. Так скорость смещения центра пятна контакта шины в боковом направлении найдем как

$$\dot{y}_{Si} = \dot{y}_{Si-1} + \ddot{y}_{Si} \cdot dt. \quad (3)$$

Смещение центра пятна контакта шины в боковом направлении

$$y_{Si} = y_{Si-1} + \dot{y}_{Si} \cdot dt. \quad (4)$$

Скорость смещения центра колеса в боковом направлении

$$\dot{y}_{Ki} = \dot{y}_{Ki-1} + \ddot{y}_{Ki} \cdot dt . \quad (5)$$

Смещение центра колеса в боковом направлении

$$y_{Ki} = y_{Ki-1} + \dot{y}_{Ki} \cdot dt . \quad (6)$$

Боковую реакцию ,действующую от колеса на подрессоренную массу, найдем по формуле

$$R_{yD} = C_{yD} \cdot y_K - K_{yD} \cdot \dot{y}_K . \quad (7)$$

Нормальная реакция R_Z , действующая со стороны опорной поверхности на колесо при его качении и переезде единичной неровности, может изменяться в широком диапазоне. Она зависят от вертикальной нагрузки на колесо F_K , упругих и неупругих характеристик шины и геометрических параметров единичной неровности.

Для математического описания процесса изменения нормальной реакции R_Z на колесе при возмущающем воздействии дороги при переезде им единичной неровности, составлена расчетная схема, представленная на рис. 3.

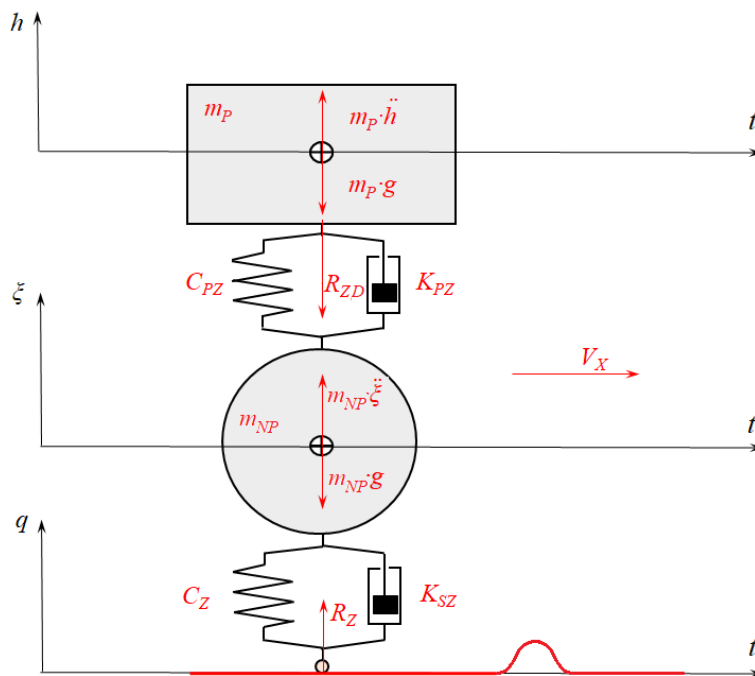


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения нормальной реакции при переезде колесом с эластичной шиной единичной неровности

Схема учитывает упругие и демпфирующие характеристики элементов подвески (C_{PZ} и K_{PZ}) и шины (C_Z и K_{SZ}). Колебания неподрессоренной и поддрессоренной масс (m_H и m_P) и изменение нормальных реакций R_Z и R_{ZD} , действующих от опорной поверхности на неподрессоренную массу, и от неподрессоренной на поддрессоренную массу соответственно.

Используя расчетную схему (рис. 3) определяли нормальную реакцию R_Z , по формуле

$$R_Z = C_Z \cdot (\xi_i - q_i + \Delta_S) + K_{SZ} \cdot (\dot{\xi}_{zi} - \dot{q}_i), \quad (8)$$

где Δ_S – статический прогиб шины;

ξ_i – вертикальное перемещение неподрессоренной массы;

q_i – ордината профиля дороги с единичной неровностью;

$\dot{\xi}_{zi}$ – скорость вертикального перемещения неподрессоренной массы;

\dot{q}_i – первая производная функции, описывающей профиль дороги с единичной неровностью;

K_{SZ} – коэффициент демпфирования шины в радиальном направлении.

Нормальную реакцию R_{ZD} определяли по формуле

$$R_{ZDi} = C_{PZ} \cdot (h_i - \xi_i + \Delta_P) + F_{Di}, \quad (9)$$

где Δ_P – статический прогиб подвески;

h_i – вертикальное перемещение поддрессоренной массы;

F_D – сила сопротивления амортизатора.

Математическое описание взаимодействия шины с единичной неровностью, представим в виде сглаживающей функции [11,12]

$$q = \frac{q_o}{2} \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t_q}{T} \right) \right), \quad (10)$$

где q_o – максимальное значение ординаты функции, описывающей профиль дороги с единичной неровностью,

t_q – значение времени с начала взаимодействия шины с единичной неровностью;

T – период гармонической функции, описывающей профиль дороги с единичной неровностью

$$T = \frac{l_0}{V_X} = t_{\max}, \quad (11)$$

где l_0 – длина волны гармонической функции.

Для определения кинематических параметров колебательного процесса подрессоренной m_P и неподрессоренной m_{NP} масс по схеме (рис. 3), составили систему, включающую уравнения динамического равновесия для подрессоренной и неподрессоренной масс, составленных согласно принципу Даламбера [9]

$$\begin{cases} m_P \cdot \ddot{h} = m_P \cdot g - C_{PZ} \cdot (h - \xi + \Delta_p) - F_D \\ m_{NP} \cdot \ddot{\xi} = m_{NP} \cdot g + C_{PZ} \cdot (h - \xi + \Delta_p) + F_D - p_{OK} \cdot (C_Z \cdot (\xi - q + \Delta_s) + K_{SZ} \cdot (\dot{\xi} - \dot{q})) \end{cases}, \quad (12)$$

где m_P – подрессоренная масса;

\ddot{h} – ускорение подрессоренной массы по оси OZ;

g – ускорение свободного падения;

m_{NP} – неподрессоренная масса;

$\ddot{\xi}$ – ускорение неподрессоренной массы.

Расчет сил сопротивления амортизатора F_D (рис. 4.) будем выполнять на основе кусочно-линейной функции вида [13, 14]

$$F_D = \begin{cases} F_{D1}(V_A), & V_A \leq V_1 \\ F_{D2}(V_A), & V_1 < V_A \leq 0 \\ F_{D3}(V_A), & 0 < V_A \leq V_2 \\ F_{D4}(V_A), & V_A \geq V_2 \end{cases}, \quad (13)$$

где V_1 – скорость поршня амортизатора относительно стенок его цилиндра, при которой происходит открытие/закрытие перепускного клапана на ходе отбоя;

V_2 – скорость поршня амортизатора относительно стенок его цилиндра, при которой происходит открытие/закрытие перепускного клапана на ходе сжатия;

V_A – скорость перемещения поршня амортизатора относительно стенок его цилиндра.

Скорость перемещения поршня амортизатора V_A найдем как первую производную деформации подвески Δ_{PD}

$$V_A = \dot{\Delta}_{PD} = \dot{h} - \dot{\xi}, \quad (14)$$

где $\dot{\xi}$ – вертикальная скорость перемещения неподрессоренной массы; \dot{h} – вертикальная скорость перемещения поддрессоренной массы.

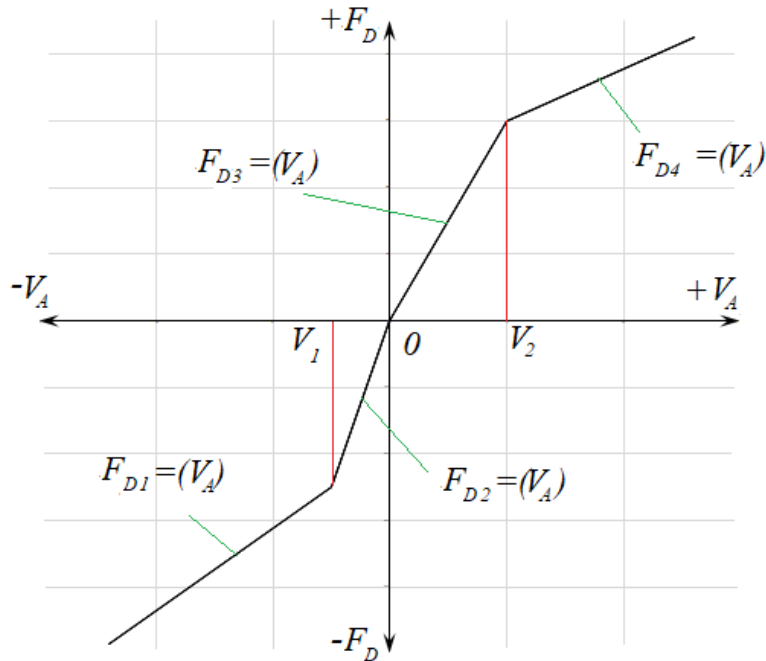


Рисунок 4 – График кусочно-линейной функции

Решение дифференциальных уравнений выполняли численным методом Эйлера[11]. Скорость перемещения поддрессоренной массы в вертикальном направлении в i -ый момент времени определим по формуле

$$\dot{h}_i = \dot{h}_{i-1} + \ddot{h}_i \cdot dt, \quad (15)$$

Тогда перемещение поддрессоренной массы находим по формуле

$$h_i = h_{i-1} + \dot{h}_i \cdot dt, \quad (16)$$

Аналогично, скорость перемещения неподрессоренной массы по оси в i -ый момент времени определим по формуле

$$\dot{\xi}_i = \dot{\xi}_{i-1} + \ddot{\xi}_i \cdot dt, \quad (17)$$

Перемещение неподрессоренной массы вычислим по формуле

$$\xi_i = \xi_{i-1} + \dot{\xi}_i \cdot dt, \quad (18)$$

Для проверки адекватности математического описания процесса формирования боковых реакций были проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования процесса переезда колеса с эластичной шиной через единичную неровность выполняли на специально разработанном и изготовленном авторами стенде (рис. 5), на базе шинного тестера с беговым барабаном, описание конструкции которого и принцип работы более подробно описаны в работах [5, 15].

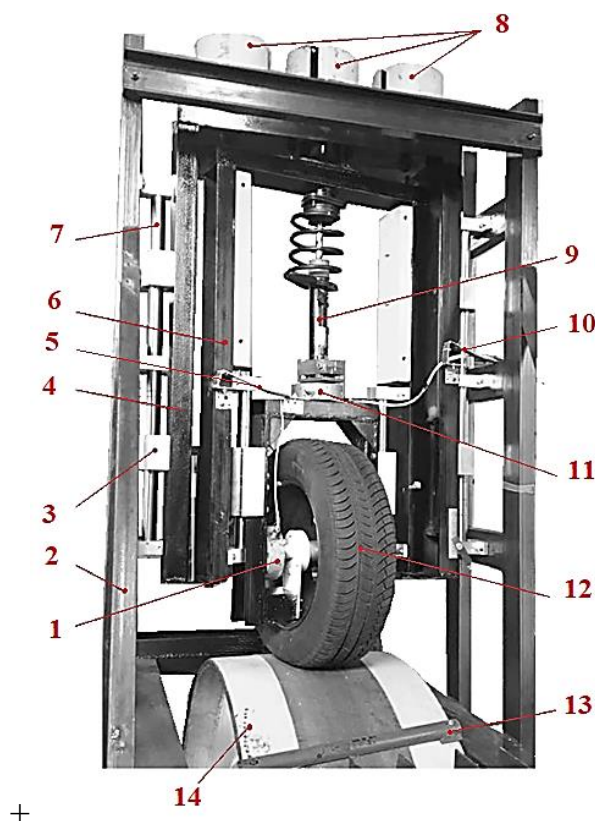


Рисунок 5 – Стенд для исследования процесса переезда колеса с эластичной шиной через единичную неровность

Кинематика и силовой баланс разработанного стенда (рис. 5) эквивалентны кинематике и силовому балансу независимой подвески автомобиля. Стенд имеет неподдрессоренную и поддрессоренную массы, соединенные между собой направляющим аппаратом, амортизатором и упругим элементом. Вес поддрессоренной массы $G_{\text{п}} = 3090$ Н, жесткость пружины 26000 Н/м.

На беговой дорожке барабана 14 (рис. 5) по которой, катится колесо с эластичной шиной 12, закреплена неровность 13. В процессе экспериментального исследования использовалась летняя шина фирмы *MICHELIN*

195/65 R15 и единичная неровность прямоугольного профиля, размером 50 × 25 мм.

Нормальную R_Z и боковую R_Y реакции, действующую на колесо «в чистом виде», определить очень трудно. Поэтому измеряли нормальную реакцию, действующую от неподрессоренной массы на поддрессоренную R_{ZD} , и боковую реакцию, действующую от колеса на поддрессоренную массу R_{YD} .

На рисунке 6 представлены результаты расчета и эксперимента, полученные при исследовании процесса переезда колесом с эластичной шиной MICHELIN 195/65 R15, движущемся с углом увода $\delta 2$ градуса, через единичную неровность прямоугольного профиля с исправным амортизатором передней подвески автомобиля Ford Focus.

Математическое описание рабочей характеристики нового, технически исправного амортизатора представлено в виде

$$F_D = \begin{cases} 1226,8 \cdot V_A - 376,32, & V_A < -0,1 \\ 5000 \cdot V_A, & -0,1 \leq V_A < 0 \\ 3000 \cdot V_A, & 0 \leq V_A < 0,2 \\ 781,25 \cdot V_A - 443,75, & 0,2 \leq V_A \end{cases} ; \quad (19)$$

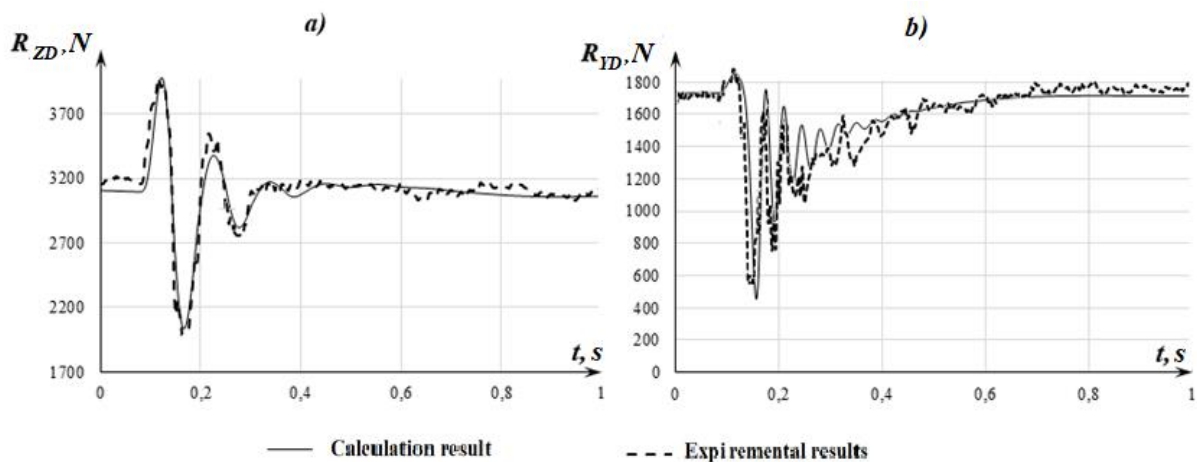


Рисунок 6 – Графики процесса переезда колесом с эластичной шиной MICHELIN 195/65,R15, движущемся с углом увода 2 градуса, через единичную неровность прямоугольного профиля с исправным амортизатором передней подвески автомобиля Ford Focus:

а) график нормальной реакции, действующей от неподрессоренной массы на поддрессоренную R_{ZD} ; б) график боковой реакции, действующей от колеса на поддрессоренную массу R_{YD}

Приведенные на рис. 7. графики убедительно показывают, что результаты расчета реакций R_{YD} и R_{ZD} адекватны результатам эксперимента как качественно, так и количественно. Поэтому результаты расчета боковой R_Y и нормальной R_Z реакций (рис. 7), действующих от опорной поверхности на колесо, будем считать достоверными.

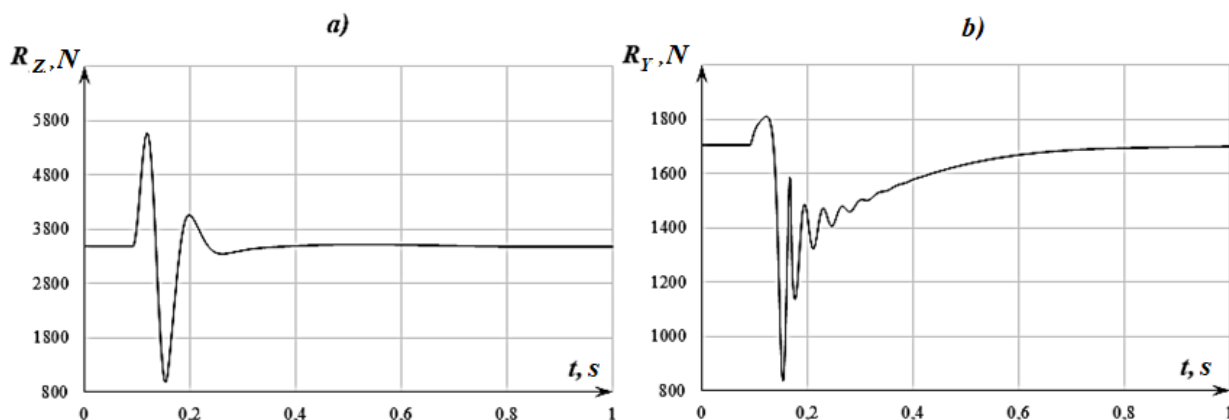


Рисунок 7 – Графики процесса переезда колесом с эластичной шиной MICHELIN 195/65,R15 , движущемся с углом увода 2 градуса, через единичную неровность прямоугольного профиля с исправным амортизатором передней подвески автомобиля Ford Focus:
 а) график нормальной реакции R_Z , в пятне контакта шины с опорной поверхностью; б) график боковой реакции R_Y , в пятне контакта шины с опорной поверхностью

Выводы

На формирование боковых реакций R_Y между эластичной шиной и опорной поверхностью в процессе переезде колеса, движущегося с углом увода δ , через единичную неровность в условиях эксплуатации АТС значительно влияют динамические процессы колебаний поддрессоренной и не-поддрессоренной масс, отдельных частей шины, а также техническое состояние амортизатора и сцепных свойств пары «шина-дорога».

Разработанное математическое описание позволяет проводить аналитическое исследование динамических процессов формирования боковой R_Y и нормальной R_Z реакций между эластичной шиной и опорной поверхностью при переезде колесом, движущимся с углом увода δ через единичную неровность. Оно учитывает влияние на исследуемый процесс сцепных характеристик шин и технического состояния амортизаторов.

Относительные погрешности расчета на математической модели кинематических и силовых параметров исследуемого процесса не превышают 1,5 – 3,2%.

Список использованной литературы

10. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения <http://stat.gibdd.ru> /дата посещения сайта 29.11.2018
11. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 9–10 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 232–238.
12. Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Измерительный комплекс с гироскопами для диагностирования элементов подвески в дорожных условиях. Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск 13–16 апреля 2016 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. С. 186–191
13. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И. Стенд для исследования влияния технического состояния амортизаторов на сцепление шины с опорной поверхностью // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 20–22 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. С. 442–451.
14. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Зедгенизов В.Г. / Экспериментальное исследование процесса переезда автомобилем единичной неровности / Вестник Иркутского государственного технического университета г. Иркутск 2017, №11 С 191 – 198.
15. Федотов А.И., Д.А. Тихов-Тинников, А.В. Лысенко Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по поперечному уклону. Журнал Автомобильных инженеров №6 2015 г., С 51-53.
16. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: Сибирский автомобильно-дорожный институт, 1988. 187 с. 20.
17. Федотов А.И. / Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей / Учебник Издательство Иркутского национального исследовательского технического университета г. Иркутск, 2016 г. 288 С.
18. Берестова С.А., Денисов Ю.В / Принцип Даламбера. Инженерные задачи / учебное пособие, г. Екатеринбург Издательство уральского университета 2016 г., 96 С.
19. В.И. Мышенков, Е.В. Мышенков / Численные методы часть вторая Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений /

Издательство Московского государственного университета леса, Москва – 2005, 109 С.

20. Невалин Д.Г., Новосёлов Л.И. Математическое моделирование динамического процесса в подвески полуприцепа // Транспорт урала. 2014. №4 (42). С. 119-122.

21. А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев и др. / Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель /; Под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.

22. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. М.: Машиностроение, 1969. 236 с.

23. А.Ф. Дубровский, А.С. Алюков, С.В. Алюков, К.В. Прокопьев / Сравнительный анализ методов аппроксимации рабочей характеристики упругого элемента подвески автомобиля/ Вестник ЮУрГУ. Серия машиностроение. 2017 г., DOI: 10.14529/engin170401, С. 5-12.

24. Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю. Шинный тестер с беговым барабаном для исследования характеристик шин// Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 9–10 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 138–147.

УДК 629.113.001

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ УВОДУ ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН

И.С. Прокопьев, Н.Ю. Кузнецов, Е.М. Портнягин

***Аннотация.** В данной статье приведено описание методик экспериментального исследования коэффициента сопротивления уводу эластичных шини оборудования для ее реализации. Разработанные методики позволяют определять коэффициент сопротивления боковому уводу K_δ как функциональную зависимость от нормальной нагрузки, приходящейся на колесо R_z , окружной скорости опорной поверхности бегового барабана V_K . Также в данной статье представлены некоторые результаты экспериментального исследования в виде графиков и функциональных зависимостей.*

Ключевые слова: *нестационарные характеристики шины, шинный тестер, эластичная шина, методика экспериментального исследования, коэффициент сопротивления уводу.*

Игорь Сергеевич Прокопьев - магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-096-06-31, E-mail: Igor130196@yandex.ru.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: Kuznetsov92@mail.ru.

Евгений Михайлович Портнягин - к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-120-61-61, E-mail: ewpro38@gmail.com.

Ежегодно на дорогах России в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) гибнет и получают ранения большое количество людей [1]. Большая часть ДТП происходит по причине потери управляемости и устойчивости автотранспортных средств на больших скоростях в ходе выполнения маневров.

Непосредственное влияние на поведение автомобиля, на его параметры управляемости и устойчивости оказывают характеристики увода эластичных шин автомобильных колес. Характеристики увода шин обычно представляют в виде зависимости изменения боковой реакции от угла увода. При выполнении АТС маневров значения углов увода шин не являются постоянными, поскольку на него влияют переменные боковые силы. Поэтому в данном случае работа шин будет иметь нестационарный характер, связанный с неустановившимся режимом их деформаций.

Изучению нестационарных характеристик шин посвятили свои работы такие ученые, как: Антонов Д.А., Балакин В.Д., Бухин Б.Л., Ечеистов Ю.А., Келдыш М.В., Дик А.Б., Литвинов А.С., Певзнер Я.М., Петров М.А., Малюгин П.Н., Морозов Б.И., Фуфарев Н.А., Bergman W., Brewer N.K., Ellis D.R., Расејка Н.В. и многие другие советские и зарубежные ученые.

Ранее проведенные исследования показали, что связь между боковой реакцией и углом увода характеризуется зависимостями, представленными на рис. 1.

В зоне 1 «чистого увода» (рис. 1) между боковой реакцией и углом увода имеет место практически линейная зависимость [3]

$$R_Y = \delta_p \cdot K_\delta, \quad (1)$$

Математическое описание данной характеристики Д.А. Антонов предлагает представлять в виде выражения [2]

$$R_Y = K_\delta \cdot \delta \cdot (1 - e^{-V_x \cdot \delta / (10L_k \cdot \delta)}) , \quad (2)$$

где K_δ – коэффициент сопротивления боковому уводу шины;
 V_x – продольная скорость оси колеса;
 L_K – длина пятна контакта шины с опорной поверхностью

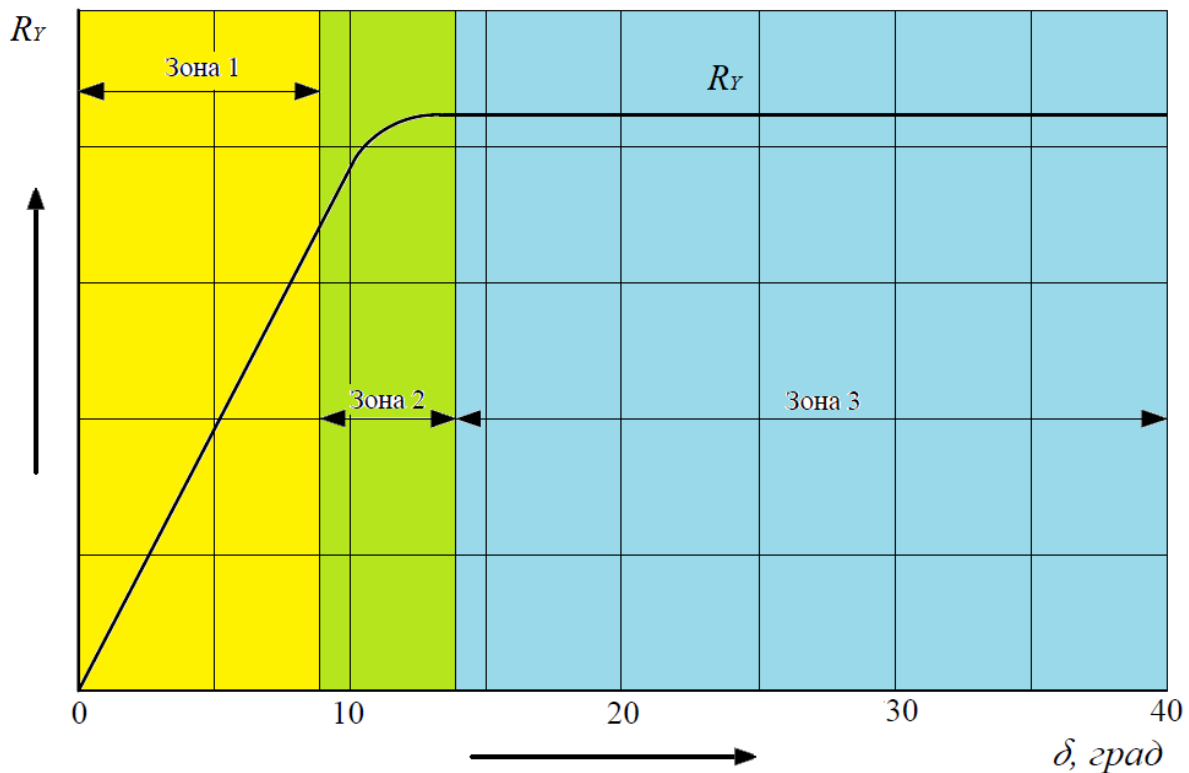


Рисунок 1 - Графики зависимостей боковых реакций эластичной шины от углов увода (стационарные характеристики)

Коэффициент сопротивления уводу K_δ зависит от конструкции шины, материала, из которого она изготовлена; нормальной реакции, действующей от опорной поверхности на колесо R_z ; скорости качения V_x , а также износа шины Δ_{III} . С целью выявления зависимости $K_\delta = f(R_z, V_x, \Delta_{III})$ авторами была разработана соответствующая методика и реализующее ее оборудование.

В качестве базового оборудования, для реализации методики, был выбран шинный тестер с беговым барабаном, разработанный в лаборатории диагностики, кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ [4]. Для обеспечения стабильности характеристик сцепления поверхность бегового барабана покрыта специальным фрикционным покрытием [5]. Схема шинного тестера приведена на рисунке 2.

Необходимый крутящий момент для поддержания стабильной окружной скорости поверхности барабана, обеспечивает электродвигатель

1 мощностью $N = 55$ кВт. Передача мощности от двигателя на барабан осуществляется через фрикционное дисковое сцепление 2, пятиступенчатую коробку передач 3 (от автомобиля Зил-130) и цепную передачу 4.

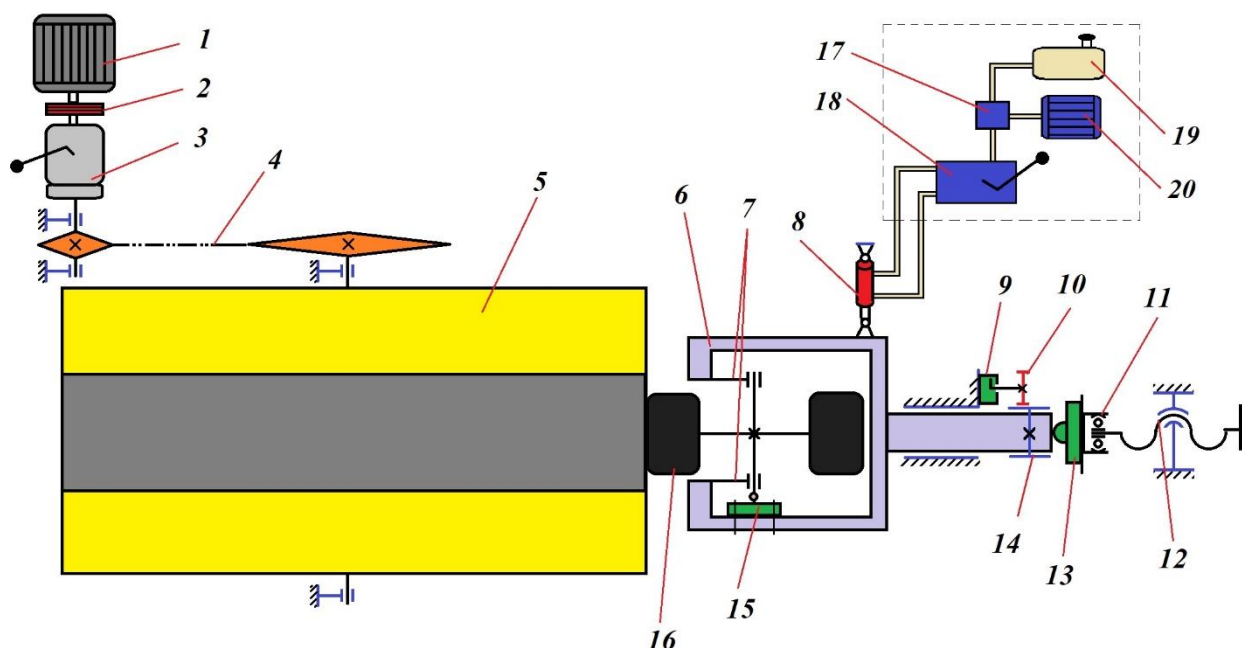


Рисунок 2 - Схема шинного тестера для исследования для исследования характеристик шин

Значения окружных скоростей поверхности бегового барабана 5 при разных передачах, установленных на коробке приведены в таблице 1 (рис.1.).

Таблица 1 – Значения окружных скоростей при разных передачах установленных на коробке передач

Передача на коробке	Окружная скорость поверхности бегового барабана V_x , км/ч
1	14,4
2	24,5
3	45
4	53,6
5	62

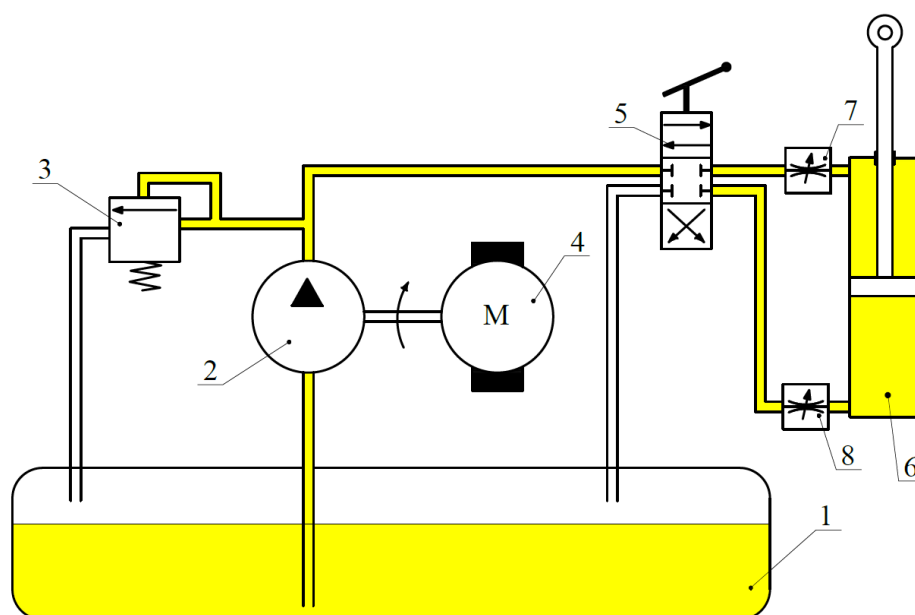
Нагружение колеса 16 с эластичной шиной нормальной нагрузкой обеспечивает нагружающий механизм «винт-гайка» 12. При вращении винта датчик системы измерения нормальной реакции 13, закрепленный на подшипниковом узле 11, давит на торцевую поверхность вала поворотной

вилки 6, в результате чего последняя перемещается в сторону барабана 5, нагружая колесо 16 нормальной нагрузкой. В ответ на это действие опорная поверхность барабана 5 передает нормальную реакцию R_Z на колесо. Диапазон изменения нормальной нагрузки составляет от 0 Н до 7000 Н.

Колесо 16, может поворачиваться вместе с вилкой 6, относительно ее оси на углы, соответствующие углу увода шины δ . Регистрацию значения угла увода выполняет электронная система измерения, которая включает в свою конструкцию: датчик-потенциометр 9; ведущую шестерню 14, жестко закрепленную на оси поворотной вилки; ведомую шестерню 10, которая связана осью с бегунком потенциометра.

Пластины крепления подшипников 7 вращения колеса 16 выполнены из тонкой стали и поэтому могут деформироваться при воздействии на колесо боковой силы, перемещая колесо 16 в боковом направлении. Это дает возможность измерения боковой реакции R_Y при помощи тензометрического датчика ДСТ 9035 15, который жестко соединен с осью колеса 16 (рис.1).

Поворот вилки с колесом на угол δ осуществляется при помощи гидроцилиндра двухстороннего действия 6. Управление работой нагружающих гидроцилиндров осуществляется от гидростанции, схема которой представлена на рис. 3.



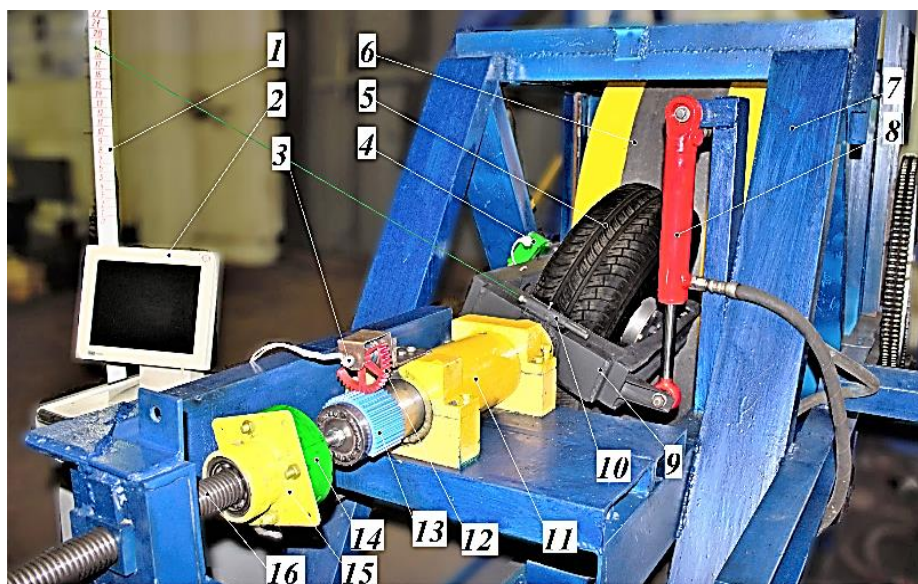
1 – Ёмкость с гидрожидкостью; 2 – гидравлический насос; 3 – предохранительный клапан; 4– электромотор; 5 – распределитель управляющий работой гидроцилиндра; 6 – гидроцилиндр; 7,8 –дрессели.

Рисунок 3 - Гидравлическая схема управления работой гидроцилиндра для задания угла увода шины

В емкости 1 содержится рабочая гидрожидкость. Давление жидкости в гидросистеме создает гидравлический насос 2, приводимый в действие электромотором 4. Управление работой нагружающего гидроцилиндра осуществляет оператор, посредством переключения золотника распределителя 5. Для регулировки скорости задания угла увода предусмотрены дроссели 7 и 8.

В случае повышения давления гидрожидкости в системе защитную функцию выполняет предохранительный клапан 3, сбрасывающий избыточное давление из магистрали высокого давления в бак 1.

Сигналы с датчиков ДСТ 9035 систем измерения нормальной и боковой реакций, действующих от опорной поверхности на колесо и с датчика-потенциометра поступают на операционный усилитель ZET 410, после чего усиленный аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь, а затем в цифровом коде поступает на персональный компьютер со специальным программным обеспечением Zetlab [6].



1 – Проградуированная шкала; 2 – персональный компьютер; 3 – датчик системы измерения угла увода; датчик системы измерения боковой реакции ДСТ 9035; 5 – колесо с эластичной шиной; 6 - беговой барабан с полимерным покрытием; 7 – рама станда; 8 гидроцилиндр; 9 – поворотная вилка; 10 лазер; 11 – направляющая втулка поворотной вилки; 12 и 13 – ведущая и ведомая шестерня системы измерения угла увода; 14 – датчик системы измерения нормальной реакции; 15 – опора датчика системы измерения нормальной реакции; 16 – нагружающий винт механизма винт гайка.

Рисунок 4 - Общий вид станда для исследования характеристик эластичных шин по уводу

Методика проведения экспериментального исследования нестационарных характеристик шин

Подготовка шин к испытаниям проводилась в соответствии с требованиями стандарта [7]. Прогрев шин перед испытаниями не производился, поскольку температура шины (плюс 20 ... 25 °С), была равна температуре воздуха в лаборатории.

Был разработан следующий порядок выполнения операций для проведения испытаний:

1) Подготовить шинный тестер к проведению испытаний (визуальный осмотр, проверка подшипниковых соединений, контроль уровня масла в кпп и в емкости гидрожидкости)

2) Запустить программу Zetlab на персональном компьютере

3) Подготовить программу к проведению экспериментального исследования. Включить режима отображения осциллографа, включить многоканальный режим, вывод сигналов датчиков (датчик нормальной реакции, датчик боковой реакции, датчик измерения угла увода)

4) Включить необходимую передачу коробки 3 (рис. 2)

5) Запустить электромотор гидростанции

6) Установить поворотную вилку в начальное положение (угол увода шины δ равен нулю) с помощью гидроцилиндра 8 (рис. 2)

7) Установить необходимую нормальную нагрузку на колесо при помощи механизма «винт-гайка»

8) Запустить электродвигатель (отключить сцепление, запустить электродвигатель, затем плавно включить сцепление)

9) При помощи гидроцилиндра задать угол 5-6°, затем вернуть колесо в начальное положение.

10) Зарегистрированные сигналы, полученные с датчиков, сохранить на жесткий диск персонального компьютера. Название файла должно содержать значения параметры тестового воздействия (например: нестационарные характеристика шины BELSHINABEL337 скорость 1, нагрузка 1500 Н)

11) Выдерживать режим качения колеса по опорной поверхности бегового барабана без угла увода в течение 5 минут – это необходимо для поддержания стабильной рабочей температуры беговой дорожки шины и исключения её перегрева.

12) Повторить процедуру по пунктам 7, 9, 10, при этом каждый раз увеличивать нормальную нагрузку на 500 Н. Выполнять до того момента, пока значение нормальной нагрузки не приблизится к величине, составляющей 80% от максимально-допустимой для испытуемой шины (установленной заводом-изготовителем; определяется по индексу нагрузки).

13) Выключить электромотор гидростанции

14) Выключить питание электродвигателя на 30 мин.

15) Повторить процедуру с пункта 4 по пункт 14, на необходимых скоростных режимах (таб. 1)

Следующим этапом методики является построение нестационарных характеристик для каждого из режимов качения колеса, определяемых нормальной реакцией и окружной скоростью поверхности бегового барабана. Нестационарные характеристики шины обычно представляют в виде графиков функциональной зависимости установившихся значений боковых реакций от угла увода $R_y=f(\delta)$. В качестве примера на рисунке 5 представлены нестационарные характеристики шины BELSHINABEL 337M+S 195/65 R15, полученные в результате исследования по разработанной методике.

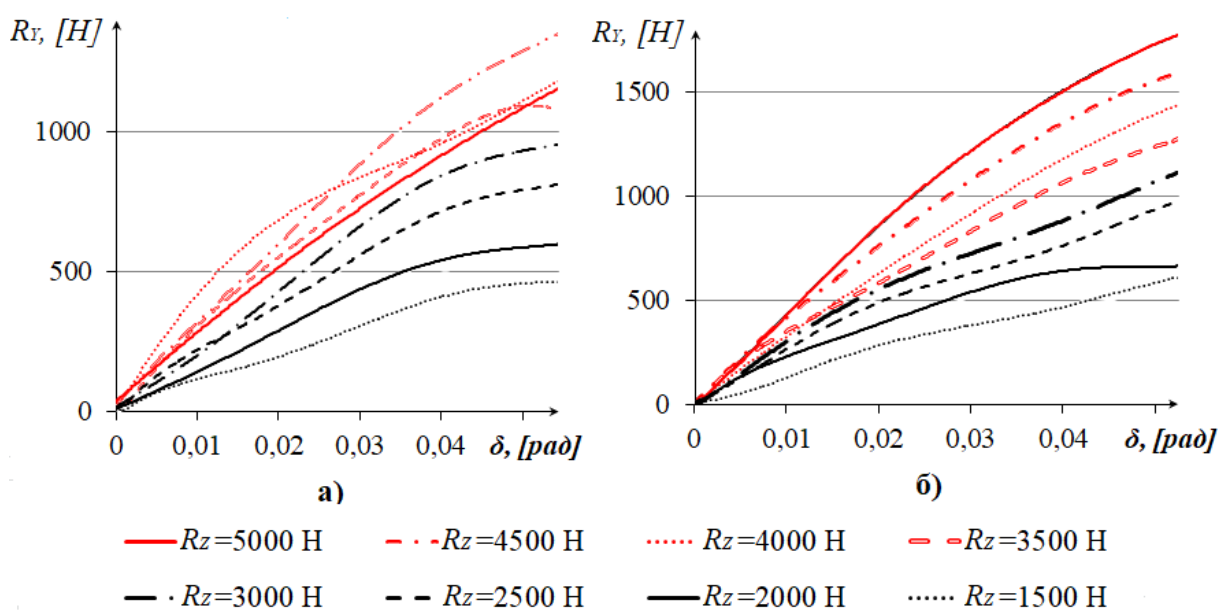


Рисунок 5 – Нестационарные характеристики шины BELSHINABEL 337 195/65 R15 M+S полученные в результате экспериментального исследования при окружной скорости опорной поверхности бегового барабана $V_x=24,5$ км/ч:
а) износ 0%; б) износ 80%

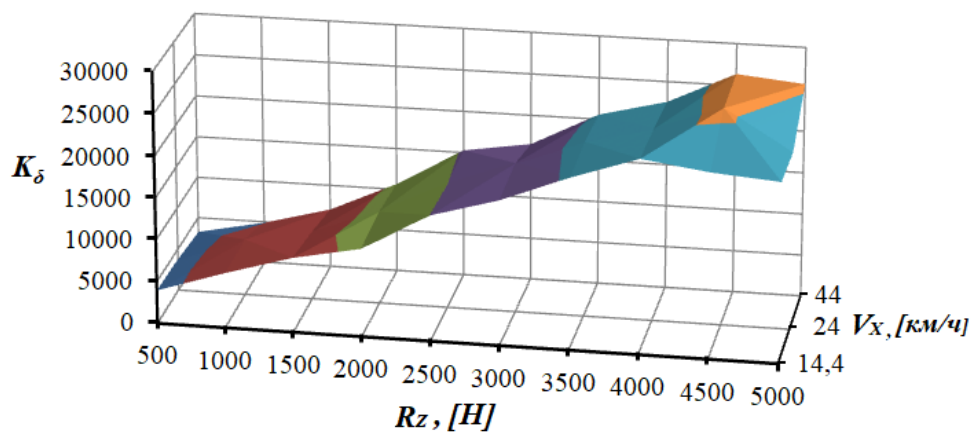
Третьим этапом методики является определение коэффициента сопротивления уводу шины K_δ . Коэффициент сопротивления уводу можно выразить из формулы 2

$$K_\delta = \frac{R_y}{\delta}, \quad (3)$$

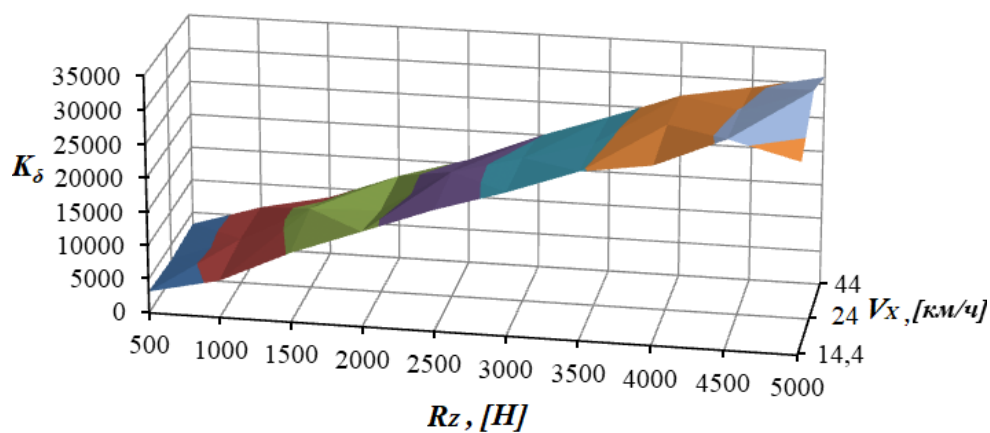
Для определения коэффициента K_δ берем значение R_y при угле увода $\delta=3^\circ(0,054$ радиан). Данную процедуру повторяем при нагрузках 1500-5000 Нс шагом 500 Н.

Полученные данные заносим в таблицу, созданную в программе Microsoft Excel и строим диаграммы функциональной зависимости $K_{\delta}=f(R_z, V_x, \Delta_{III})$.

В качестве примера на рисунке 6 представлены диаграммы зависимости коэффициента сопротивления уводу K_{δ} , полученные в результате экспериментального исследования характеристик шины BELSHINA BEL 337 195/65 R15 M+S.



а)



б)

Рисунок 6 – Графики зависимости коэффициента сопротивления уводу K_{δ} от нормальной реакции на колесо R_z и окружной скорости опорной поверхности барабана V_x эластичной шины марки BELSHINA 195/65 R15 M+S:
а) износ 0%; б) износ 80%

По полученным результатам можем сделать вывод, что коэффициент сопротивления уводу при износе шины увеличивается на 15-40 %. Данный

результат подтверждается проведенными ранее исследованиями Д.А. Антонова и А.С. Литвинова[2, 8].

Данная методика и предлагаемое оборудование позволяет определить коэффициент бокового сопротивления увода K_δ как функциональную зависимость от нормальной нагрузки приходящейся на колесо R_z и окружной скорости опорной поверхности бегового барабана V_x .

Полученные результаты в ходе выполнения экспериментального исследования в виде функциональной зависимости $K_\delta=f(R_z, V_x, \Delta l_{ш})$ могут быть использованы для математического описания работы шины при качении колесас неустановившимися боковыми деформациями эластичной шины.

Список использованной литературы

1. Статистика ДТП в России за январь-декабрь 2018 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.1gai.ru/522049-statistika-dtp-v-rossii-za-yanvar-dekabr-2018-goda.html> (15.02.2019)
2. Антонов Д.А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.; Машиностроение, 1984. – 164. с.
3. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобиля: Учебник. Изд-во ИрГТУ, Иркутск. 2016.– 288 с.
4. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И. Стенд для исследования влияния технического состояния амортизаторов на сцепление шины с опорной поверхностью // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 20–22 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2017. С. 442–451.
5. Зарщиков А.М. Шаршуков К.Г., Капралов С.С., Поверхность для определения выходных характеристик шин на барабанном стенде «Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования». Материалы международной научно-практической конференции / Иркутск, 2007 г. С. 83-89
6. Модули АЦП ЦАП [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/moduli-atsp-tsap/atsp-tsap-zet-210/> (16.02.2019)
7. ГОСТ 27704-88 Шины пневматические. Правила подготовки шин для проведения стендовых испытаний. – Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
8. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.; Машиностроение, 1971. – 416. с.

УДК 629.113.001

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН

Н.Ю. Кузнецов

Аннотация. В данной статье приведено описание методик экспериментального исследования стационарных характеристик эластичных шин и оборудования для ее реализации. Разработанные методики позволяют получать функциональные зависимости коэффициента снижения сцепных свойств $f_{\delta y}$; удельного коэффициента сопротивления проскальзыванию η_{sy} ; жесткости проскальзывания шины C_{sy} от нормальной реакции, действующей от опорной поверхности R_Z на колесо и скорости качения колеса V_x . Также в данной статье представлены некоторые результаты экспериментального исследования в виде графиков и функциональных зависимостей.

Ключевые слова: стационарные характеристики шины, шинный тестер, эластичная шина, методика экспериментального исследования, боковая реакция.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: Kuznetsov92@mail.ru.

Управляемость и устойчивость автотранспортного средства (АТС) при движении под действием боковых сил зависит от стабильности сцепления его шин с дорогой [1, 2, 3]. Действие на АТС боковых сил сопровождается качением его колес с боковыми углами увода шин, в результате чего в пятнах контакта формируются боковые реакции.

Математическое описание процесса формирования боковых реакций R_y в пятнах контакта шин с опорной поверхностью, представляют в виде функции [4]

$$R_y = R_z \cdot \varphi_{y_{max}} \cdot \sin \left(a \cdot \arctg \left(b \cdot \sin \delta - b \cdot \frac{\dot{y}_s}{V_x} \right) \right), \quad (1)$$

где R_z – нормальная реакция, действующая от опорной поверхности на колесо;

$\varphi_{y_{max}}$ – коэффициент бокового сцепления шины с опорной поверхностью;

δ – угол увода шины;

\dot{y}_s – скорость смещения пятна контакта в боковом направлении;

V_X – скорость движения центра колеса;
 a и b – коэффициенты, определяющие характер протекания функции проскальзывания $f(S)$ [4].

Для вычисления коэффициентов a и b необходимо знать численные значения следующих параметров: коэффициента снижения сцепных свойств $f_{\delta y}$; удельного коэффициента сопротивления проскальзыванию η_{SY} ; жесткости проскальзывания шины C_{SY} . Вышеперечисленные параметры обычно определяют непосредственно по стационарным характеристикам шины, которые представляют в виде функциональной зависимости установившихся значений боковых реакций от значений углов увода $R_{YS}=f(\delta)$ либо бокового проскальзывания $R_{YS}=f(S_Y)$. Данные характеристики получают в стендовых условиях на специальных шинных тестерах с беговым барабаном.

Коэффициент бокового сцепления φ_{Ymax} , так же определяют по стационарным характеристикам. Кроме того, параметры φ_{Ymax} , C_{SY} , η_{SY} , $f_{\delta y}$ зависят от нормальной реакции R_Z , действующей на колесо от опорной поверхности и скорости качения колеса V_X .

Поэтому автором была разработана методика экспериментального исследования, направленная на получение стационарных характеристик эластичных шин, с целью определение функциональных зависимостей $\varphi_{Ymax}=f(R_Z)$, $C_{SY}=f(R_Z)$, $\eta_{SY}=f(R_Z)$, $f_{\delta y}=f(R_Z)$ при разных скоростных режимах качения колеса. Однако, как показывают исследования, представленные в работе [4], значения параметра не сильно разнятся при вариации нормальной реакции R_Z . Поэтому параметр $f_{\delta y}$ не представляют в виде функциональной зависимости, а рассчитывают его среднее значение.

В качестве оборудования, для реализации методики, был выбран шинный тестер с беговым барабаном диаметром 1,8 м разработанный в лаборатории диагностики, кафедры «Автомобильный транспорт», ИРНИТУ [5]. С целью обеспечения стабильности характеристик сцепления и самоочищения поверхности бегового барабана, применена технология, предложенная учеными СибАДИ [6]. Для этого поверхность бегового барабана покрыта специальным фрикционным покрытием, обеспечивающим стабильные сцепные свойства. Схема шинного тестера приведена на рисунке 1.

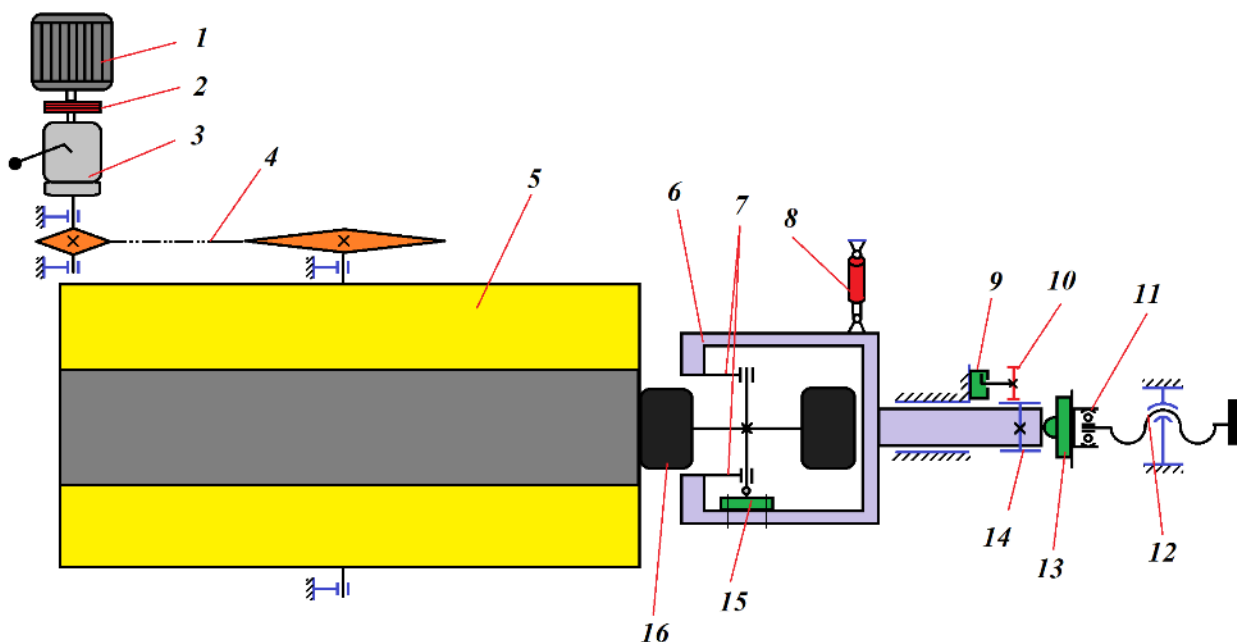


Рисунок 1 - Схема шинного тестера для исследования для исследования характеристик шин

Необходимый крутящий момент для поддержания стабильной окружной скорости поверхности барабана, обеспечивает асинхронный электродвигатель 1 мощностью $N = 55$ кВт. Передача мощности от двигателя на барабан осуществляется через фрикционное дисковое сцепление 2, пятиступенчатую коробку передач 3 (от автомобиля Зил-130) и цепную передачу 4. Значения окружных скоростей поверхности бегового барабана 5 при разных передачах, установленных на коробке приведены в таблице 1 (рис.1.).

Таблица 1 – Значения окружных скоростей при разных передачах установленных на коробке передач

Передача на коробке	Окружная скорость поверхности бегового барабана V_x , км/ч
1	14,4
2	24,5
3	45
4	53,6
5	62

Нагружение колеса 16 с эластичной шиной нормальной нагрузкой обеспечивает нагружающий механизм «винт-гайка» 12. При вращении винта датчик системы измерения нормальной реакции 13, закрепленный на

подшипниковом узле 11, давит на торцевую поверхность вала поворотной вилки 6, в результате чего последняя перемещается в сторону барабана 5, нагружая колесо 16 нормальной нагрузкой. В ответ на это действие опорная поверхность барабана 5 передает нормальную реакцию R_Z на колесо. Диапазон изменения нормальной нагрузки составляет от 0 Н до 7000 Н.

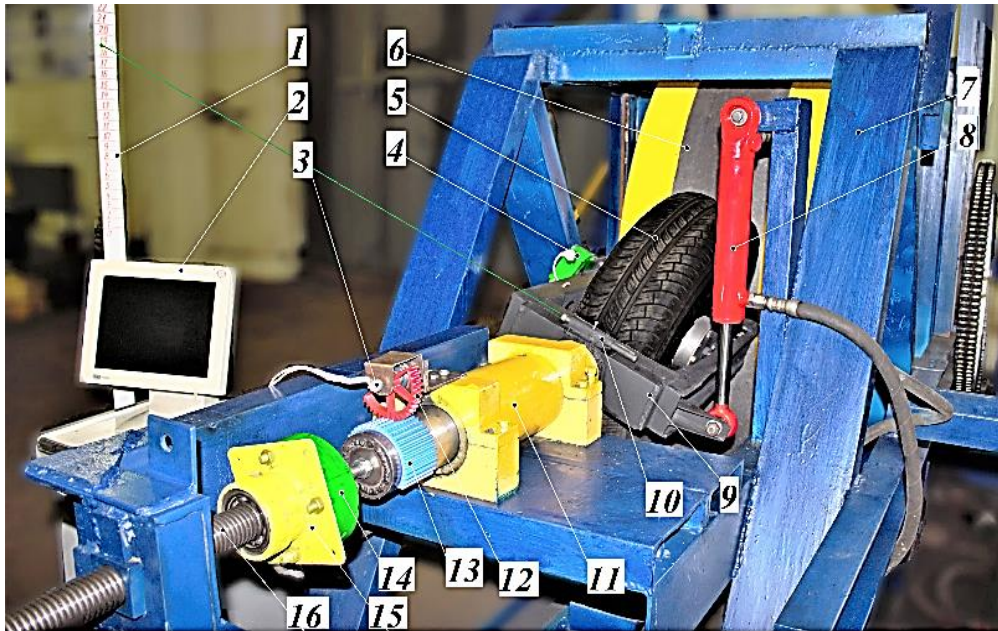
Колесо 16, может поворачиваться вместе с вилкой 6, относительно ее оси на углы, соответствующие углу увода шины δ . Регистрацию значения угла увода выполняет электронная система измерения, которая включает в свою конструкцию: датчик-потенциометр 9; ведущую шестерню 14, жестко закрепленную на оси поворотной вилки; ведомую шестерню 10, которая связана осью с бегунком потенциометра и находится в постоянном зацеплении с ведущей шестерней 10.

Помимо электронной системы измерения угла увода, на стенде применена оптическая система измерения, состоящая из лазера 10 и специальной проградуированной шкалы 1 (рисунок 2). По проградуированной шкале 1, на которую падает луч лазера, проще ориентироваться при установке необходимого угла увода δ , чем по выходному электрическому сигналу электронной системы измерения.

Поворот вилки с колесом на угол δ осуществляется при помощи гидроцилиндра двухстороннего действия 8. Управление гидроцилиндром 8 осуществляется при помощи специальной гидравлической станции.

Пластины крепления подшипников 7 вращения колеса 16 выполнены из тонкой стали и поэтому могут деформироваться при воздействии на колесо боковой силы, перемещая колесо 16 в боковом направлении. Это дает возможность измерения боковой реакции R_Y при помощи тензометрического датчика ДСТ 9035 15, который жестко соединен со осью колеса 16 (рис.1).

Сигналы с датчиков ДСТ 9035 систем измерения нормальной и боковой реакций, действующих от опорной поверхности на колесо и с датчика-потенциометра поступают на операционный усилитель ZET 410, после чего усиленный аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь, а затем в цифровом коде поступает на персональный компьютер со специальным программным обеспечением Zetlab[7].



1 – Проградуированная шкала; 2 – персональный компьютер; 3 – датчик системы измерения угла увода; датчик системы измерения боковой реакции ДСТ 9035; 5 – колесо с эластичной шиной; 6 беговой барабан с полимерным покрытием; 7 – рама станда; 8 гидроцилиндр; 9 – поворотная вилка; 10 лазер; 11 – направляющая втулка поворотной вилки; 12 и 13 – ведущая и ведомая шестерня системы измерения угла увода; 14 – датчик системы измерения нормальной реакции; 15 – опора датчика системы измерения нормальной реакции; 16 – нагружающий винт механизма винт гайка.

Рисунок 2 – Общий вид станда для исследования характеристик эластичных шин по уводу

Методика проведения экспериментального исследования стационарных характеристик

Разработанную методику можно разделить на четыре основных этапа.

На первом начальном этапе проводят эксперимент. Для получения наиболее точных характеристик, эксперимент следует выполнять в установленной последовательности:

1. Подготовить колесо с эластичной шиной (визуально проверить колесо с эластичной шиной на наличие механических повреждений и дисбаланса; проверка давления воздуха в шине; проверить износ шины; установить колесо с эластичной шиной на шинный тестер).

2. Подготовить шинный тестер к проведению эксперимента

3. Запустить программу Zetlab на персональном компьютере

4. Включить необходимую передачу, определяющую скорость опорной поверхности бегового барабана (таб. 1), при помощи коробки 3 (рис. 1)
5. Задать нормальную нагрузку на колесо при помощи механизма «винт-гайка» ($G_K=1500$ Н);
6. Установить поворотную вилку с колесом в то положение, при котором угол увода шины δ равен нулю
7. Отключить сцепление и запустить электродвигатель. Затем плавно включить сцепление.
8. При помощи гидроцилиндра задать угол увода 2° и выдерживать в этом положении колесо в течении 4-6 секунд.
9. Вернуть колесо в начальное положение.
10. Сохранить полученный сигнал зарегистрированный системой измерения боковой реакции на жесткий диск персонального компьютера. Название файла должно содержать значения параметры тестового воздействия (например: скорость 1, нагрузка 1500 Н, угол увода 2 градуса)
11. Выдерживать режим качения колеса по опорной поверхности бегового барабана без угла увода в течение 5 минут – это необходимо для поддержания стабильной рабочей температуры беговой дорожки шины и исключения её перегрева.
12. Повторить процедуру по пунктам 8 и 11, при этом каждый раз увеличивать значение угла увода на 2° , до тех пор, пока угол увода не достигнет значения $\delta=30^\circ$.
13. Повторить процедуру с пункта 1 по пункт 12, при этом каждый раз увеличивать нормальную нагрузку на 500 Н. Выполнять до того момента, пока значение нормальной нагрузки не приблизится к величине, составляющей 80% от максимально-допустимой для испытуемой шины (установленной заводом-изготовителем; определяется по индексу нагрузки).
14. Выключить питание электродвигателя на 30 мин.
15. Повторить процедуру с пункта 4 по пункт 14, на необходимых скоростных режимах (таб. 1).

Вторым этапом методики является построение стационарных характеристик для каждого из режимов качения колеса, определяемых нормальной реакцией и окружной скоростью поверхности бегового барабана. Стационарные характеристики шины обычно представляют в виде графиков функциональной зависимости установившихся значений боковых реакций от угла увода $R_{YS}=f(\delta)$. В качестве примера на рисунке 3 представлены стационарные характеристики летней шины MICHELIN 195/65 R15, полученные в результате исследования по разработанной методике.

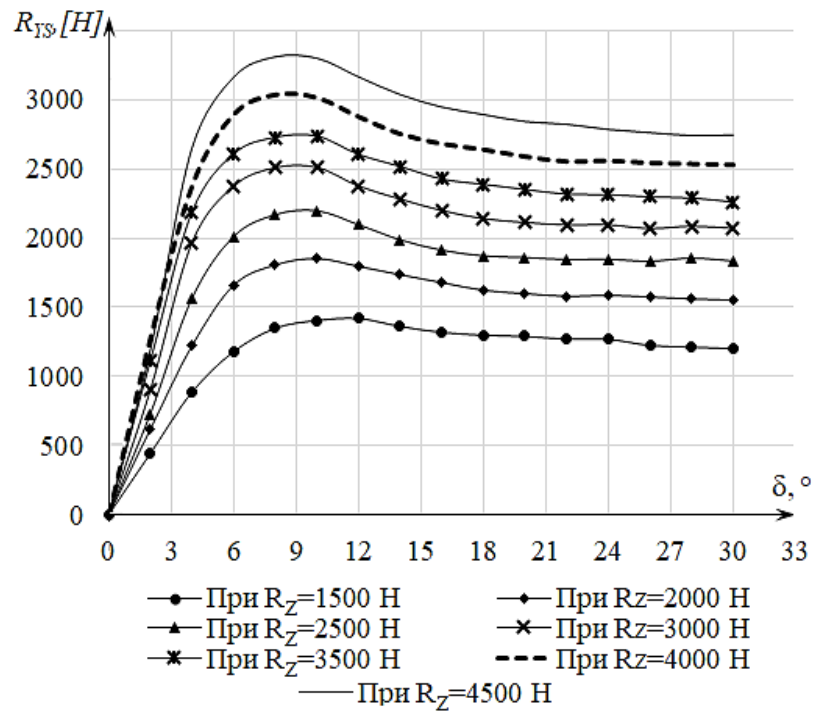


Рисунок 3 – Стационарные характеристики летней шины MICHELIN 195/65 R15, полученные в результате экспериментального исследования при окружной скорости опорной поверхности бегового барабана $V_x=24,5$ км/ч

Третьим этапом методики является определение параметров φ_{Ymax} , C_{SY} , η_{SY} , $f_{\delta y}$. Для более удобного пояснения, процедуры определения вышеуказанных параметров, воспользуемся условным представлением стационарной характеристики в виде графика (рисунок 4).

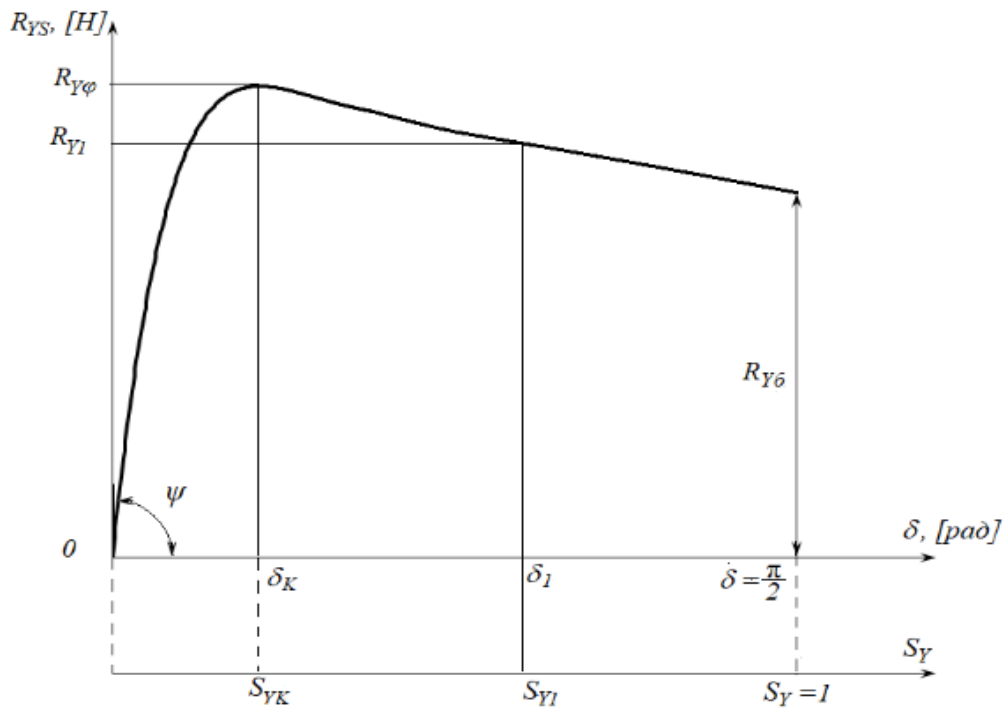


Рисунок 4 – Стационарная характеристика шины

Параметры φ_{Ymax} , C_{SY} , η_{SY} , $f_{\delta y}$ определим по формулам, представленным в диссертации А.Б. Дика [4], в следующей последовательности:

1) Коэффициент бокового сцепления шины φ_{Ymax} с опорной поверхностью определим по формуле [4]

$$\varphi_{Ymax} = \frac{R_{YS\phi}}{R_Z}, \quad (2)$$

где R_{YSmax} – значение боковой реакции при критическом проскальзывании S_{YK} в области пятна контакта шины.

2) Расчет поперечной жесткости бокового проскальзывания шины C_{SY} , будем производить по формуле [4]

$$C_{SY} = tg \psi \quad (3)$$

3) Удельный коэффициент сопротивления боковому проскальзыванию η_{SY} найдем по формуле [4]

$$\eta_{SY} = \frac{C_{SY}}{R_Z} \quad (4)$$

4) Коэффициент снижения сцепных свойств $f_{\delta y}$ определим по формуле [4]

$$f_{\delta y} = \sin(a_1 \cdot \arctg b_1) \quad (5)$$

Коэффициенты a_1 и b_1 для максимального проскальзывания S_{YI} , которое будет задано на стенде, вычислим по формулам [4]

$$b_1 = \frac{(1 + Z_{11}^2) \cdot \arctg Z_{11} - Z_{11}}{(K_{Z1} \cdot (1 + Z_{11}^2) - 1) \cdot S_{YI}}, \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{\eta_{SY}}{b_1}. \quad (7)$$

Важно учесть то, что значение максимального заданного проскальзывания на стенде $S_{YI} = \sin(\delta_1)$, больше чем критическое S_{YK} ($S_{YI} > S_{YK}$), поэтому коэффициент K_{Z1} , будем рассчитывать по формуле [4]

$$K_{Z1} = \frac{\pi - \arcsin(R_{YS1} / R_{YS\varphi})}{S_{YI} \cdot \eta_{SY}}, \quad (8)$$

а коэффициент Z_{11} по формуле [4]

$$Z_{11} = \frac{\pi}{2 \cdot K_{Z1}}, \quad (9)$$

где R_{YS1} – значение боковой реакции при проскальзывании S_{YI} (рис.4).

Применение формулы (5) очень удобно, так как при проведении эксперимента не потребуется расширять диапазон изменения угла увода от $\delta=0$ до $\delta=\pi/2$. Как следствие это позволит сократить время проведения эксперимента.

Расчет параметров φ_{Ymax} , C_{SY} , η_{SY} , $f_{\delta y}$ необходимо провести для каждого из режимов качения колеса, определяемых нормальной реакцией и окружной скоростью поверхности бегового барабана.

Четвертым и заключительным этапом является получение функциональных зависимостей $\varphi_{Ymax}=f(R_Z)$, $C_{SY}=f(R_Z)$, $\eta_{SY}=f(R_Z)$, $f_{\delta y}=f(R_Z)$. Данная процедура выполняется в программе Microsoft Excel в следующем порядке:

а) Для начала нужно заполнить таблицу с значениями параметров, рассчитанных по формулам (2-5) для каждого режима качения колеса, определяемых нормальной реакцией.

б) Далее построить графики в разных координатных плоскостях – по осям ординат откладываются значения параметров $\varphi_{Ymax}, C_{SY}, \eta_{SY}, f_{\delta y}$, а по оси абсцисс значения нормальной реакции R_Z .

в) Полученные графики аппроксимировать и получить уравнения аппроксимаций в виде функциональных зависимостей $\varphi_{Ymax}=f(R_Z), C_{SY}=f(R_Z), \eta_{SY}=f(R_Z), f_{\delta y}=f(R_Z)$.

В качестве примера на рисунке 5 представлены графики и функциональные зависимости $\varphi_{Ymax}=f(R_Z), C_{SY}=f(R_Z), \eta_{SY}=f(R_Z), f_{\delta y}=f(R_Z)$, полученные в результате экспериментального исследования характеристик летней шины MICHELIN 195/65 R15.

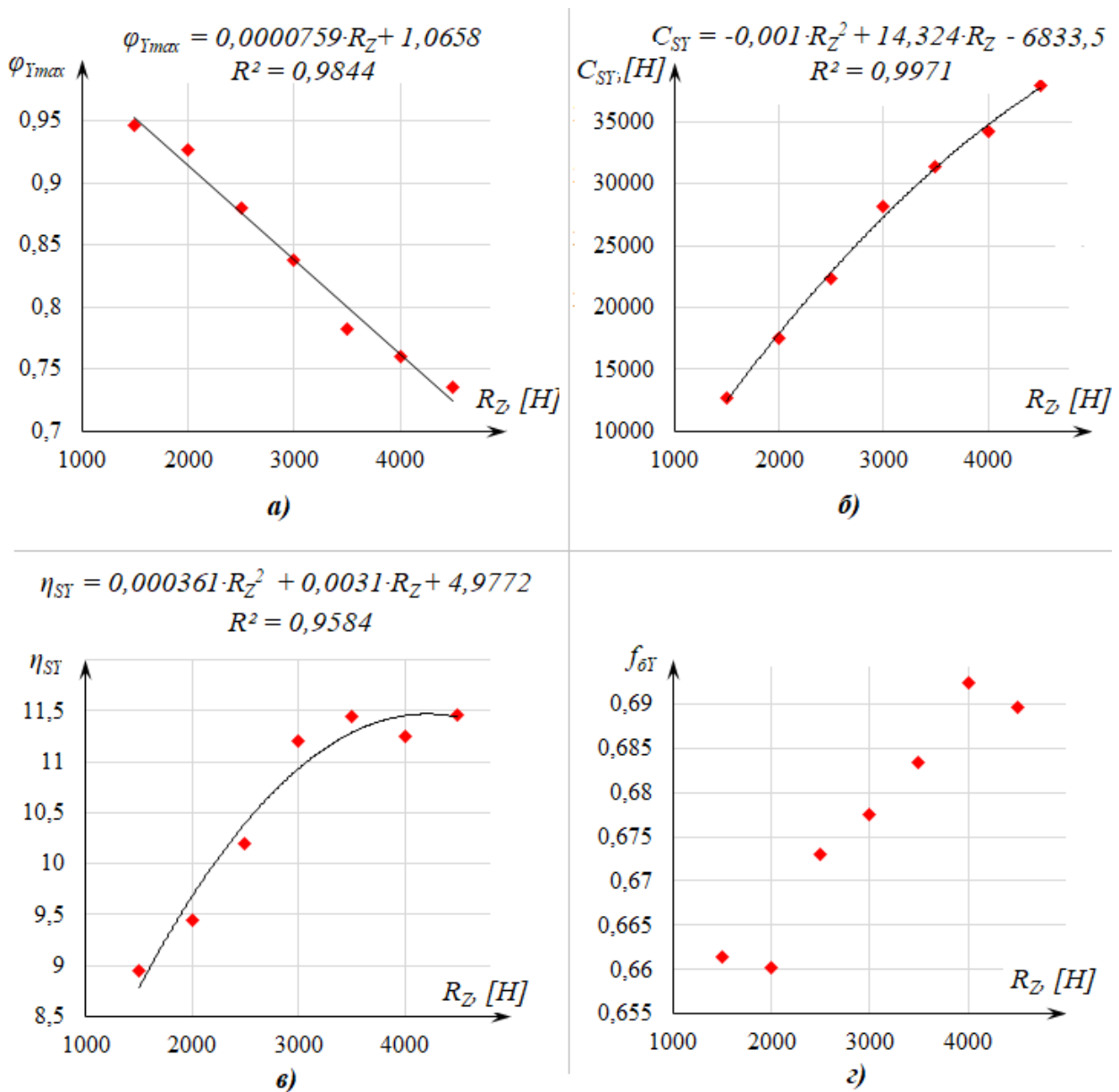


Рисунок 5 – Результаты экспериментального исследования характеристик летней шины MICHELIN 195/65 R15, полученные по разработанной методике на шинном тестере, при окружной скорости опорной

поверхности бегового барабана $V_x=24,5$ км/ч:

- а) график функциональной зависимости и функциональная зависимость $\varphi_{Y_{\max}}=f(R_Z)$; б) график функциональной зависимости и функциональная зависимость $C_{SY}=f(R_Z)$; в) график функциональной зависимости и функциональная зависимость $\eta_{SY}=f(R_Z)$; г) график функциональной зависимости $f_{\delta Y}=f(R_Z)$

Как и было сказано значения коэффициента снижения сцепных свойств $f_{\delta Y}$ при разных значениях нормальной реакции R_Z не сильно разнятся - расхождение максимального и минимального значений составляет $\Delta f_{\delta Y}=0,03$. Поэтому примем среднее значение величины $f_{\delta Y}=0,68$.

В заключении можем отметить, что предложенная методика и реализующее ее оборудование позволяет проводить экспериментальные исследования стационарных характеристик эластичных шин, по которым можно получить довольно точные значения коэффициентов a и b , характеризующих протекание функции проскальзывания $f(S)$.

Полученные результаты в ходе выполнения экспериментального исследования могут послужить отличным инструментом для математического описания процесса формирования боковых реакций при качении колеса с неустановившимся режимом деформаций эластичной шины.

Список использованной литературы

1. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Между-нар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 9–10 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 232–238.

2. Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Измерительный комплекс с гироскопами для диагностирования элементов подвески в дорожных условиях. Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск 13–16 апреля 2016 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. С. 186–191. 0

3. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И. Стенд для исследования влияния технического состояния амортизаторов на сцепление шины с опорной поверхностью // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 20–22 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. С. 442–451.

4. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом. Диссертация на соискание

ученой степени кандидата технических наук. Омск: Сибирский автомобильно-дорожный институт, 1988. 187 с.20

5. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И. Стенд для исследования влияния технического состояния амортизаторов на сцепление шины с опорной поверхностью // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 99-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (Иркутск, 20–22 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2017. С. 442–451.

6. Зарщиков А.М. Шаршуков К.Г., Капралов С.С., Поверхность для определения выходных характеристик шин на барабанном стенде «Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования». Материалы международной научно-практической конференции / Иркутск, 2007 г. С. 83-89

7. Модули АЦП ЦАП [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/moduli-atsp-tsap/atsp-tsap-zet-210/> (16.02.2019)

УДК 629.113.001

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ И НЕУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТИЧНЫХ ШИН

П.А. Киселев, Н.Ю. Кузнецов, А.И. Федотов

***Аннотация.** В данной статье приведено описание методик экспериментального исследования упругих и неупругих свойств эластичных шин и разработанного оборудования для реализации этих методик. Разработанная методика и реализующее ее оборудование позволяет определять боковую жесткость шины, коэффициент неупругого сопротивления, а также массу шины в окрестности ее пятна контакта с опорной поверхностью. Также в статье приведены результаты, полученные в ходе испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14.*

Ключевые слова: *жесткость шины, масса шины, коэффициент неупругого сопротивления, стенд, нестационарные характеристики.*

Павел Алексеевич Киселев - студент кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-904-111-67-28, E-mail: pavel.kiselev.97.97@mail.ru.

Николай Юрьевич Кузнецов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: KuznetsovK92@mail.ru.

Александр Иванович Федотов - д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел.: 8-950-080-28-26, E-mail: fai.abs@rambler.ru.

Устойчивость автомобиля непосредственно связана с безопасностью дорожного движения [1]. При потере автомобилем устойчивости может произойти его опрокидывание или скольжение под действием центробежной силы либо силы бокового ветра.

Еще более пагубное влияние оказывает на устойчивость автомобиля, при его движении под действием боковых сил, вертикальное силовое воздействие на его колеса со стороны дороги с неровным профилем. Если автомобиль движется по неровной дороге, то его колеса и поддрессоренная масса совершают вертикальные колебания. Эти колебания могут привести к потере контакта шин с опорной поверхностью и как следствие к снижению боковых реакций или их полному отсутствию. Работа шины в этом случае будет иметь нестационарный характер, связанный неустановившимся режимом ее боковых деформаций.

Автомобиль, на который действует боковая сила F_y , будет сохранять устойчивое движение до тех пор, пока выполняется условие[2]

$$\Sigma R_y \leq \sqrt{\Sigma R_z^2 \varphi^2 - \Sigma R_x^2} \quad (1)$$

где ΣR_y — суммарная боковая реакция на колесах автомобиля;

φ – коэффициент сцепления шин с дорогой;

ΣR_x — сумма продольных реакций на колесах автомобиля;

ΣR_z — сумма нормальных реакций на колесах автомобиля.

Математическое описание процесса формирования боковых реакций при неустановившихся боковых деформациях шины, представлено в работе Дика А.Б.[3,]

$$R_y = R_z \cdot \varphi_y \cdot \sin \left(a \cdot \arctg \left(b \cdot \sin \delta - b \cdot \frac{\dot{y}_s}{V_x} \right) \right) \quad (2)$$

где R_z – нормальная реакция, действующая от опорной поверхности на шину, [Н];

a и b –коэффициенты, определяющие характер протекания функции проскальзывания $f(S)$ и зависящие от коэффициента снижения сцепных свойств f_0 , а также от удельного коэффициента сопротивления проскальзыванию η_s ;

φ_Y – коэффициент бокового сцепления шины с опорной поверхностью;

δ – угол увода шины, [рад]; V_X – скорость движения центра колеса, [м/с];

\dot{y}_S – скорость смещения пятна контакта шины в боковом направлении, обусловленная скоростью боковых деформаций шины [м/с] [3].

Скорость смещения центра пятна контакта в боковом направлении \dot{y}_S можно определить из дифференциального уравнения описывающего колебания массы шины в окрестности пятна контакта. Для составления уравнения воспользуемся расчетной схемой, показанной на рисунке 1.

Дифференциальное уравнение, составленное по расчетной согласно 2-му закону Ньютона выглядит следующим образом[4]

$$R_Y - C_Y \cdot y_S - K_{SY} \cdot \dot{y}_S - m_S \cdot \ddot{y}_S = 0 , \quad (3)$$

где C_Y – боковая жесткость шины;

K_{SY} – коэффициент неупругого сопротивления шины;

m_S – масса шины в окрестности пятна контакта;

y_S – смещение пятна контакта шины с опорной поверхностью в боковом направлении.

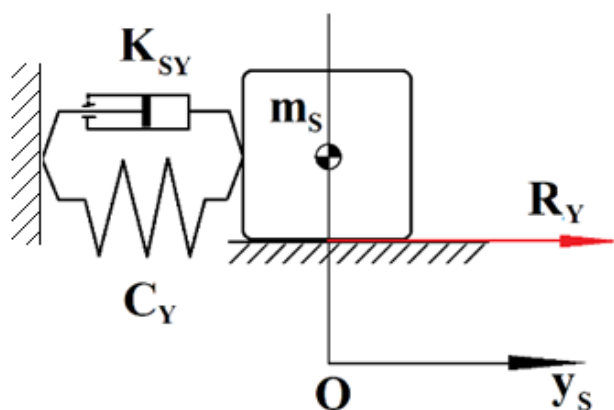


Рисунок 1 – Расчетная схема для составления дифференциального уравнения описывающего колебания массы шины в окрестности пятна контакта

Уравнение (3) можно легко решить, используя простые численные методы (метод Эйлера, метод Рунге-Кутты) [5]. Однако, для решения нам необходимо знать значения параметров C_Y, m_S, K_{SY} .

Если обусловить величину смещения пятна контакта в боковом направлении величиной боковой деформации шины, то боковую жесткость шины можно определить по формуле [2]

$$C_Y = \frac{F_Y}{y_S}, \quad (4)$$

где F_Y – усилие, необходимое для смещения пятна контакта шины с опорной поверхностью на величину y_S .

Здесь необходимо отметить, что опорная поверхность должна иметь коэффициент сцепления с шиной $\varphi_Y \geq 1$ (для исключения скольжения шины в боковом направлении).

При этом важно учесть, что характеристика любой шины имеет гистерезисные потери. Поэтому будем смещать пятно контакта шины с опорной поверхностью в боковом направлении от 0 мм до 16 мм с шагом 2 мм, и при каждом значении деформации измерять величину F_Y , а затем возвращать в исходное положение с тем же шагом. По полученным результатам построить график функциональной зависимости $F_Y = f(y_S)$.

Из теории колебаний известно, что период T собственных колебаний тела, можно определить по формуле [2]

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{M}{C}}, \quad (5)$$

где C – жесткость тела;

M – масса той части тела, которая совершает колебания.

В нашем случае жесткость тела есть боковая жесткость шины ($C = C_Y$). Тогда массой части тела M , которая совершает колебания является вместе взятые масса части шины в окрестности пятна контакта m_S и масса основания опорной поверхности $m_{ОП}$ ($M = m_S + m_{ОП}$).

Используя базовую формулу (5), выразим величину m_S

$$m_S = \frac{T^2 \cdot C_Y}{4\pi^2} - m_{ОП}, \quad (6)$$

где T – период собственных колебаний шины;

$m_{ОП}$ – масса площадки.

Чтобы определить период T достаточно реализовать процесс свободных затухающих колебаний массы части шины в окрестности пятна кон-

такта m_s вместе с массой основания опорной поверхностью $m_{оп}$. Для этого необходимо приложить усилие F_y тем самым сместить пятно контакта шины на величину A_i , а затем моментально прервать это силовое воздействие. По зарегистрированным затухающим колебаниям можно легко определить искомое значение периода T (рис.2).

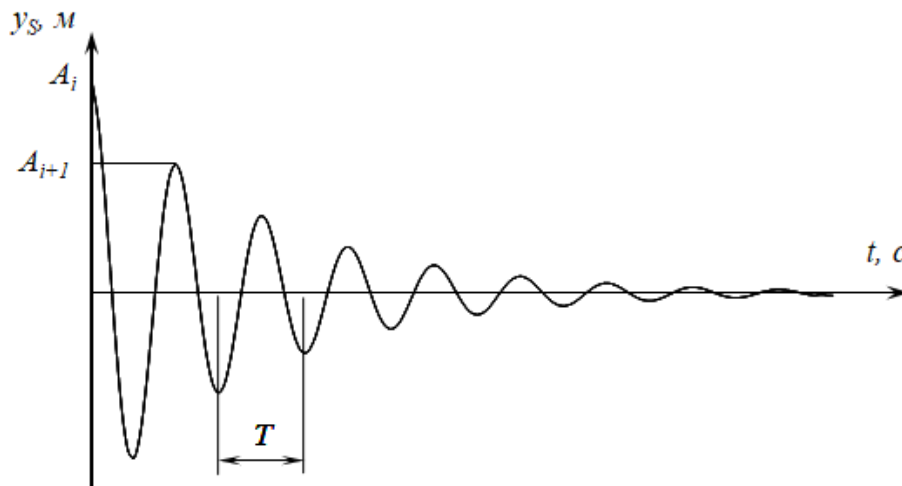


Рисунок 2 – График затухающих колебаний массы части шины в окрестности пятна контакта m_s с массой основания опорной поверхности $m_{оп}$

Коэффициент неупругого сопротивления шины в нашем случае можно определить по формуле [4]

$$K_{sy} = 2 \cdot (m_s + m_{оп}) \cdot \beta, \quad (7)$$

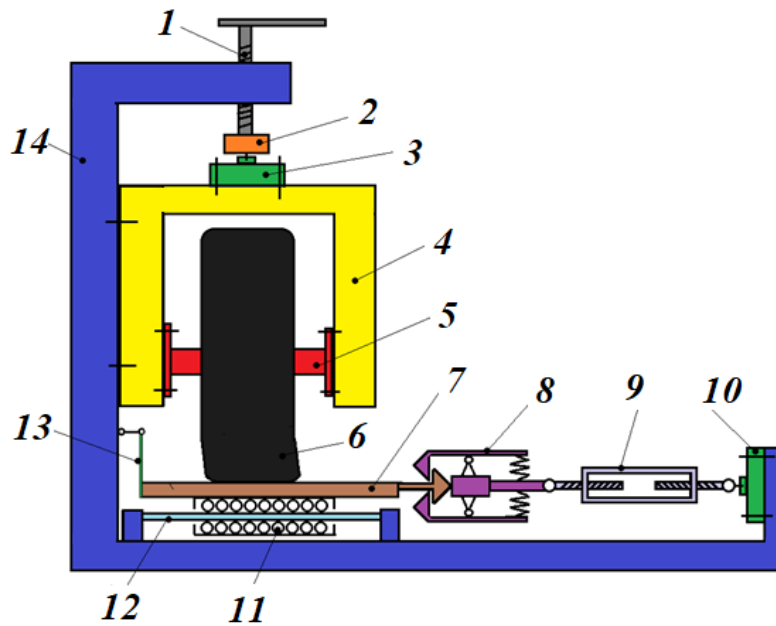
где β – коэффициент затухания, колебаний шины с площадкой.

Коэффициент затухания β – это физическая величина, обратная времени, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в $e \approx 2,71$ раз. То есть величину β можно определить по формуле [4]

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{A_i}{A_{i+1}}\right)}{T}, \quad (8)$$

где A_i и A_{i+1} – соседние амплитуды затухающего колебания (рис. 2).

Под вышеуказанную методику был разработан стенд, схема которого представлена на рисунке 3.

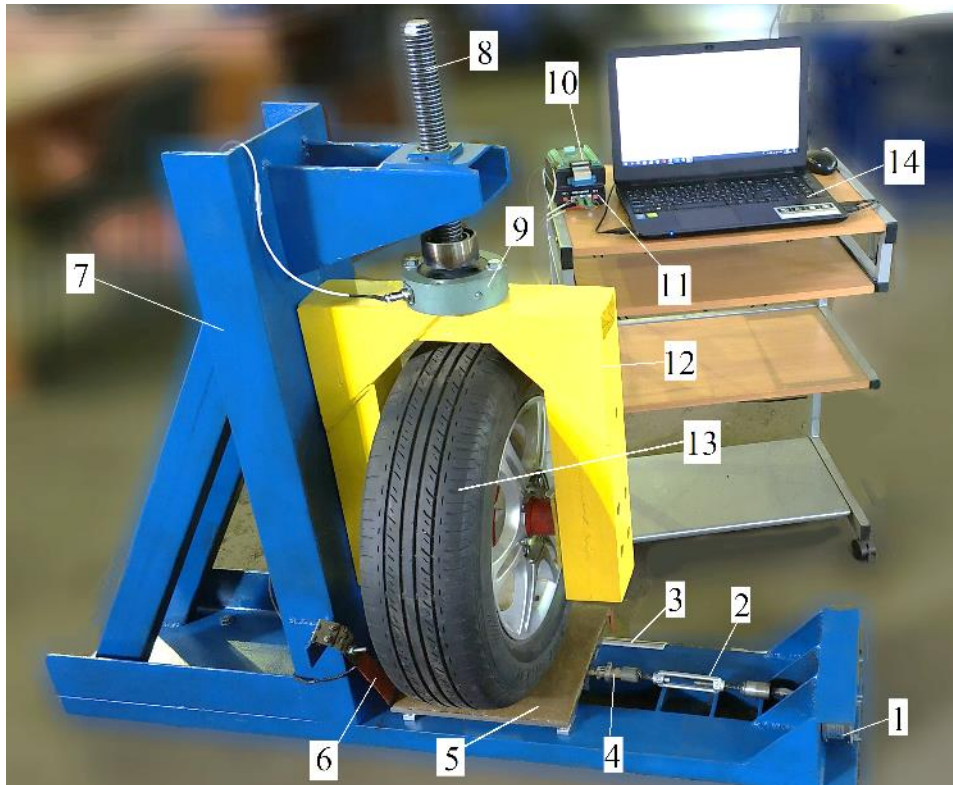


1 – Винт; 2 – подшипниковый узел; 3 – датчик системы измерения нормальной нагрузки; 4 – вилка; 5 – вал; 6 – колесо с эластичной шиной; 7 – площадка с фрикционным покрытием; 8 – быстроразъемное устройство; 9 – стяжка (талреп); 10 – датчик системы измерения бокового усилия; 11 – подшипники скольжения, для линейного перемещения; 12 – направляющий вал; 13 – датчик системы измерения бокового смещения пятна контакта эластичной шины с опорной поверхностью; 14 – рама станда.

Рисунок 3 – Схема станда для исследования упругих и неупругих характеристик шин эластичного колеса

Замер боковой силы F_y и бокового смещения пятна контакта u_s на разработанном станде осуществляется в следующей последовательности:

Колесо с испытуемой шиной 6 устанавливается на вал 5, а затем вал 5 крепится к вилке 4. Затем колесо нагружают, вращая винт 1. В этот момент вилка 4 не должна быть зафиксирована на раме станда 14, а площадка 7 должна находиться в положении $y_s=0$ мм (рис.3.). Наблюдение за положением площадки производится по специальной шкале 3 (рис.4.) с точностью до 1 мм. Контроль за нормальной нагрузкой, создаваемой на колесо, ведется по выходному сигналу системы измерения нормальной нагрузки. После того как значение нормальной нагрузки достигнет необходимой величины, вилка 4 жестко крепится к раме станда 14 (рис.3.).



1 – Датчик системы измерения боковой реакции R_Y ; 2 – стяжка (талреп); 3 – измерительная шкала; 4 – быстроразъемное устройство; 5 – площадка с фрикционным покрытием массой $m_{оп}=7,4$ кг; 6 – датчик системы измерения смещения пятна контакта шины опорной поверхностью; 7 – рама станда; 8 – винт; 9 – датчик системы измерения нормальной нагрузки; 10 – аналого-цифровой преобразователь ZET 210; 11 – усилитель сигналов ZET 410; 12 – вилка; 13 – колесос испытуемой шиной; 14 – персональный компьютер.

Рисунок 4 – Общий вид станда для исследования упругих и неупругих характеристик шин эластичного колеса

Далее при помощи талрепа задаем смещение пятна контакта шины с опорной поверхностью площадки в боковом направлении от 0 мм до 16 мм с шагом 2 мм, а затем возвращать в исходное положение с тем же шагом. В этот момент система измерения боковой силы непрерывно регистрирует значения F_Y . Затем производится обработка результатов измерения, по которым строится график функциональной зависимости $F_Y=f(y_S)$.

В результате проведения испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14 на разработанном станде был получен график и выявлена функциональная зависимость $F_Y=f(y_S)$ (рисунок 5).

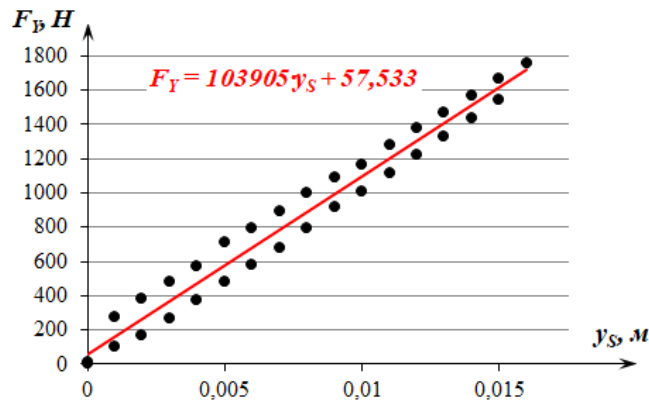


Рисунок 5 –График функциональной зависимости $F_Y=f(y_S)$, полученный в результате испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14 при давлении воздуха в ней $p=0,21$ МПа и нормальной нагрузке на колесо $F_Z=3500$ Н

Выявленная зависимость является линейной. Поэтому величину боковой жесткости шины примем постоянной $C_Y=103905$ Н/м.

Для определения закономерности затухающего колебания нужно провести следующие мероприятия.

При помощи талрепа приложить усилие F_Y тем самым сместить пятно контакта шины с площадкой на величину $y_S=Ai=0,016$ м. Затем при помощи быстроразъемного устройства моментально прервать это силовое воздействие, после чего шина с площадкой начнет совершать колебания. Система измерения смещения пятна контакта непрерывно регистрирует колебания шины y_S .

В результате проведения испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14 на разработанном стенде был получен график затухающего колебания (рисунок 6).

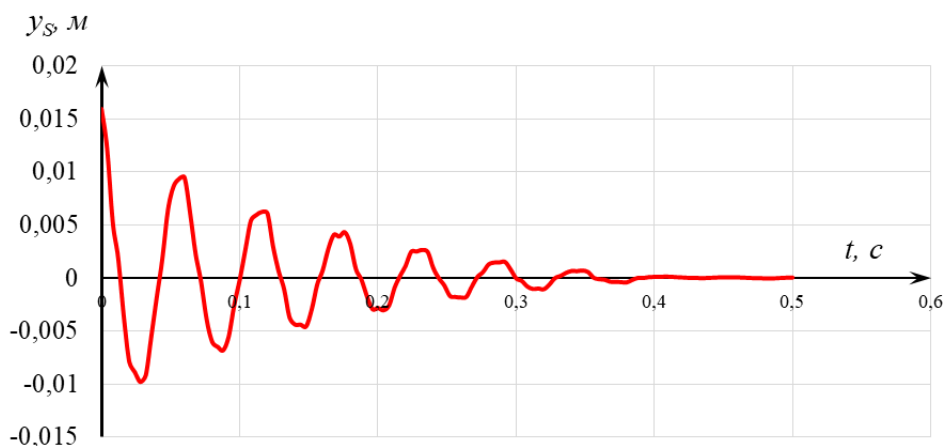


Рисунок 6 – График затухающего колебания, полученный в результате испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14 при давлении воздуха в ней $p=0,21$ МПа и нормальной нагрузке на колесо $F_Z=3500$ Н

По полученному графику рис. 6 были определены искомые параметры T, A_i, A_{i+1} . По формулам (6-8) были рассчитаны значения параметров m_s, K_{SY}, β . Значения данных параметров были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры полученные в результате испытания шины

Период колебаний T , [с]	Первая амплитуда A_i , [м]	Вторая амплитуда A_{i+1} , [м]	Коэффициент затухания β	Масса шины в окрестности пятна контакта m_s , [кг]	Коэффициент неупругого сопротивления K_{SY} , [Н·с/м]
59	0,0	0,0	0,009	8,83	1,77
	16	5	5		162

Выводы

Разработанная методика и реализующее ее оборудование позволяет определять параметры, характеризующие упругие и неупругие свойства шины, а также массу шины в окрестности ее пятна контакта с опорной поверхностью.

Параметры полученные в ходе испытания шины BRIDGESTONE 185/70R14 являются отличным инструментом для аналитического исследования нестационарных характеристик шин.

Список использованной литературы

1. Федотов А.И., Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Измерительный комплекс с гироскопами для диагностирования элементов подвески в дорожных условиях. Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск 13–16 апреля 2016 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. С. 186–191
2. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобиля: Учебник. Изд-во ИрГТУ, Иркутск. 2016.– 288 с.
3. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: Сибирский автомобильно-дорожный институт, 1988. 187 с.
4. Берестова С.А., Денисов Ю.В. / Принцип Даламбера. Инженерные задачи / учебное пособие, г. Екатеринбург Издательство уральского университета 2016 г., 96 С.

5. В.И. Мышенков, Е.В. Мышенков / Численные методы часть вторая Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений / Издательство Московского государственного университета леса, Москва – 2005, 109 С.

6. А.Н. Тюшев, Л.Д. Дикусар/ Курс лекций по физике. Ч. 3. Колебания и волны. Волновая оптика [Текст]: учеб. пособие /. 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 194 с.

ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ЛОГИСТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 629.349

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ В КАЧЕСТВЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В Г. КРАСНОЯРСКЕ

В.А. Зеер, А.Н. Филатов, С.Н. Ветров, Р.С. Глухих, Д.С. Периков

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительной оценки применения автономного электротранспорта вместо автобусов с дизельными двигателями внутреннего сгорания, используемых в настоящее время, одинакового класса по экологическим и экономическим показателям на примере одного из маршрутов г. Красноярска с использованием официальных данных на 2018 г.

Ключевые слова: автономный электротранспорт, экология, электробус, выбросы загрязняющих веществ.

Владимир Андреевич Зеер - канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических машин, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Алексей Николаевич Филатов - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехнических комплексов и систем, Сибирский федеральный университет

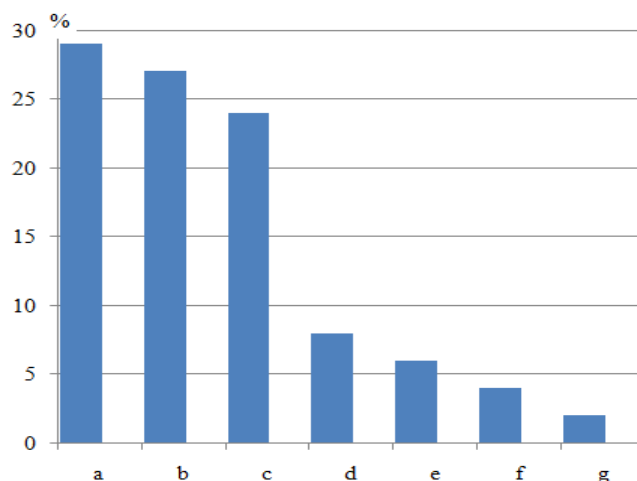
Сергей Николаевич Ветров - магистрант, Сибирский федеральный университет, Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Руслан Сергеевич Глухих - Муниципальное Предприятие города Красноярска «Красноярское пассажирское автотранспортное предприятие №5», Калинина 84, Красноярск, 660061, Россия.

Данила Сергеевич Периков - ассистент кафедры транспортных и технологических машин, Сибирский федеральный университет, ул. Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия.

Красноярский край, и в частности город Красноярск, являются крупнейшим транспортным и промышленным узлом Сибири и один из перспективных регионов промышленного развития страны. Промышленные предприятия с одной стороны вносят вклад в стабильность экономики, с другой, являются причиной экологических проблем, 29% от общего количества загрязнений воздуха (рис. 1).

Также значительную долю в загрязнениях воздушного бассейна города Красноярска с населением более 1 миллиона человек имеет автомобильный транспорт, на который приходится 27 % от общего количества. Следующим основным «загрязнителем» являются предприятия теплоэнергетики с показателем - 24% [1].



a – Промышленные предприятия, b – автотранспорт, c – предприятия теплоэнергетики, d – вторичное загрязнение УДС, e – незарегистрированные источники, f – техногенные и природные источники, g – АИТы и печное отопление

Рисунок 1 - Доли загрязнения атмосферного воздуха г. Красноярска основными источниками по данным за 2018 г

Специфика линейных источников загрязнения, к которым относится автомобильный транспорт, в отличие от других основных источников, проявляется в загрязнении в приземном слое, распределении на неопределенные территории, часто в непосредственной близости к жилым районам, что является наиболее опасным для человека. Состав выхлопных газов автотранспорта зависит от типа двигателя, режима работы, технического состояния транспортного средства (ТС), а также качества применяемого топлива. Уже изучено более 200 компонентов, входящих в состав отработанных газов (ОГ) автотранспорта. К числу самых распространенных загрязнителей атмосферы с ОГ автомобилей относятся: оксид углерода; оксиды азота; бенз(а)пирен; летучие углеводороды и другие [2].

Для снижения токсичности ОГ автомобилей применяются альтернативные виды топлива, такие как природный газ, биотопливо, водород, электроэнергия и др. На сегодняшний день они не могут решить всех проблем сразу не только из-за несовершенства современных технологий, но ряда специфических недостатков, например, короткий срок годности, низкий технологический потенциал, высокая себестоимость производства и

хранения, взрыво-пожароопасность, а главное низкий КПД преобразования потенциальной энергии топлива в кинетическую в автомобильных ДВС [3].

Применение автономного электротранспорта является наиболее привлекательным методом снижения загрязнения окружающей среды. К очевидным преимуществам автономного электротранспорта можно отнести:

- экологичность самого автомобиля - минимальное количество вредных выбросов в атмосферу и пониженный уровень шума;
- возможность решения проблемы «энергетического пика» в городской электросети за счет подзарядки аккумуляторных батарей в ночное время;
- снижение эксплуатационных затрат за счет сравнительно невысокой стоимости производства энергоносителя, высокого КПД бортового преобразователя энергии и его простоты конструкции.

При этом определённые недостатки тоже есть, основные из них:

- отсутствие необходимой инфраструктуры, что требует значительных инвестиций;
- сравнительно высокая стоимость ТС в основном за счёт цены элементов питания, что с развитием технологий заметно уменьшается;
- ограниченный ресурс элементов питания и вопросы их утилизации [4].

Мировым лидером по количеству электротранспортных средств является Китай (рис. 2). В КНР электротранспорт внедряется десятками тысяч единиц в год. В настоящее время не только в Европе, но и в России хорошо действует мотивация по использованию электромобиля в городе: бесплатные парковки, езда по выделенным полосам, бесплатные зарядки в торговых центрах, дорогое углеводородное топливо, налоговые вычеты и др. – все это делает приобретение электромобиля мероприятием не только экологически ответственным, но и экономически прибыльным [5, 6].



Рисунок 2 - Электробусы и зарядные станции в г. Шаньвэй (Китай)

В России действует целый ряд программ, способствующих развитию электротранспорта:

- поручение Президента Российской Федерации В.В. Путина от 18 января 2016 г. № Пр-66: «б) приоритетные направления научно-технологического развития российского автомобилестроения и разработки, перспективных образцов автомобильной техники с учётом мировых тенденций перехода к серийному производству электромобилей»;

- краевая программа «Снижение негативного воздействия на окружающую среду предприятиями Красноярского края на 2014 - 2020 годы»: Снижение выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от передвижных источников (автотранспорт г. Красноярска) на 25%. За счет выполнения в г. Красноярске природоохранных мероприятий, направленных на развитие системы общественного транспорта, развитие дорожно-уличной инфраструктуры города, перевод муниципального общественного транспорта на экологически чистые виды топлива;

- приказ министерства транспорта Красноярского края от 9 января 2018 года N 6/2-Н «Об утверждении транспортной стратегии Красноярского края до 2030 года».

Таким образом, с целью снижения негативной экологической нагрузки на окружающую среду в г. Красноярске альтернативой старому автобусному парку может выступить внедрение общественного автономного электротранспорта. Для определения эффективности предложения была выполнена количественная оценка выбросов ОГ от подвижного состава, применительно к маршруту №83. Данный маршрут обслуживается индивидуальным предпринимателем. Протяжённость маршрута составляет 22 км, автобусный парк состоит из 20 автобусов марки ЛиАЗ-5292 (мощность дизельного ДВС 144 кВт, относится к 5 категории машин), 6 из которых находятся в резерве. Автотранспортное предприятие работает по 7-дневной рабочей неделе (16-часовой рабочий день). Маршрут проходит через центр и основные городские магистрали (рис. 3).

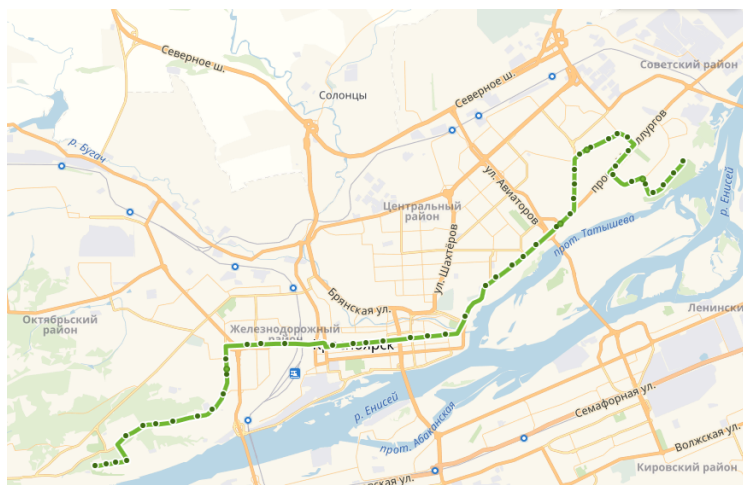


Рисунок 3 - Протяжённость автобусного маршрута №83

Расчёт проводился в три этапа. На первом этапе была произведена количественная оценка ОГ от подвижного состава на территории авто-транспортного предприятия (АТП) с учётом сезонности работы. Расчёт производился согласно методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу для АТП [7], программой «ЭРА» версии 2.5.373. Итоговые значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчёта валовых и максимально-разовых выбросов от работы автобусов на территории АТП

<i>Наименование ЗВ</i>	<i>Выброс г/с</i>	<i>Выброс т/год</i>
Углерода оксид	1,882	0,408
Керосин	0,2563	0,0477
Азота диоксид	0,5755	0,08778
Азот (II) оксид	0,0935	0,014266
Углерод	0,04801	0,004865
Сера диоксид	0,0959	0,013295
ИТОГО:	2,95121	0,575906

На втором этапе производился расчёт на отрезке от АТП до начальной остановки на маршруте. Расчет выбросов автотранспорта произведен программой «Магистраль-Город» версии 2.3.3.41 согласно методике определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов, утвержденной приказом Госкомэкологии России N 66 от 16.02.1999 [8]. Итоговые значения представлены в таблице 2.

Заключительный этап расчёта был произведён непосредственно на маршруте движения автобуса (от начальной до конечной остановки). Расчёт производился, как и во втором случае в программе «Магистраль-Город» версии 2.3.3.41, согласно соответствующей методике [8]. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 2 - Результаты расчёта валовых и максимально-разовых выбросов от работы автобусов на отрезке пути от АТП до начальной остановки маршрута

Длина участка, м	9000			
Время, сек	1200			
Тип автомашин, шт/час (Gk)	Правое напр.	Левое напр.	Скорость, км/ч	Коэф. влияния скорости (rv)
Автобусы дизельные	0	20	40	0,75
Название вещества	Выброс, т/год			Выброс, г/с
Оксид углерода	0,1445			0,33
Общий выброс оксидов азота	0,1752			0,4
Монооксид азота	0,022776			0,052
Диоксид азота	0,14016			0,32
Углеводороды, керосин	0,1067625			0,24375
Сажа	0,0049275			0,01125
Диоксид серы	0,02381625			0,054375
Формальдегид	0,00509175			0,011625
Бенз(а)пирен	0,0000001			0,00000025
ИТОГО:	0,6232341			1,423

Согласно данным за 2017 год ТЭЦ СГК, генерирующие электроэнергию для нужд населения и промышленных предприятий г. Красноярска, за исключением Красноярского алюминиевого завода, выбросили в атмосферу 21 200 тонн загрязняющих веществ, при этом выработали около 3,5 млрд кВт*ч электроэнергии [9] Получается, что на генерацию 1 кВт*ч электроэнергии приходится 0,006 кг загрязняющих веществ. Современный электробус 2-го поколения ЛиАЗ-6274, вместительностью 85 человек, при условной скорости 23 км/ч, потребляет 0,25 кВт*ч/км электроэнергии [10, 11].

При ежедневной круглогодичной эксплуатации 14 электробусов (6 находятся в резерве) на маршруте №83 требуется около 365000 кВт*ч электроэнергии. Таким образом, для производства дополнительной электроэнергии, необходимой для обслуживания маршрута №83, ТЭЦ СГК в атмосферу выбросит дополнительно около 2,19 тонн загрязняющих веществ, что почти в 27 раз меньше валового выброса токсичных элементов с ОГ автобусов маршрута №83.

Таблица 3 - Результаты расчёта валовых и максимально-разовых выбросов от работы автобусов на маршруте движения (от начальной до конечной остановки)

Длина участка, м					22000
Время, сек					57600
<i>Данные о транспортном потоке</i>					
Тип автомашин, шт/час (Gk)	Правое напр.	Левое напр.	Скорость, км/ч	Коэф. влияния скорости (rv)	
Автобусы дизельные	7	7	35	0,88	
<i>Данные о выбросах на участке</i>					
Название вещества	Выброс, т/год		Выброс, г/с		
Оксид углерода	13,92928763		0,66254222		
Общий выброс оксидов азота	14,38975991		0,68444444		
Монооксид азота	1,870668847		0,08897778		
Диоксид азота	11,51180809		0,54755556		
Углеводороды, керосин	10,28867845		0,48937778		
Сажа	0,47486215		0,02258667		
Диоксид серы	2,295166743		0,10916889		
Формальдегид	0,490690909		0,02333956		
Бенз(а)пирен	0,000010512		0,0000005		
ИТОГО	55,25093324		2,6279934		

В таблице 4 представлены сравнительные экономические показатели, рассчитанные с применением следующих данных: стоимость электроэнергии для промышленных предприятий 1,9 руб. за 1 кВт*ч; стоимость литра дизельного топлива 40 руб.; стоимость расходных материалов для технического обслуживания (ТО) ДВС автобуса ЛиАЗ-5292 (моторное масло (объем 23 л) - 4988 руб., фильтр масляный – 1650 руб., фильтр воздушный – 1232 руб., фильтр топливный - 554 руб.); периодичность ТО – 10000 км) [12, 13].

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- замена традиционного подвижного состава общественного транспорта на автономный электротранспорт принесет существенный вклад в улучшение экологической обстановки города Красноярска, следует отметить, что существующая мировая практика показывает возможность эксплуатации электромобилей, их источников питания, в условиях низких температур [14];

Таблица 4 - Сравнительные экономические показатели

№ п/п	Показатель	Автобус с ДВС (ЛиАЗ-5292)	Электробус (ЛиАЗ-6274)
1	Вместимость, чел.	85	85
2	Стоимость автобуса, руб.	9 600 000	25 000 000
3	Стоимость двигателя/батареи, руб.	707 000	5 000 000
4	Стоимость расходных материалов при ТО ДВС, руб. на 1 км.	0,84	-
5	Пробег двигателя/батареи, км.	1 000 000	1 000 000
6	Стоимость дизельного топлива/электроэнергии на километр пробега, руб.	12,44	0,475

- при эксплуатации электробусов затраты на «топливо» значительно ниже, в 26 раз, чем у автобусов того же класса с дизельными ДВС, однако, стоимость самих электробусов, на сегодняшний день, достаточно высока, но с развитием технологий стоимость будет снижаться, что в комплексе даст предпосылки к снижению себестоимости перевозок;

- определено эксплуатация электробусов требует больших финансовых вложений в инфраструктурные проекты, что практически невыполнимо без частно-государственного партнерства.

Список использованной литературы

1 Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году» — Красноярск, 2017.

2 Азаров В.К., Кутенёв В.Ф., Степанов В.В. О реальном выбросе твёрдых частиц автомобильным транспортом // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 4 (81). – С. 45–47.

3 Азаров В.К., Кутенёв В.Ф., Сайкин А.М. Новые проблемы при создании экологически чистого автомобиля // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 10. – С. 5–7.

4 Козлов В.Н., Колбасов А.Ф. О проблеме энергоёмкости системы хранения и накопления электроэнергии в беспилотных транспортных средствах на электротяге // Труды НАМИ. – 2018. – № 2 (273). – С. 35–40.

5 Кутенёв В.Ф., Сонкин В.И. Анализ тенденций развития электрического привода легковых автомобилей // Труды НАМИ. – 2018. – № 2 (273). – С. 6–15.

6 Колбикова Е., Тимонин И. Развитие электромобилей: без господдержки не летают – VAGON CONSULTING сентябрь 2018, 28 с.

7 Донченко В.В., Манусаджянц Ж.Г., Самойлова Л.Г., Кунин Ю.И., Солнцева Г.Я. (НИИАТ), Рузский А.В., Кузнецов Ю.М. (МАДИ) Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом). Утвержд. Министерством транспорта РФ 28.10.1998 г.

8 Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. Утверждена приказом Госкомэкологии России № 66 от 16 февраля 1999 г.

9 Новостной портал Sibnovosti
www.krsk.sibnovosti.ru/ekologiya/351975-ob-em-vybrosov-tes-sgk-v-krasnoyarskom-krae-v-2017-godu-snizhaetsya

10 Официальный сайт. Компания «Лиотех» www.liotech.ru/liaz

11 Бутарович Д.О., Косицын Б.Б., Котиев Г.О. Метод разработки энергоэффективного закона управления электробусом при движении по городскому маршруту // Труды НАМИ. – 2017. – № 2 (269). – С. 16–27.

12 Официальный сайт «Комиавтотранс»
www.komiavtotrans.ru/page/uslugi.tehnicheskoe_obslyuzhivanie

13 Официальный сайт «Муниципальное объединение автобусных предприятий» www.urbus.ru/services/servisnoe_obslyuzhivanie-avtobusov/

14 Кулова Т.Л., Скудин А.М. Проблемы низкотемпературных литий-ионных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. – 2017. Т.17, №2. С. 61-88.

УДК 656.13

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

А.С. Кашталинский, С.М. Порхачёва

Аннотация. *Изучение свойств транспортного потока, установление маркерных показателей и критериев, характеризующих эти свойства является важной задачей на пути к реализации адаптивных и интеллектуальных систем управления дорожным движением в городах. Это также важно при совершенствовании и уточнении методов моделирования и моделей транспортного потока, в первую очередь имитационных. Представлен ряд методов и показателей, позволяющих установить закономерности, характеризующие свойства транспортного потока в городских условиях.*

Ключевые слова: *свойства транспортного потока, неравномерность, динамичность, стационарность, инерционность, интенсивность движения.*

Александр Сергеевич Кашталининский - кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения» ФГБОУ ВО «СибАДИ», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5 каб. 2.261. Тел.: 8(3812)60-66-84, E-mail: ask1188@mail.ru.

Светлана Михайловна Порхачёва - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Организация и безопасность движения» ФГБОУ ВО «СибАДИ», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5 каб. 2.261. Тел.: 8(3812)60-66-84, E-mail: ask1188@mail.ru.

Введение

Под интенсивностью движения понимается количество транспортных средств, преодолевших воображаемое сечение дороги в единицу времени. Данная величина является основополагающей характеристикой транспортного потока (ТП), определяющей величину спроса населения на передвижение и влияющей на другие характеристики – скорость и плотность, при средней и высокой загрузке дороги и направления, а также на безопасность дорожного движения в целом. Именно поэтому, данная характеристика является одним из основных параметров, исследуемых при разработке проектов и комплексных схем организации дорожного движения, проектировании светофорных объектов, расчете параметров светофорного регулирования и, в конечном счете, является характеристикой, на основе которой устанавливается управление дорожным движением в городах.

Наряду с этим, авторами [1,2,3] выделяется ряд свойств, имеющих устойчивое отражение в городском ТП. Изучение нескольких из них – неравномерности, динамичности, стационарности, инерционности ТП возможно на основе знаний об изменении интенсивности движения с помощью математических методов.

Постановка задачи

Задачей данной работы является установление закономерностей, характеризующих свойства ТП на основе исследования интенсивности движения на городских магистралях.

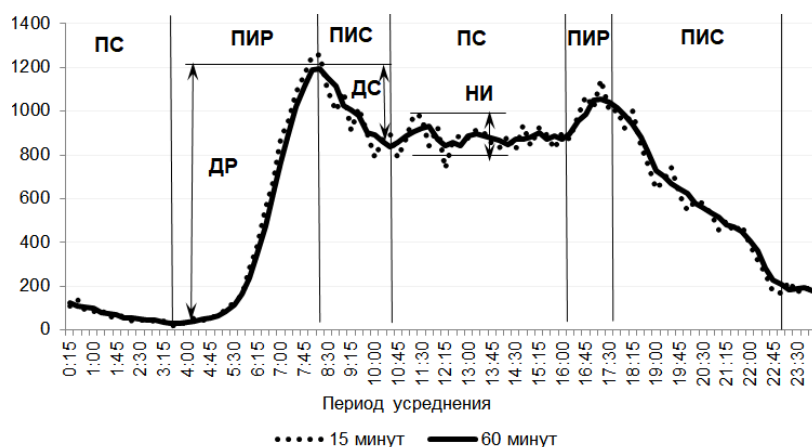
Основная часть

Изучение изменения интенсивности движения на городских магистралях позволяет установить закономерности, характерные сразу для нескольких свойств: неравномерность, динамичность, инерционность и стационарность. При изучении вопроса управления транспортом в городских условиях наибольший интерес вызывают изменения интенсивности в суточном цикле и ее сезонные колебания.

Свойство динамичности ТП заключается в изменении интенсивности движения в течение времени (в течение суток, недели, года) от минимального до максимального значения. Изменения интенсивности движения носят постоянный закономерный характер, повторяя динамику изо дня в день, в этом проявляется свойство стационарности ТП. Указанные изменения протекают не одномоментно, а всегда в течение некоторого периода, так проявляется инерционность ТП. Несмотря на все указанные свойства, изменения интенсивности не являются абсолютно постоянными, сказывается их случайная природа, которая проявляется в неравномерности ТП по часам суток, дням неделям и месяцам.

Указанные свойства ТП носят взаимосвязанный характер. При этом, их можно разбить на пары-антагонисты: динамичность-инерционность, стационарность-неравномерность.

На рис. 1 для понимания показателей, характеризующих свойства ТП приведен график изменения интенсивности с отражением характерных показателей каждого свойства ТП. В таблице 1 указанные свойства проклассифицированы по типу величины, с помощью которой, в основном, может быть охарактеризовано свойство.



ПС - Период стационарности; ПИР – период инерционного роста; ПИС – период инерционного спада; ДР – динамический рост; ДС – динамический спад; НИ – неравномерность интенсивности.

Рисунок 1 - Динамика изменения интенсивности движения в течение суток

Таблица 1 – Классификация свойств ТП по маркерной величине

Величина, характеризующая свойство		Статистические данные для анализа
<i>Время</i>	<i>Интенсивность</i>	
Инерционность	Динамичность	Усредненные по времени
Стационарность	Неравномерность	Неусредненные по времени

К настоящему моменту автором [3,4] достаточно широко изучено свойство неравномерности: установлены ее показатели, факторы и закономерности, определяющие их величину, разработаны методики учета неравномерности ТП при расчете параметров светофорного регулирования. Помимо этого, в работе [5] было рассмотрено влияние неравномерности и динамичности ТП на выбор параметров и количества сигнальных программ в течение суток.

Однако полученные знания и используемые при исследовании неравномерности ТП методы могут позволить достаточно полно изучить и другие свойства ТП, что является следствием их взаимосвязанности.

Так, усреднение 5-ти минутных статистических данных об интенсивности ТП к 15-ти минутным позволяет убрать шум неравномерности движения, более четко отследить динамику изменения интенсивности, установить характерные периоды (см. рис.2). На рис. 2 приведен пример усреднения недельных данных об интенсивности движения на участке, на основе показателей вариации интенсивности установлены доверительные интервалы ее изменения в течение недели (с вероятностью 95%), по 5-ти (рис. 2 а) и 15-ти (рис. 2 б) минутным значениям. По величине доверительного интервала можно судить как о неравномерности, так и о стационарности ТП. На участках с узким доверительным интервалом отмечается повторяемость динамики изменения интенсивности движения в течение всей рабочей недели. Для указанного графика наиболее точно повторяемыми периодами суток являются ночное время, период утреннего роста интенсивности часа-пик, период вечернего спада интенсивности. Что говорит о стационарности ТП в указанные периоды на исследуемом участке.

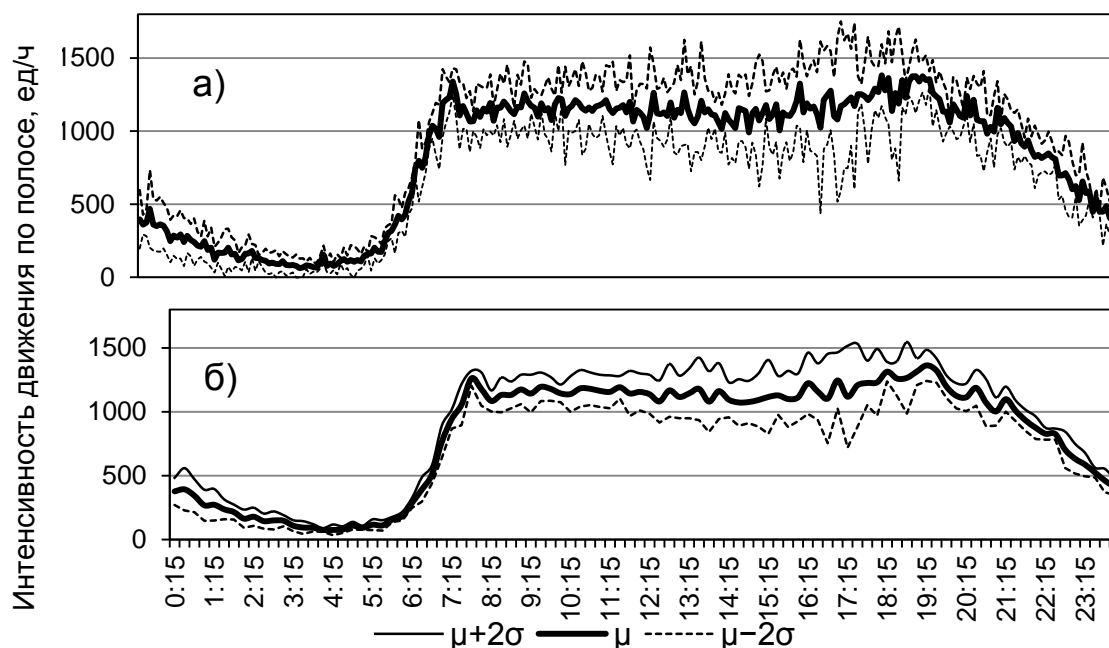


Рисунок 2 - Усредненная динамика изменения интенсивности движения в течение суток с учетом ее вариации в течение рабочей недели:
 а) по 5-ти минутным значениям; б) по 15-ти минутным значениям

Проведенное исследование на основе 5-ти минутных статистических данных позволило установить, что отклонения интенсивности от усредненных часовых значений имеют нормальное распределение с высокой долей достоверности ($p=0,925$) при математическом ожидании $\mu=0,09$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma=92,1$ ед/ч. При этом отклонение от среднего значения будет находиться в пределах ± 150 ед/ч с вероятностью 95%, что является достаточно весомым значением. Гистограмма распределения представлена на рис. 3.

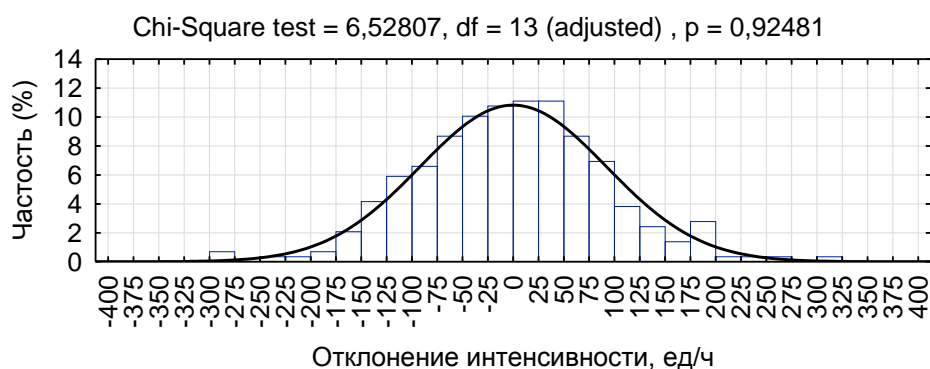


Рисунок 3 - Распределение отклонений интенсивности от среднего часового значения

Помимо этого, для оценки неравномерности ТП, по методу, предложенному Печерским М.В. [6], на основе преобразования Фурье, была по-

лучена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) колебаний интенсивности ТП, представленная на рис. 4. Полученное поле точек АЧХ, указывает на то, что колебания с частотой 1/час и выше имеют случайный независимый характер. В сочетании со знанием о распределении отклонений интенсивности это указывает на то, что внутричасовая неравномерность носит случайный характер, а внутричасовые колебания интенсивности близки по своей природе к «белому шуму».

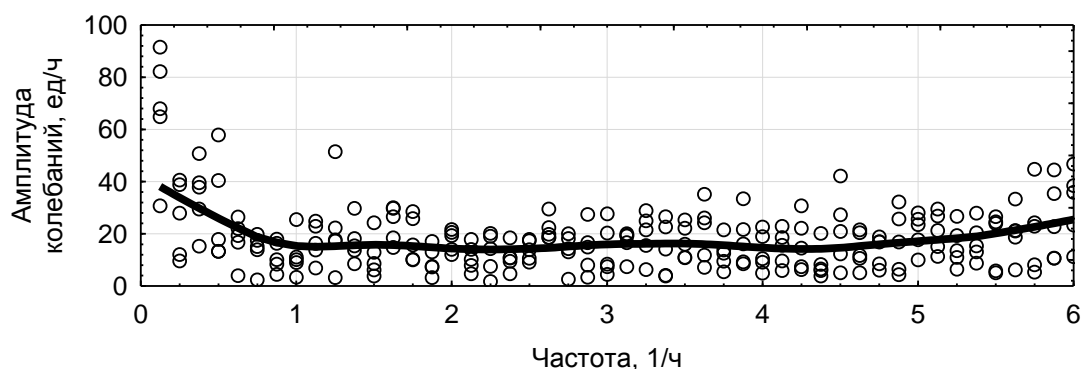


Рисунок 4 - Поле амплитудно-частотной характеристики колебаний интенсивности движения в течение суток

Поскольку изучение свойств ТП служит для управления на городской улично-дорожной сети, то его можно проводить через призму управляющих воздействий. Для этого на основе данных об интенсивности (15-ти минутным), снятых на 3-х фазном регулируемом перекрестке, была получена динамика изменения фазовых коэффициентов (отношение интенсивности к потоку насыщения) для 3-х регулируемых направлений. Совмещение полученных значений в 3-х мерном графическом пространстве позволило получить поле точек, представленное на рис. 5.

Представленный график (рис.6) указывает на то, что увеличение и уменьшение загрузки 3-х независимых друг от друга регулируемых направлений происходит практически синхронно в течение суток. Это говорит о том, что динамичность, инерционность и стационарность этих направлений схожи.

Также на основе фазовых коэффициентов был проведен кластерный эксперимент, направленный на оценку необходимости смены сигнальных программ на перекрестке в соответствии с увеличением загрузки исследуемого регулируемого направления. Фазовый коэффициент искусственно увеличивался с начального значения до того, при котором дальнейшее использование текущей сигнальной программы вызовет задержки большие, чем переход на более подходящую сигнальную программу, даже с учетом наличия дополнительных задержек от перехода. Графическое отражение эксперимента представлено на рис. 6.

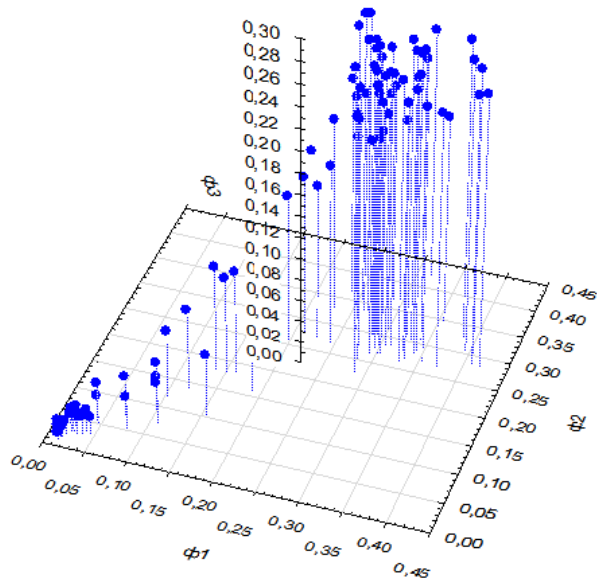
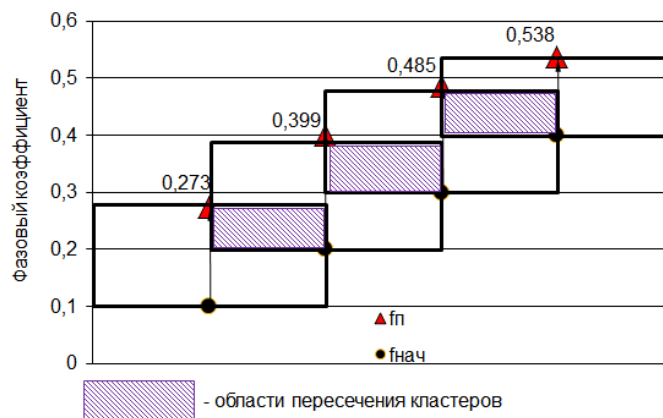


Рисунок 5 - Поле фазовых коэффициентов для 3-х фазного перекрестка в объемном пространстве

Данный эксперимент показал неоднозначность принятия решений о назначении подходящей сигнальной программы, поскольку, как видно из рис. 6, имеются области пересечения кластеров. Это указывает на наличие фазовых состояний, для которых подходящими будут являться несколько сигнальных программ, не приводящим к существенным различиям полученного значения целевой функции (задержки).



$f_{нач}$ – Начальный фазовый коэффициент; $f_{п}$ – фазовый коэффициент перехода.

Рисунок 6 - График граничных значений фазовых коэффициентов, указывающих на необходимость смены сигнальной программы для одного из регулируемых направлений 3-х фазного перекрестка

На основе данного умозаключения можно выдвинуть гипотезу о том, что управление на регулируемых перекрестках в городах может предполагать некоторое количество вариантов (больше, чем 1), которые можно будет считать оптимальными и результаты возможного применения которых не будут существенно отличаться по полученной величине целевой функции.

Заключение

В настоящее время для изучения свойств ТП существует достаточно большое количество современных устройств учета интенсивности и других параметров движения, а также имеется широкий спектр методов для их изучения, некоторые из которых приведены в данной статье. Фундаментальное изучение свойств ТП и характеризующих их закономерностей для городских условий позволит использовать и применять полученные знания при разработке и внедрении инновационных алгоритмов и систем управления дорожным движением в городах.

Список используемой литературы

1. Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Управление движением транспортных средств – М.: Транспорт, 1975 – 112 с.
2. Петров В.В. Управление движением транспортных потоков в городах: Монография – Омск: Изд. СибАДИ, 2007. – 92с.
3. Kashtalinsky A. Method Considering Traffic Stream Variability over Time when Determining Multiprogram Control Modes at Signaled Intersections / A. Kashtalinsky, V. Petrov, Y. Ryabokon // 12th international conference "Organization and traffic safety management in large cities", SPBOTSIC 2016, Saint-Petersburg, Russia, 28-30 September 2016. Transportation Research Procedia, vol. 20, 2017, pp. 277-282. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.022>
4. Кашталинский А.С. Влияние дорожно-транспортных факторов на неравномерность транспортных потоков в городах / А.С. Кашталинский, В.В. Петров // Вестник ИрГТУ. 2016. №1 (108). С. 116-123.
5. Петров В.В. Исследование некоторых свойств транспортного потока / В.В. Петров, А.С. Кашталинский // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы конф. – Омск: СибАДИ, 2012. – т.Кн. 2. – С. 4-8.
6. Печерский М.П., Хорович Б.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. М.: Транспорт, 1979. – 176 с.

О РАЗМЕЩЕНИИ ЭКИПАЖЕЙ АВАРИЙНЫХ КОМИССАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

В.А. Лукоянов, А.Л. Воробьев

Аннотация. *Актуальность исследуемой проблемы обусловлена постоянным присутствием на улицах крупных городов дорожных заторов, вызванных различными дорожными инцидентами, которые резко снижают пропускную способность проезжей части и затрудняют беспрепятственный проезд участникам дорожного движения. Одним из инструментов, позволяющим решить данную проблему, является институт аварийных комиссаров, который на сегодняшний день не в полной мере выполняет наложенные на него функции. В частности, несвоевременность прибытия к месту совершения аварии способствует появлению дорожных заторов. В работе предложен научно-обоснованный подход к решению задачи рационального размещения экипажей аварийных комиссаров на городской территории. Материалы статьи могут быть полезными при регламентации и нормировании деятельности служб аварийных комиссаров, государственной инспекции безопасности дорожного движения, а также при координации их совместного взаимодействия со страховыми компаниями.*

Ключевые слова: *метод Хакими, пропускная способность, службы аварийных комиссаров, дорожные заторы, теория графов.*

Владимир Андреевич Лукоянов - аспирант кафедры автомобильного транспорта Оренбургского государственного университета, тел.: 9198627503, E-mail: tjer2006@yandex.ru.

Андрей Львович Воробьев - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета, тел.: 89226257474, e-mail: object-777@rambler.ru

Проблема образования дорожных заторов на городских улицах крупных городов является наиболее актуальной в решении задач построения эффективной городской транспортной системы. Авторами в ряде работ неоднократно поднимался вопрос о необходимости более внимательного отношения к институту аварийного комиссариата, как одного из инструментов борьбы с дорожными заторами, вызванными дорожно-транспортными происшествиями (ДТП) и инцидентами (ДТИ) [1,2]. В частности, было показано, что:

- на сегодняшний день область деятельности аварийных комиссаров (АК) слабо отрегулирована нормативно-правовым полем [1];

- оформление ДТП АК имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными действиями сотрудниками ГИБДД и самостоятельным оформлением участниками происшествия [2].

Однако, помимо выявленных путей и методов оптимизации самого процесса оказания услуг АК, были сформулированы основные принципы организации территориальной структуры системы оперативного реагирования на ДТП и ДТП [3]:

1 *Принцип системности* – решение задач по развитию и размещению службы АК не отдельной организации, а их комплексов (сети), ориентированных на полное удовлетворение города в квалифицированных услугах по оперативной ликвидации последствий ДТП.

2 *Принцип рациональной территориальной концентрации* – исключение дефицита либо перенасыщения городских районов службами и экипажами АК путем организации минимально достаточного их количества для данного района города.

3 *Принцип оптимальности*, заключающийся в минимизации транспортно-временных издержек, связанных с прохождением процедуры фиксации, оформления и ликвидации последствий ДТП, как со стороны служб АК, так и со стороны участников инцидентов.

Все отмеченные принципы взаимосвязаны, и в интересах эффективного функционирования городской транспортной системы, особенно в современных условиях с повышенной аварийностью на дорогах, необходим одновременный учет их как единой системы [5].

Поиск и исследование моделей размещения экипажей аварийных комиссаров позволили выделить как наиболее подходящий для указанных целей метод Хакими, широко описанный в теории графов [6-9].

Применение данного метода в решении задачи оптимизации размещения служб аварийных комиссаров требует ввода ряда ограничений и допущений. Для этого, в первую очередь, необходимо представить дорожную сеть городской транспортной системы в виде смешанного графа G . Графическая интерпретация такого представления дорожной сети приведена на рис. 1.

При этом следует отметить, что числа, расположенные у перекрестков обозначают номер вершины (последовательная нумерация в произвольном направлении), а числа, расположенные между вершинами – длины дуг, определяемые расстояниями между перекрестками.

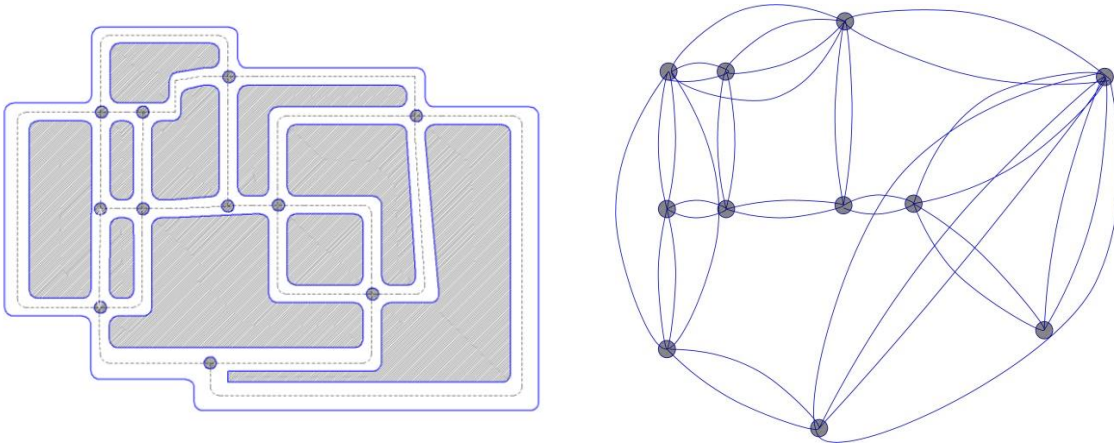


Рисунок 1 - Графическая интерпретация графа дорожной сети города (фрагмент)

На рис. 2, в качестве примера, приведен отдельный район г. Оренбурга

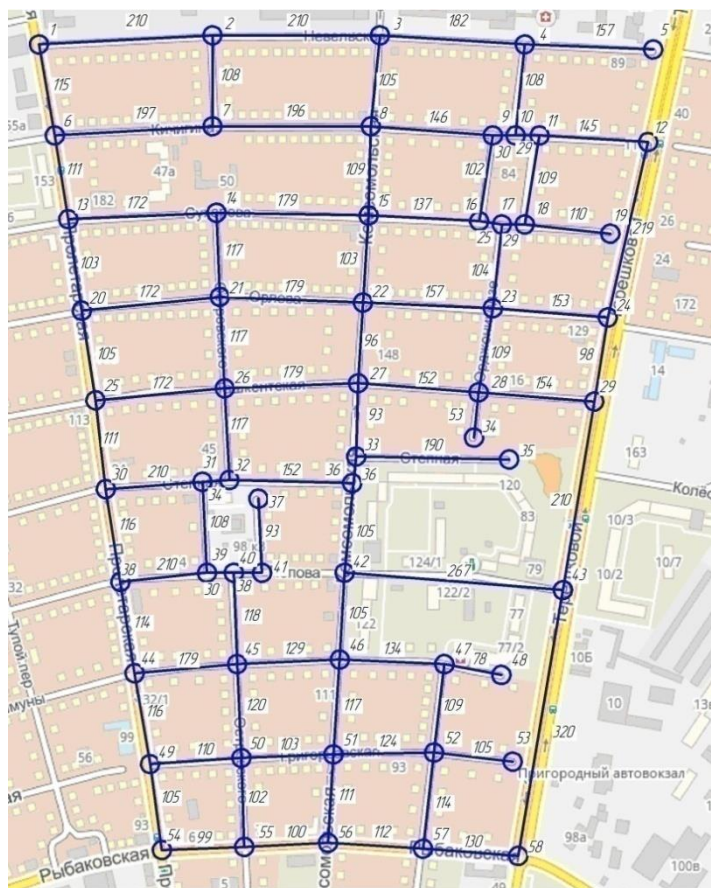


Рисунок 2 - Граф, образованный улицами города Оренбурга

Полученный граф должен обладать рядом свойств, идентифицирующих его:

- вершинами графа G x_1, x_2, \dots, x_i являются перекрестки и примыкания дорог, расположенные на одном уровне, при этом $x_i \in X$;

- дугами графа G являются дороги между вершинами a_1, a_2, \dots, a_m , при этом $a_m \in A$;

- полученный граф G является сильно связанным (ориентированно связанным), т.к. из любой вершины существует путь (маршрут) в любую другую вершину графа;

- данный граф G может иметь кратные дуги и циклы, выраженные в виде объездных путей и кольцевого движения;

- граф G может содержать искусственные вершины y , которые будут определять место размещения экипажа аварийных комиссаров на текущей дуге a_m , при этом если $a = (x_i, x_j)$ представляет дугу графа с длиной c_{ij} , то точка y , помещаемая на этой дуге определяется заданием длины $l(x_i, y)$ участка (x_i, y) (рис. 3), при этом обязательно выполнение следующего равенства (1) [8,9]

$$l(x_i, y) + l(y, x_j) = c_{ij}. \quad (1)$$

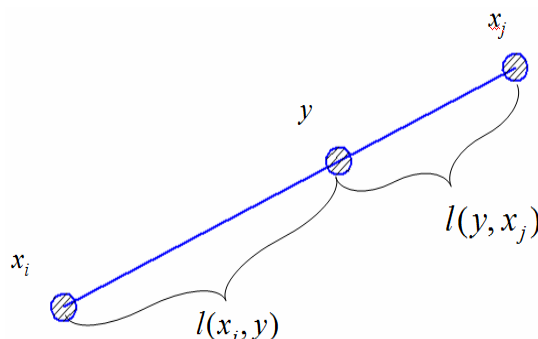


Рисунок 3 - Искусственная вершина на дуге графа G , характеризующая место дежурства экипажа аварийных комиссаров

- в данном графе G отсутствуют изолированные вершины.

- граф G является взвешенным графом, т.е. каждой дуге графа поставлено в соответствие некое числовое значение, называемое весом ребра v_j , который отражает длину пути между вершинами.

Для упрощения некоторых расчетов введем следующее допущение: будем считать дуги графа неориентированными (для ориентированного графа метод остается таким же, необходимо будет только заменить «неориентированную дугу» его «ориентированным двойником» [8,9]). Это допущение означает, что в условиях поставленной задачи будем считать, что

по любой дороге (дуге графа) можно проехать в обе стороны, т.е. все дороги являются двусторонними.

Используя возможности прикладного программного обеспечения AI Nakimi Graf, визуализируем полученный граф как представлено на рисунке 4. Далее, применив методику расчетов, также заложенную в программе, вычислим искомое место размещения экипажей аварийных комиссаров, обозначенное красным кругом на рис. 4.

Абсолютный центр размещения экипажа службы аварийных комиссаров находится на ребре V27 - V33 на расстоянии 16,50 м от вершины V27.

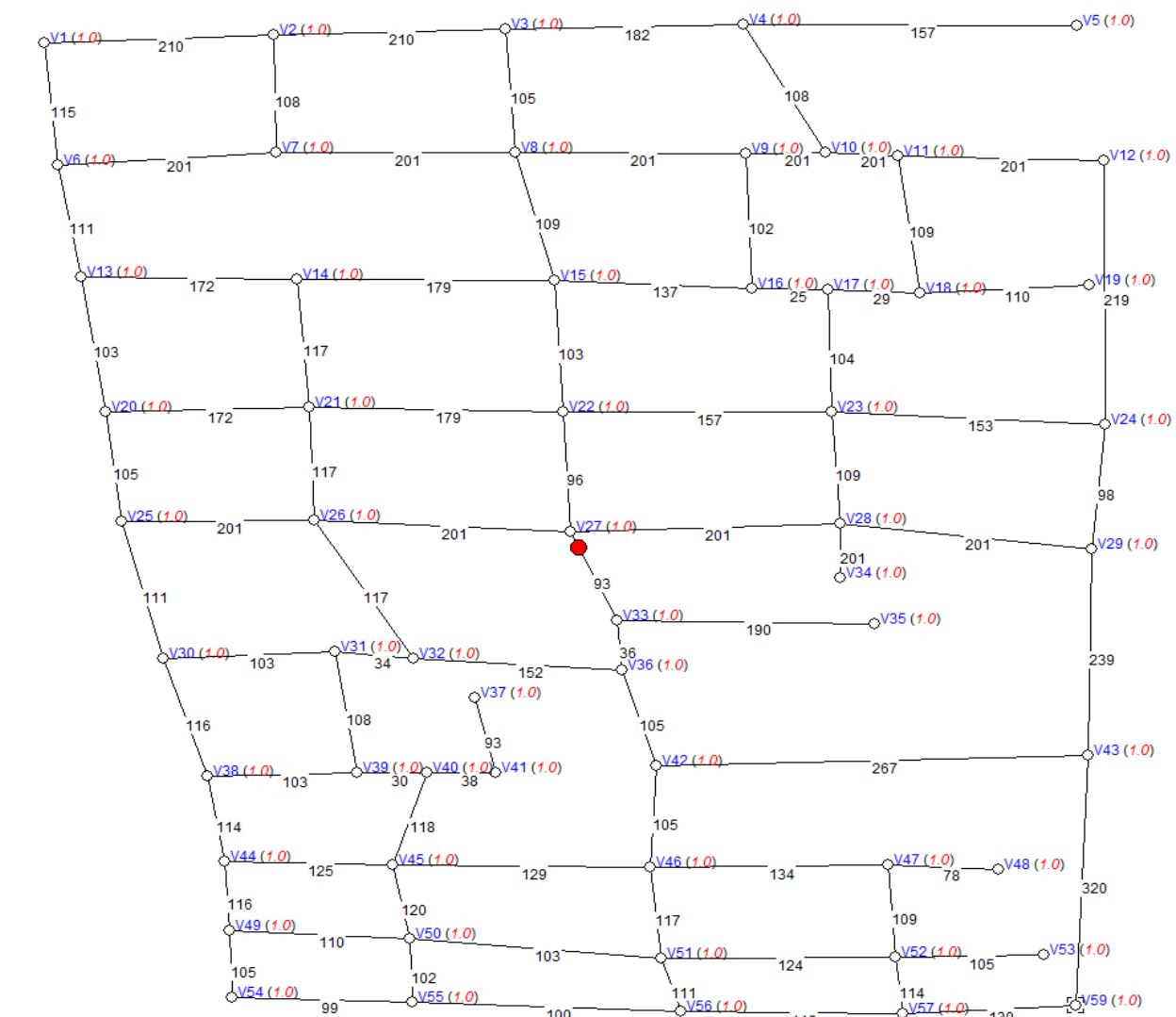


Рисунок 4 - Визуализация выбранного участка дорожной уличной сети в программе AI Nakimi Graf

Однако, такая модель размещения учитывает только расстояния между вершинами образующегося графа. При этом остаются без внимания такие важные показатели как:

- аварийность участка дороги;
- социальная значимость маршрута, образуемого отдельными дугами графа;
- суточные миграции населения и т.д.

Поэтому необходимо усовершенствовать используемую модель и ввести в нее интегральный весовой коэффициент вершины (перекрестка), который бы отражал бы влияние упомянутых выше факторов на размещение экипажей аварийных комиссаров (формула 2)

$$v_j = v_{j1} + v_{j2} + v_{j3} + v_{j4} \dots v_{ju} = \sum_{u=1}^N v_{ju} \quad (2)$$

где $v_{j1}, v_{j2}, v_{j3}, v_{j4}, \dots, v_{ju}$ - весовые коэффициенты, определяемые по различным факторам.

Сама методика определения данных коэффициентов является перспективной данного исследования и в этой статье не рассматривается. Однако, для демонстрации учета влияния описанных выше факторов, введем произвольные интегральные коэффициенты весомости со значениями от 1 до 10 для каждой вершины, как показано на рис. 5. Данные весовые коэффициенты отражают влияние аварийности участка дороги (количества ДТП и ДТИ, случившихся на определенном перекрестке или дуге за один год) на место размещения экипажа аварийных комиссаров.

Абсолютный центр для данного графа находится на ребре V31 - V39 на расстоянии 107,65 от вершины V31. Как видно из рисунка, полученное произвольное распределение интегральных коэффициентов вершин в значительной степени изменило положение абсолютного центра размещения экипажа аварийных комиссаров в представленном графе участка уличной дорожной сети.

Оно смещено в сторону участков дороги с наибольшими значениями коэффициентов, и такое размещение экипажа даст возможность значительно снизить среднегодовое расстояние перемещения экипажа аварийных комиссаров, а следовательно и минимизировать среднегодовые временные издержки, связанные с временем приезда экипажа.

Подводя итоги по данной тематике исследования можно сделать следующие выводы:

1) полученные результаты говорят о целесообразности применения метода Хаками при определении оптимального места размещения экипажей служб аварийных комиссаров с возможностью учета влияния различных факторов, что соответствует задачам повышения качества оказания их услуг [10];

2) данный метод справедлив только в случае, когда исследуемый участок дорожной сети в полной мере может быть обслужен одним экипа-

жем аварийных комиссаров, поэтому всю территорию городской уличной дорожной сети необходимо изначально разбить на графы, обслуживаемые одним экипажем комиссаров. Такое условное разбиение городской территории на участки является одной из частей исследуемой методики, которая разрабатывается в настоящий момент.

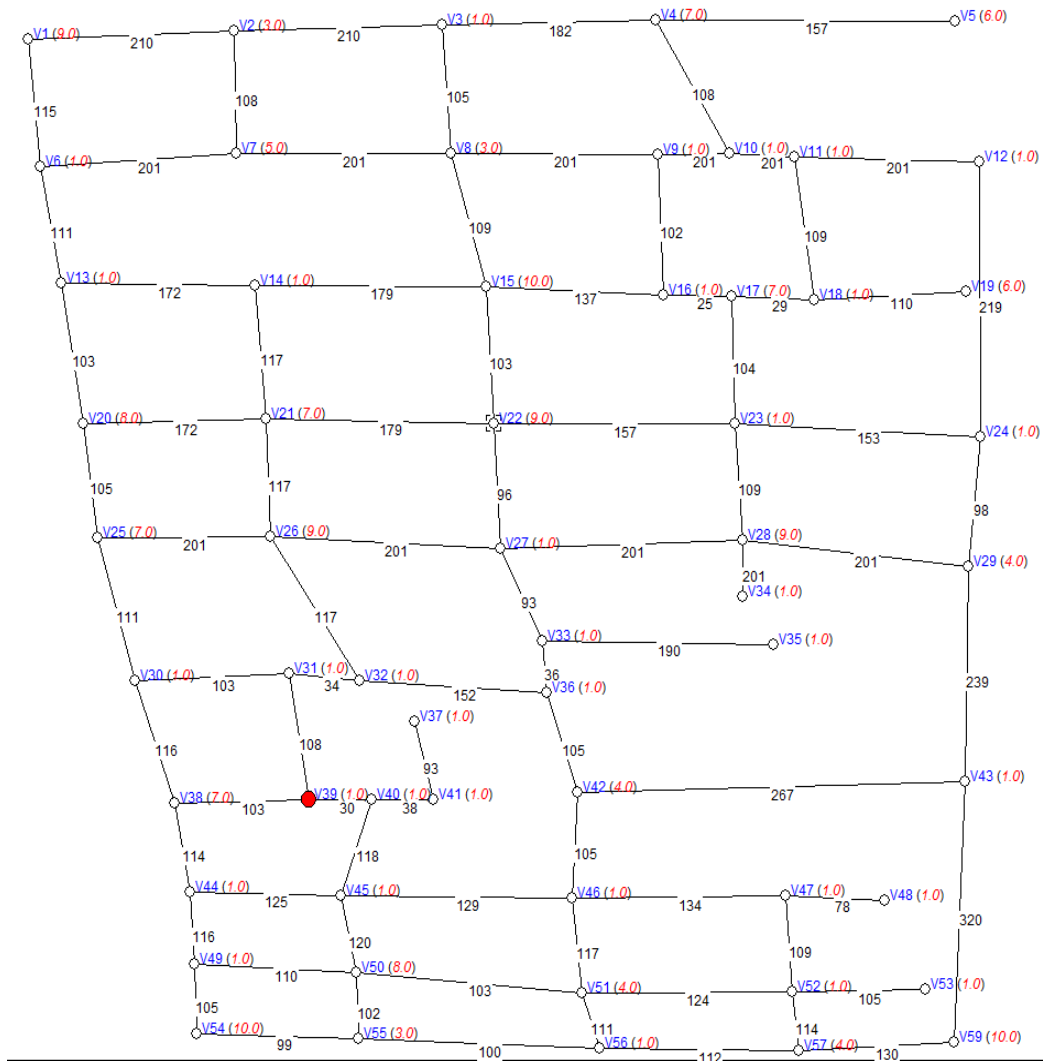


Рисунок 5 - Участок графа уличной дорожной сети с произвольно выбранными коэффициентами весомости вершин

- 3) полученные результаты определения места оптимального размещения экипажей служб аварийных комиссаров в полной мере соответствуют приведенным принципам размещения;
- 4) вводимый ряд ограничений и условностей в целом не меняет условия задачи поиска места оптимального размещения экипажей, однако, является важной составляющей данной методики.

Список использованной литературы

1. Воробьев, А.Л. Типизация как способ минимизации временных затрат на оформление схемы места совершения дорожно-транспортного происшествия аварийными комиссарами / А.Л. Воробьев, И.В. Колчина, В.А. Лукоянов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 6-1. – С. 18-24.
2. Воробьев, А.Л. Оценка эффективности процесса оформления дорожно-транспортного происшествия методом SWOT-анализа / А.Л. Воробьев, В.И. Рассоха, В.А. Лукоянов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – №7. – С. 112-116.
3. Воробьев, А.Л. О принципах оптимального размещения экипажей аварийных комиссаров на территории города / А.Л. Воробьев, В.А. Лукоянов, В.А. Гарельский // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – №11. – С. 8-11.
4. Лукоянов, В.А. Разработка номенклатуры показателей качества услуг аварийных комиссаров [Текст] / В.А. Лукоянов и др. // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник статей XII международной науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Оренбургского государственного университета. - 2015. - С. 410-414.
5. Бегичева, С.В. Модель оптимального размещения станций и филиалов скорой медицинской помощи // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – 6(37). – С. 111
6. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
7. Валеева, А. Н Прогнозирование размещения объектов для формирования эффективной сети в сфере частного предпринимательства // А.Н. Валеева, И.Ф. Валиева / Вестник Казанского технологического университета. – 2014. - №5. – С. 274-278.
8. Гребенюк, Я.А. Параллельный алгоритм Хакими для решения задачи размещения остановки общественного транспорта // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: труды международной суперкомпьютерной конференции. – 17-22 сентября 2012 г. г. Новороссийск – М.: Изд-во МГУ, 2012. – С. 688-689.
9. Шорохова, Ю.В. О планарных графах и связанных с ними задачах / Ю.В. Шорохова, Т.В. Павлова // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. – Тюмень: ТГУ, 2017. – С. 235-240.
10. Воробьев, А.Л. Показатели качества услуг аварийных комиссаров / А.Л. Воробьев, И.В. Колчина // Наука, техника, инновации 2014: материалы международной науч.-технич. конф. – Брянск: ООО «Надежные машины». – 2014. – С. 302-307.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПРОГНОЗ САМОРЕОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А.И. Марковнина, Л.Н. Мазунова, В.С. Макаров

Аннотация. *Проблема реорганизации дорожного движения на время проведения ремонтных дорог стоит всегда, так как дороги постоянно приходят в негодность и возникает необходимость поддерживать их в надлежащем состоянии. Частый ремонт обуславливается увеличением количества автомобилей на дорогах, так как из-за этого дорожное покрытие быстрее изнашивается. Во время ремонта чаще всего перекрывается весь ремонтируемый участок, а из-за перенаправления транспортных потоков меняется загруженность на соседних участках. В данной работе анализируется метод прогнозирования дорожной ситуации, при которой нагрузка на дорожную сеть увеличивается вследствие изменяющихся условиями движения. Применение метода моделирования может существенно упростить задачу прогнозирования поведения водителей в транспортном потоке, так же поможет заранее разработать меры по предотвращению заторов и ДТП.*

Ключевые слова: *имитационное моделирование, дорожная сеть.*

Алина Ивановна Марковнина - инженер, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, 603950, E-mail: alinomalino@yandex.ru.

Лариса Николаевна Мазунова - ст. преподаватель, инженер, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, 603950.

Владимир Сергеевич Макаров - профессор, д.т.н, инженер, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, 603950.

Для решения проблемы прогнозирования движения транспортных потоков используется метод имитационного моделирования. Модели созданы в программе PTVVisSim[3].

Исходными данными для создания среднестатистической модели являются следующие данные: подоснова в виде изображения, либо чертежа; параметры пересечений; характер движения транспорта и пешеходов и иные данные; время светофорных циклов; правила приоритета; наличие парковок и остановок.

С помощью программы PTV Vissim 9 (Student) моделируется фрагмент дорожной сети, в который входят улицы Н.Суловой, Ванеева, Васюнина, Корнилова и Ивлиева. Исследование проводилось в начале 2018 года.



Рисунок 1 - Вид УДС карта и спутник соответственно (Яндекс карты, данные на 21.03.18)

Введено ограничение скорости движения на всех участках, учтено количество полос движения, их ширина и количество [2], которые образуют подъезжающие к перекрестку транспортные средства. В условиях реального движения некоторые водители вместо одного ряда образуют два. Нарушения моделируются путем добавления полосы. Заданы пути следования маршрутных транспортных средств, остановки и интервал движения. Конфликтные точки и направления движения по полосам сделаны в соответствии с ПДД и знаками [1]. Введено соотношение грузовых и легковых транспортных средств в потоке (2% и 98% соответственно).

Маршруты общественного транспорта моделируются по отдельности, со своими остановочными пунктами и расписанием. Каждый светофор регулируется своим светофорным циклом, фазы задаются отдельно. При составлении циклов выставляется степень соблюдения сигнала светофора. Несоблюдение сигналов у водителей до 2%, у пешеходов до 25%. На рис.2 представлен пример светофорного цикла.

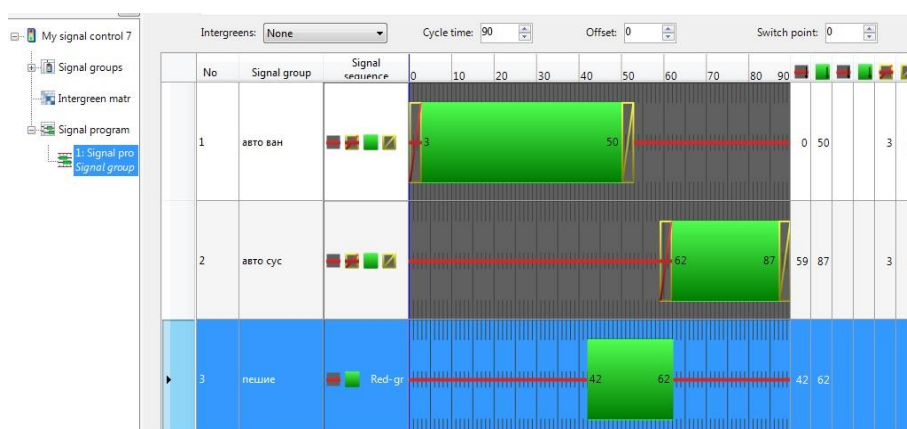


Рисунок 2 - Светофорный цикл на перекрестке Ванеева-Суслова

Далее смоделирована ситуация проведения ремонтных работ, при которой меняются маршруты движения всех транспортных средств, проведен сравнительный анализ двух моделей. Для анализа установлены счетчики длины затора и счетчики времени в пути транспортных средств.

Исходя из полученных значений «ДлЗатМакс», табл. 1 и 2, затор на перекрестке Сулова-Корнилова немного уменьшился (счетчик 1). Затор на светофоре на выезде с парковки торговых рядов (счетчик 3) увеличился в полтора раза. Через это место проходит весь поток, перенаправленный с ул. Суловой. Значения «ДлЗат» отображают аналогичную ситуацию.

Таблица 1 – Длина заторов до реорганизации

№ счетчика	Длина затора средняя	Длина затора максимальная
1	10,55	37,04
2	4,16	32,85
3	5,03	41,75

Таблица 2 – Длина заторов после реорганизации

№ счетчика	Длина затора средняя	Длина затора максимальная
1	4,10	26,17
2	7,04	82,44
3	10,54	67,47

Время в пути от перекрестка Ивлиева-Сулова до площади Советской до и после реорганизации практически не поменялось, из чего можно сделать вывод, что увеличившийся поток не смог значительно задержать транспорт. А путь от перекрестка Ивлиева-Сулова до Сулова-Ванеева увеличился в 2 раза. Путь до реорганизации составлял примерно 980 метров, после реорганизации – 2500 метров. Соответственно, увеличение времени в пути обусловлено увеличением маршрута, а не большей загруженностью УДС.

Таблица 3 – Время в пути ТС до реорганизации

№ счетчика	ТС (все)	ТС (min)	ТС (max)	ВрПути (среднее)	ВрПути (min)	ВрПути (max)
1	21	19	2	179,21	173,48	233,67
2	25	17	8	246,14	209,33	324,36

Таблица 4 – Время в пути ТС после реорганизации

№ счет- чика	ТС (все)	ТС (min)	ТС (max)	ВрПути (среднее)	ВрПути (min)	ВрПути (max)
1	4	2	2	342,78	242,43	443,14
2	8	5	3	269,70	233,73	329,66

Исходя из сбора данных, при перекрытии улицы в анализируемом участке дорожной сети, не возникает большого количества заторов, а их длина не сильно затормаживает движение транспортных средств.

В процессе моделирования важную роль играет правильный сбор начальных данных и полное отображение дорожной обстановки, включая нарушение ПДД. Встречающиеся частные случаи поведения водителей или пешеходов, как не предоставление преимущества в движении или несоблюдение полосности, задаются отдельными полосами, конфликтными зонами, что перегружает программу. Сложно организовать обгон или опережение, так как в реальной обстановке каждый водитель по-разному определяет для себя возможность или невозможность обгона. Несмотря на то, что в реальных условиях водители отказывается от выполнения маневра, программа задает такой режим потока, при котором совершаются все возможные маневры и перестроения. Машины в анимации проезжают слишком близко друг к другу, что делать не рекомендуется, ибо можно спровоцировать других участников дорожного движения на создание аварийной ситуации. Студенческая версия программы имеет ряд ограничений, из-за которых невозможно отразить всю дорожную обстановку.

Программа подходит для получения наиболее вероятного варианта реорганизации транспортных и пешеходных потоков, она отражает четкую и наглядную модель движения.

Список использованной литературы

1. Правила дорожного движения по состоянию на 2019 год. – Москва, Эксмо, 2019. – 96 с. : ил. – (Законы и кодексы).
2. ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения
3. Воробьев, А.И. В751 Методические указания к лабораторным работам по курсу «Интеллектуальные транспортные системы» / А.И. Воробьев, М.В. Гаврилук, М.Г. Плетьев. – М.: МАДИ, 2016. – 44 с.
4. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование.–МГТУ им. Баумана, 2008. – С. 697-737

**СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ И ИНФРАСТРУКТУРЫ
ИСПЫТАНИЙ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТА
ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА**

А.Н. Мярин, Т.П. Егорова, А.Н. Неустроев, В.С. Миронов

Аннотация. Для устойчивого социально-экономического развития Российской Арктики необходимо опережающее развитие арктической транспортной системы. Эта система должна обеспечить надежные транспортные связи, нормальные условия жизнедеятельности на северных территориях России, не только для ускоренного освоения месторождений полезных ископаемых, но и для эффективного обеспечения конституционных прав на транспортную доступность коренным и малочисленным народам в труднодоступных поселениях. Отсутствие системной поддержки сертификационных и доводочных испытаний транспортной техники для эксплуатации в условиях Арктики вызывает необходимость разработки инфраструктуры испытаний автотранспортной техники в Республике Саха (Якутия) для эксплуатации в условиях Арктики.

Ключевые слова: транспорт Арктики, транспортная доступность, адаптация, испытательный полигон, Технический регламент.

Александр Николаевич Мярин - к.э.н., доцент кафедры "Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис" Северо-Восточного федерального университета, директор ООО «АрктикСпецМаш», заместитель председателя по инновационному развитию комитета по транспорту, дорожной инфраструктуре и логистике Торгово-промышленной палаты Республики Саха (Якутия), тел.: 89247612608, 8(4112)47-36-45(ф), E-mail: anmyarin@mail.ru, Россия, 677000, г. Якутск, ул. Красильникова, 13.

Татьяна Поликарповна Егорова— к.э.н., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета, E-mail: tr.egorova@s-vfu.ru, Россия, 677000, г. Якутск, пр. Ленина, 1.

Андрей Николаевич Неустроев - старший преподаватель кафедры "Машиноведение" Автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета, nan_1980@mail.ru, Россия, 677000, г. Якутск, ул. Красильникова, 13.

Василий Сергеевич Миронов - к.э.н., заместитель руководителя аппарата Государственного Собрания (Ил Тумэн) Республики Саха

(Якутия) - начальник аналитического управления,
E-mail: mironov.vasily@gmail.com, г. Якутск, ул. Ярославского, 24/1.

Устойчивое социально-экономическое развитие Российской Арктики невозможно без развития транспортной системы, обеспечивающей надежные транспортные связи, нормальные условия жизнедеятельности на северных территориях России. Задача опережающего развития транспортной системы стоит не только для ускоренного освоения месторождений полезных ископаемых, но и для эффективного обеспечения конституционных прав на транспортную доступность коренным и малочисленным народам в труднодоступных поселениях Арктики. В исполнение поручений Президента РФ В.В. Путина, данных им в Послании Федеральному Собранию 1 марта 2018 г. и Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» подготовлены стратегические документы, связанные с развитием транспортно-логистической инфраструктуры АЗРФ [1]. В связи с реорганизацией Минвостокразвития в Министерство РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики, а также реорганизацией ГоскомАрктики РС(Я) в Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера РС(Я) реализация таких масштабных стратегических документов требует широкого экспертного и общественного обсуждения.

Адаптация серийных моделей автотранспортной техники к эксплуатации в условиях Арктики, прилегающих территорий, в первую очередь, с экстремальными низкотемпературными климатическими условиями и внедрение техники повышенной проходимости выявили ряд проблемных вопросов в сложном процессе от создания транспортного средства до этапа его передачи потребителю. Данное положение обусловлено отсутствием системной поддержки сертификационных и доводочных испытаний транспортной техники для эксплуатации в условиях Арктики. Действующий Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колёсных транспортных средств», вступивший в силу в 2015 г., не стимулирует применение специальных климатических требований для «северных» модификаций транспортных средств [2]. Страны Таможенного Союза расположены в различных климатических зонах — от субтропиков до Арктики, однако действующее техническое законодательство недостаточно учитывает этот фактор. Доходит до абсурда, когда, например, в п. 1.6.10 Приложения 6 требования к конструкции автомобилей скорой медицинской помощи в директивном порядке ограничиваются условиями эксплуатации в умеренном климатическом поясе, то есть до -40°C .

Отсутствие климатических требований в Техническом регламенте актуально для многих «экстремально холодных» регионов (Магаданская область, Красноярский, Хабаровский край и других), где зимние темпера-

туры могут опускаться до минус 50–60°C, а также и для умеренно-холодных регионов РФ и Казахстана. Множество проведенных преобразований в транспортном комплексе так и не выработали оптимальной организационной формы функционирования транспортной системы, адаптированной для условий Севера [3].

В настоящее время, эксплуатационникам автотранспорта Севера в силу их «распылённости» на небольшие предприятия и индивидуальных предпринимателей, в отличие от крупных транспортных предприятий советского периода на тех же огромных территориях, сложно обеспечить заказы на «северные» модификации в объемах, достаточных для серийного производства [4]. Только при значительных объемах производства возможно проведение доводочных, климатических и сертификационных испытаний опытных образцов, а затем опытных партий, в течение 1-3 полных годовых циклов в естественных условиях Севера и Арктики, которые в позднесоветский период проводились в рамках госпрограмм «Техника Севера». В результате, практически весь автотранспорт, эксплуатируемый на Севере, является техникой обычного исполнения, без официального допуска к эксплуатации при температурах ниже –40°C [5].

Действующий Регламент с одной стороны, не полностью учитывает специфику северных регионов, а с другой стороны, установленные Регламентом правила внесения изменений практически исключают возможность на законных основаниях проводить практику «северной» доработки [6].

Вместе с тем, необходимо отметить, что в рамках действующей нормативно-правовой базы уже наработана определенная практика ресурсной и административной поддержки «вынужденного» проведения «доводочных» испытаний «опытных» образцов и опытно-промышленной эксплуатации опытных партий в естественных условиях Севера. Эта практика «вынужденная», так как сертификат выпускаемого в обращение отечественного колесного транспорта в соответствии с действующим Техрегламентом, практически является всего лишь аналогом допуска к доводочным испытаниям в рамках госпрограмм «Техника Севера». Поэтому эксплуатационники Севера вынуждены еще не мене двух зимних сезонов заниматься «доработкой» и только затем приступать к полноценной эксплуатации. Так как эта «доработка» требует значительной материальной и кадровой поддержки, то при их недостатке, транспорт не эксплуатируется при температурах ниже минус 30-40°C или становится не пригодным к эксплуатации в течении первого зимнего периода, особенно на маршрутах в труднодоступные и малочисленные поселения Арктики и прилегающих территорий с экстремальными низкотемпературными климатическими условиями.

В качестве успешного примера вышеуказанной практики «доработки» необходимо отметить **бизнес-модель государственно-частного партнерства создания более 100 снегоболотоходов и их опытно-промышленной эксплуатации в «ГАЗПРОМе» в 2011-2013 г.г. с при-**

менением элементов механизма «Контракта жизненного цикла». Также отметим, эксплуатацию первых 18-ти «северных» автобусов ПАЗ «Вектор» в зиму 2018-2019 г.г. в г. Якутске. Особо отметим, что эта «опытная» эксплуатация проводится предпринимателями НО «Союз Авто» в рамках реализации Соглашения между мэрией г. Якутска и ПАО «ПАЗ».

Внесение соответствующих изменений в Регламент требуют детального изучения вопроса и широкого обсуждения при непосредственном участии, не только представителей заводов-изготовителей, испытательных лабораторий, органов сертификации, ГИБДД и эксплуатационников, но представители основных потребителей и заказчиков этих транспортных услуг [7]. Необходимо отметить роль региональных и муниципальных администраций, которые как заказчики авиационных внутрирайонных (внутриулусных) и межрайонных социально-значимых пассажирских и грузовых перевозок, в целях развития эффективных альтернатив перевозок на автомобилях повышенной проходимости и колесных вездеходах в труднодоступные и малочисленные поселения, должны иметь значительную, если не определяющую роль в этом обсуждении.

Обсуждение вопросов возрождения климатических испытаний в естественных условиях Севера проводилось на различных площадках с участием представителей Торгово-Промышленной Палаты РС(Я), Общероссийского Народного Фронта, Общественной Палаты РС(Я), Общественного Совета Министерства транспорта и дорожного хозяйства РС(Я), Магаданской области, Красноярского и Хабаровского краев, а также Центра Испытаний Научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ). Необходимо отметить особую роль настоящей конференции, которая уже много лет является практически единственной площадкой для автопроизводителей, автотранспортников именно по этой тематике. Благодаря обсуждению данного вопроса появился проект (первая редакция) межгосударственного стандарта «Автомобильные транспортные средства. Климатическая безопасность. Технические требования и методы испытаний», разработанный ФГУП «НАМИ» в соответствии с Программой межгосударственной стандартизации на 2018 г. и, практически, являющийся развитием национального стандарта РФ ГОСТ Р 50992-96 «Безопасность автотранспортных средств при воздействии низких температур внешней среды. Общие технические требования».

Еще раз подчеркнем необходимость участия в этом обсуждении ключевых потребителей автотранспортных услуг северных регионов РФ и Казахстана, так как именно они способны наиболее эффективно и компетентно содействовать обоснованию экономической эффективности государственной поддержки отечественных автопроизводителей и автотранспортников. Для ведущих недропользователей, в качестве эффективных инвестиций в развитие своих «ведомственных» транспортных подразделений.

Для «несырьевых» и инфраструктурных предприятий, в первую очередь, как основы «технологического прорыва» транспортно-логистической блокады инновационного развития местных производств (рыболовство, оленеводство и т.д.) и традиционного образа жизни в труднодоступных и малочисленных поселениях Арктики.

В краткосрочной перспективе модернизация транспортной инфраструктуры Арктической зоны РС (Я), как одной из самой крупной по территории и самой экстремальной по природно-климатическим условиям всей Арктической зоны РФ должна быть актуализирована по следующим направлениям:

- формирование системы адаптации и создания серийных моделей транспортных средств (грузовых и пассажирских) для эксплуатации в условиях Севера и Арктики;

- обеспечение безопасного функционирования транспортных средств и транспортных коммуникаций.

В настоящее время, различные меры ежегодной господдержки отечественного автопрома составляют более 150 млрд. рублей [8]. Для обсуждаемого «возрождения» программы «Техника Севера» в части автотранспортной и колесной вездеходной техники, может потребоваться дополнительно от 10 до 20 млрд. руб. в течение 3-5 лет на поддержку, в том числе в качестве мер по поддержке импортозамещения отечественных производителей и транспортников Севера, в части возмещения объективного удорожания «северных» модификаций автотранспорта.

Социально-экономический (мультипликативный) эффект от реализации предлагаемых мероприятий может не только кратно компенсировать затраты, но и стать пилотным проектом для всего машиностроительного комплекса страны по возрождению госпрограммы «Техника Севера».

Наиболее актуальным элементом госпрограммы «Техника Севера» для первоочередного возрождения, по нашему мнению, является:

- активизация участия в разработке ТЭО и ТЗ адаптации и создания транспортных средств представителей всех ключевых потребителей транспортных услуг северных регионов;

- проведение в значительных объемах в период не менее полного годовичного «климатического» цикла в естественных условиях Севера доводочных испытаний опытных образцов и опытно-промышленной эксплуатации опытных партий;

- создание специализированного серийного (малосерийного) производства северных модификаций колесного транспорта в г. Нерюнгри, в рамках южноякутской ТОСЭР или программы «моногородов», которое в период строительства ВАЗа и КАМАЗа, Минавтопром СССР начал в г. Чита;

- создание специализированного межрегионального Органа (добровольной) сертификации с рабочим названием «Колесный транспорт Севе-

ра». С актуальными компетенциями в своей сфере Научного Совета по проблеме «Создание машин работающих в условиях низких температур» при Госкомитете по науке и технике Совета Министров СССР и Междугосударственной комиссии по проблемам Севера Совета по изучению производительных сил при Госплане СССР.

Отметим, что предлагается консолидировать представительство всех отечественных ключевых потребителей услуг колесного транспорта под эгидой Минэкономразвития РФ. За основу взаимодействия федеральных и региональных структур принять модель создания «АЛРОСА» в части учета интересов населения «алмазоносных» территорий – соответственно, территорий с естественными низкотемпературными условиями. То есть, кроме представителей региональных администраций Якутии, Красноярского края и Магаданской области необходимо участие муниципальных администраций Оймяконского, Верхоянского, Томпонского районов, городов Якутск, Мирный, Нерюнгри в Якутии; - Сусуманского, Ягодинского, Среднеканского районов, города Сусуман Магаданской области; - Эвенкийского, Таймырского районов, города Норильск Красноярского края.

При этом, предусмотреть активное участие в создании предлагаемого Органа сертификации, кроме таких ведущих отечественных НИИ, как НАМИ и НИИАТ и подразделений РАН в Якутии, Красноярском крае, федеральных университетов в Якутске, Красноярске, Владивостоке, Архангельске, а также региональных. Из региональных НИИ Якутии, отметим необходимость участия подразделений Академии наук РС(Я) и института «ЯкутНИПРОАлмаз», который может представлять ПАО «АЛРОСА» не только в качестве одного из ключевых заказчиков транспортных услуг, но и крупных ведомственных транспортных предприятий, имеющих значительный опыт по «доводочным» испытаниям и опытно-промышленной эксплуатации колесных транспорта не только отечественных, но и зарубежных производителей.

Естественно, одним из ключевых региональных участников создания предлагаемого Органа сертификации должны быть, кроме региональных подразделений РОССТАНДАРТа, уже созданные (аккредитованные) в регионах, а также региональные подразделения или представительства соответствующих Органов сертификации и Испытательных лабораторий, в первую очередь, в целях содействия обеспечения повышения качества испытаний на основе мониторинга уже проводимых испытаний и экспертиз. В том числе и для сотрудничества с Федеральной корпорацией МСП, как с преемником ежегодного конкурса Минэкономразвития России по развитию инфраструктуры поддержки МСП в части создания и развития региональных центров сертификации, стандартизации и испытаний.

В целях консолидации и координации работы учреждений образования и науки предлагаем создание научно-образовательного транспортного кластера на Северо-востоке России, в качестве его якорного субъекта

определить Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (с филиалами в городах Мирный, Нерюнгри и Анадырь). Использование механизма государственно–частного партнерства для проведения испытаний, эксплуатации новых видов автомобильного и прочих видов транспорта, адаптированного к условиям Арктики, возможно из бюджетов Республики Саха (Якутия), Российской Федерации и бюджетов крупных добывающих компаний-недропользователей.

Данная модель государственно–частного партнерства может охватывать разные виды деятельности: от проектирования, разработки, проведения доводочных, сертификационных испытаний, опытно-промышленной эксплуатации разных видов транспортной техники (автомобили повышенной проходимости, вездеходы, снегоболотоходы, аэросани – амфибии и пр.). Организация в Республике Саха (Якутия) «северных» подразделений Органов сертификации и Испытательных лабораторий, а также подразделений ведущих отечественных и зарубежных машиностроителей по доработке автотранспортной или иной техники возможна на базе уже существующих Инжинирингового центра ГАУ РС(Я) «Технопарк «Якутия» и ТОСЭР «Кангалассы» (г. Якутск). Возможна организация производства опытных образцов и опытных партий (в т.ч. колесных вездеходов) с проведением основной части доводочных испытаний на Испытательном полигоне СВФУ (являющимся резидентом ТОСЭР и развитием практики испытаний японских шин «Бриджстоун» на автодроме Автодорожного факультета СВФУ с 2012 г.) или на базе Жатайского судоремонтно – судостроительного завода (аэросани-амфибии). Основная часть проведения опытно-промышленной эксплуатации опытных партий новых образцов возможна на типовом маршруте Якутск – Оймякон (Верхоянск) – Депутатский – Тикси.

Мультипликативный эффект от возрождения испытаний на территории Якутии способен компенсировать затраты по дооснащению машин до «северного» варианта за счет значительного сокращения эксплуатационных расходов техники на основе повышения надежности и безопасности (в т. ч. экологической), отсутствия потребности в удлинении технологической цепи изготовления техники, проведения мероприятий по оформлению необходимых правовых документов, сертификации транспортных средств и т.д.

Представленное концептуальное решение проблемы формирования инфраструктуры сертификационных и доводочных испытаний автотранспортной техники позволит ускорить процесс модернизации транспортной системы Арктики и сформировать бизнес-модель по испытаниям и госприемке транспортной техники для промышленности, различных подразделений Минобороны России, МЧС России и других ведомств Российской Федерации. Начало реализации данных мероприятий позволит повысить транспортную доступность арктических районов РС (Я), увеличит мобиль-

ность и качество жизни населения, активизирует интеграцию в процессы социального развития региона.

Список использованной литературы

1. О действиях по реализации Указа Президента России от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://government.ru/news/32567/> Дата обращения: 26.03.2019.

2. Технический регламент Таможенного союза N TP ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 877 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://base.garant.ru/70106658/> Дата обращения: 26.03.2019.

3. Феденко Е.М., Певнев Н.Г. Повышение безопасности экипажа грузовых автомобилей эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера/ В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство // Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции. – 2018. – С. 178-182.

4. Мярин А.Н. Возрождение климатических испытаний модификаций автотранспорта для Севера и Арктики и снегоболотоходов в Якутии / Журнал автомобильных инженеров. – 2016. – N 1 (96). – С. 48-53.

5. Кириллов К.А. Регламентация требований к безопасности автотранспортных средств (АТС) в Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС) при внесении изменений в конструкцию / Труды НАМИ. –2016. – N3(266) . –с.63-72

6. «О контроле за внесением изменений в конструкцию транспортных средств» Письмо ГУОБДД МВД РФ №13/5–У–1225 от 25.02.2015 Информационно-правовой портал МВД РФ [Электронный ресурс] Сайт обращения: http://rulaws.ru/acts/Pismo-MVD-Rossii-ot-25.02.2015-N-13_5-u-1225/. Дата обращения 26.03.2019.

7. Ковтунец Н.В., Шачнев П.Г. Подтверждение соответствия колесных транспортных средств в Евразийском экономическом союзе: проблемы и пути их решения / В сборнике: Техническое регулирование в едином экономическом пространстве // Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под научной редакцией Б.Н. Гузанова. – 2017. – С. 34-39.

8. Поддержка развития отечественного автопрома/ портал «Открытый бюджет» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://budget.minpromtorg.gov.ru/citizens/card/podderzhka-razvitiya-otechestvennogo-avtoproma-2>. Дата обращения: 26.03.2019.

КАСПИЙСКИЙ ПОРТ АКТАУ В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Н.Н. Панасенко, Н.В. Дульгер

Аннотация. *Каждая из Прикаспийских стран после принятия 12 августа 2018 года Конвенции о правовом статусе Каспийского моря, интенсифицирует решение амбициозной задачи – создать суверенный нефтегазодобывающий регион на Каспийском море. Решение этой задачи способствует системному, комплексному и эффективному промышленному и социальному развитию прикаспийских стран, для которых Каспийский регион является одним из приоритетных для развития. Страны Каспия имеют здесь серьезные геополитические и экономические интересы, которые заключаются в рациональном освоении богатств национальных секторов Каспийского моря. Вот почему они заинтересованы в укреплении своих геополитических позиций на Каспии. Как это следует из принятой Конвенции, Россия занимает конструктивную позицию, нацеленную на реализацию взаимовыгодных проектов и развитие сотрудничества со всеми прикаспийскими государствами. Именно в связи с этим в России проявляют практический интерес, в частности, к портам Республики Казахстан, где порт Актау является одним из важнейших. Значимость Каспийского порта Актау обусловлена еще и тем фактором, что Каспийское море кратчайшим путем соединяет Центрально-Азиатские республики и европейскую часть России со странами бассейна Индийского океана, Ближнего Востока, Западной и Центральной Азии. Создание транспортного коридора позволяет сократить время доставки и снизить транспортные расходы.*

Ключевые слова: Каспийский порт Актау, Конвенция, Каспийское море, морские технологии, развитие.

Николай Никитович Панасенко - док.тех. наук, профессор, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», 414056 г.Астрахань, ул.Татищева, 16, тел.: (8512) 61-41-19, тел./факс: 61-43-66, E-mail: astu@astu.org.

Надежда Валерьевна Дульгер - канд. тех. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», 414056 г.Астрахань, ул.Татищева, 16, тел.: (8512) 61-41-19, тел./факс: 61-43-66, E-mail: astu@astu.org.

Порт Актау – самый современный порт на Каспии (рис.1), открывающий большие возможности для развития транспортных маршрутов Азия-Европа-Азия с выходом на порты Балтийского и Черного морей, северные и южные порты Ирана, морского сообщения с Российской Федерацией, Туркменистаном и Азербайджаном. Многоцелевой терминал порта позволяет обработку контейнеров, генеральных и навалочных грузов до 1,5 млн. тонн в год и нефтеналивных грузов до 10 млн. тонн в год. Значимость порта Актау определяется фактором трансграничных железнодорожных путей Прикаспийских государств, связывающих Прикаспий с Ираном и через Россию, с Западной Европой (рис.1, 2). Как видно на рис. 2а Казахстан построил свой участок железной дороги Узень (Казахстан)- Гызылгая – Берекет – Этрек (Туркменистан) - Горган (Иран), которая соединила республику Казахстан с Туркменией и Ираном. С учетом старой эксплуатируемой железной дорогой по Западному побережью Каспия, порт Актау имеет железнодорожный выход, как на «Север», так и на «Юг» международного транспортного коридора «Север - Юг».

На сегодняшний день порт Актау представляет собой современный многоцелевой терминал, обладающий технологическими возможностями: наличие обширных площадей (более 50 тыс.кв.м. открытых площадок и крытый транзитный склад – 6 тыс.кв.м), обеспечивающих надежное хранение грузов, в том числе тяжеловесных, а также эффективная перевозка парка контейнеров, является ключевым звеном в работе порта Актау.

Реконструкция обеспечила порт Актау тремя универсальными причалами для обработки генеральных и навалочных грузов, причалом для экспорта зерна и перегрузки тяжеловесов и обработки судов типа «РО-РО» общей протяженностью новых причалов - 550 м и возможностью одновременной обработки 4-х судов в том числе паромный комплекс, приспособленный для наката-выката железнодорожных вагонов на специализированные паромы и наличие четырех нефтеналивных причалов, имеющих возможность одновременной обработки 4-х танкеров с водоизмещением до 12 тыс.т. Порт обновил оборудование, дающее возможность перевалки всех видов генеральных и насыпных грузов и грузов в контейнерах. Порт имеет следующие характеристики по проходным осадкам судов: проходная осадка в судозаходном канале - 6 м; проходная осадка к нефтяным причалам – 6 -7 м; проходная осадка к сухогрузным причалам – 6 - 7 м; проходная осадка к паромной переправе - 5,3 м. Существующая портовая инфраструктура характеризуется следующим перечнем портовых объектов: два причала многоцелевого терминала; складской двор 50 тыс.кв.м для навалочных и генеральных грузов; крытый транзитный склад 6000 кв.м; площадка для перевалки металлолома и сыпучих грузов 22,5×65 м; причал разно-цельного терминала; причал для экспорта зерна и перегрузки тяжеловесов; причал для маломерных судов; буксиры для организации букси-

ровки и швартовых операций; экологическое оборудование для ликвидации разливов нефти. Обслуживание сухогрузного района по маневрированию и передвижению подвижного железнодорожного состава осуществляет железнодорожная станция нефтеналивного района по наливу нефти и трубопроводные компании «Казтрансойл», «Артис Оверсиз», «Терминалекс Ойл Терминал».

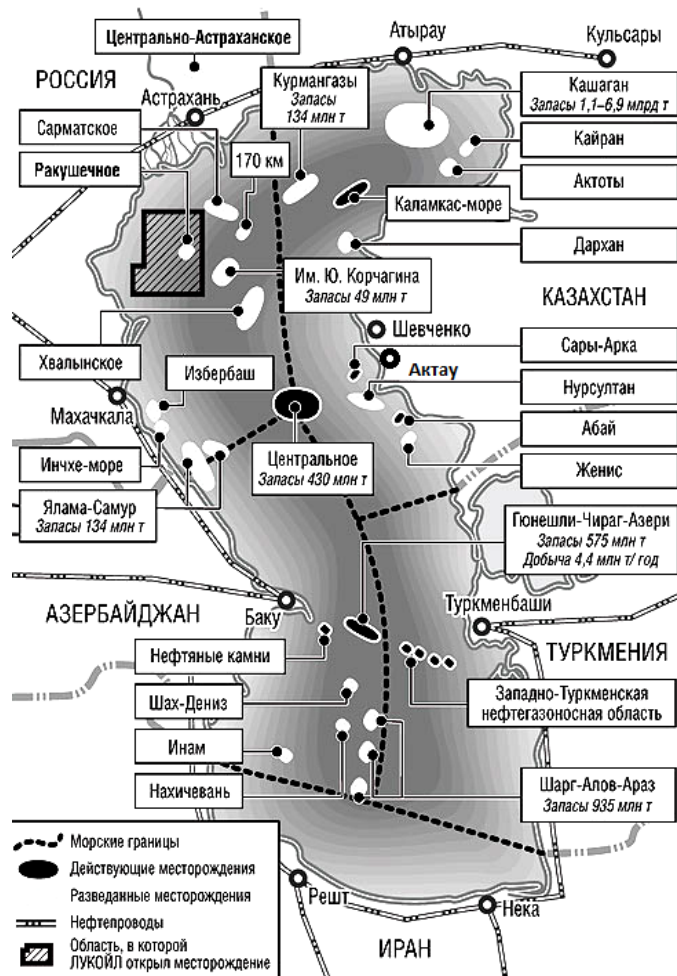


Рисунок 1 - Деление дна Каспийского моря на сектора-участки дна и недр, разграниченные между Прикаспийскими государствами в целях недропользования и другой правомерной хозяйственно-экономической деятельности, связанной с освоением ресурсов дна и недр

Причальное подъемно-транспортное оборудование порта Актау: порталные краны (г/п: 10, 16, 20, 32т); мобильные портовые краны типа ЛНМ фирмы «Либхер» (г/п: 37, 64, 80т); полуприцепы фирмы «Буискар» (г/п 50т); портовые тягачи фирмы «SISU» (г/п 50т); вилочные и автопогрузчики модели FD фирмы «Komatsu», модели DCD фирмы «SISU» и фирмы «Kalmar»; грейфера; спрейдеры, магниты, захваты для обработки различных грузов (см. рис.3).



а)



б)

Рисунок 2 - Порт Актау:

а- географическое положение порта на транспортном коридоре «Север-Юг»; б – причалы порта



а)



б)

Рисунок 3 - Подъемно-транспортное оборудование причалов порта Актау:

а – порталные краны; б – металл в штрипсах на грузовых причалах

Порт в пределах отведенной ему территории, акватории и рейда, осуществляет на основании договоров (соглашений) с судовладельцами или их агентами, грузовладельцами или экспедиторами грузовладельцев, фрахтователями и другими клиентами услуги, включающие: погрузку, разгрузку (включая штивку), сепарирование, крепление, раскрепление груза, сухую зачистку грузовых помещений после выгрузки судов с осадкой объявленной портом; транспортно-экспедиторское обслуживание; складские операции с грузами (рис.4, 5); перевалку на морской транспорт грузов с других видов транспорта и обратно; обработку судов с продовольственны-

ми грузами и зерновыми грузами, требующими для хранения специализированных складов, «прямым вариантом» (судно-вагон; судно-автомашина; судно-судно и обратно), без хранения на складе порта (рис.5,6). Опасные грузы перерабатываются портом Актау по правилам ИМКО, МОПОГ, по предварительному согласованию с портом [3,4]. Завоз груза производится по подтверждению порта, изготовление коносаментов, манифестов, оформление грузовых и других транспортных документов на погруженный/выгруженный груз; швартовые операции; оформление свободной практики судов.



а)



б)

Рисунок 4 - Причалы порта Актау:
а – водный причал; б – береговой причал



а)



б)

Рисунок 5 - Порты Актау:
а) открытые складские площадки; б) крытый транзитный склад



а)



б)

Рисунок 6 - порта Актау:

а) зерновой терминал; б) зерновые силосы

Порт производит на причале и на рейде: снабжение судов пресной водой; снятие льяльных, балластных, фекальных вод, снятие мусора; предоставление буксиров для производства швартовых операций. В рамках осуществления международных и внутренних перевозок порт может осуществлять работы и услуги по дополнительным заявкам: предоставление отстойных причалов для судов; предоставление судам мусорных контейнеров; сухую зачистку грузовых помещений судов; энергоснабжение судов; подработку грузов (ремонт тары, перетаривание груза и т.д.); маркировка и перемаркировка груза; спецкрепление груза на транспортных средствах; прочие работы и услуги, обусловленные договорами (соглашениями), включая расчеты по диспачу и демерреджу. Грузовые операции осуществляются на 2-х грузовых районах - сухогрузном и нефтеналивном, в соответствии с их специализацией (рис.7).

Современная портовая инфраструктура порта Актау созданная в последние три года, дала Республике Казахстан условия для лидерства среди всех стран Каспийского моря по качеству, многообразию и доступности портовых услуг. Порт Актау ставит для себя задачи по обеспечению интеграции водной транспортной системы Республики Казахстан в мировую транспортную систему; развитию альтернативных транспортных маршрутов с выходом на порты Черного моря через канал Волга - Дон, на северные порты Ирана; расширению деятельности порта Актау в обеспечении международной торговли, снижению стоимости перевозок и товаров. Решению этих задач способствует вложения иностранных инвестиций в нефтедобывающую отрасль региона (см. рис.1) и в расчете на использование созданной транспортной инфраструктуры. Из-за своего выгодного географического расположения Казахстан, продолжает обеспечивать транспортные коридоры с Севера на Юг и с Запада на Восток, тем самым связывая перспективные регионы для развития торговых отношений. Порт Актау является основной частью транспортных коридоров Европа-Азия, про-

ходящих через Каспийское и Черное моря, Волгу, Волго- Дон и Беломоро- Балтийский канал, а также в направлении Ирана. Задействован маршрут проекта ТРАСЕКА, проходящий через порты Актау - Баку (Азербайджан) - Поти (Грузия).



Рисунок 7 - Транспортно-технологическое обеспечение порта Актау:
а – контейнерные перевозки; б- автомобильные; в- нефтеналивные

В перспективе рынок морских перевозок порта Актау будет развиваться по следующим направлениям:

- Иранское направление - прямое водное сообщение с экспортно-импортными грузами в ИРИ и транзитом в страны Персидского залива. Иранское направление характеризуется уже существующей развитой международной торговлей ИРИ со странами СНГ, относительной развитостью портов, существующей паромной линией Актау - Баку - Ноушахр.

- Российское направление - прямое водное сообщение с портами РФ, Каспийского (Махачкала, Астрахань, Оля) и Азовского бассейнов с экспортно-импортными грузами в РФ, характеризуется существующими отношениями в области транспортировки нефти, перспективой развития торговли, использования российского транзитного потенциала, перспективой развития пассажирских перевозок. В части развития портовой инфраструктуры необходимо отметить программу развития российских портов в Каспийско - Азовском бассейне;

- Северное направление (прямое водное сообщение посредством канала Волго-Балт с экспортно-импортными (транзитными) грузами в страны Балтийского бассейна).

Использование указанных направлений доставки транзитных грузов из стран Тихого океана и Персидского залива через Иран, Каспийский регион, Россию и далее в страны Восточной и Западной Европы позволило втрое укоротить существующий маршрут того же назначения через Суэцкий канал. Создание маршрута «Север-Юг» повлияло на снижение тарифов на 30% на Суэцком направлении, а также изменило планы России по

увеличению грузопотока в данном направлении, в частности, контейнерного, в течение ближайших десяти лет до 80-100 тыс. ед. в год.

Реализация соглашения о создании данного транспортного коридора предусматривает повышение эффективности транспортных связей, объемов международных перевозок и грузов и создание условий равного доступа всем участникам при перевозках в пределах коридора, что будет способствовать организации перевозок с использованием Волго-Балтийской водной системы, выхода в порты Персидского залива и далее. Присоединение Казахстана, в частности, порта Актау к международному коридору «Север-Юг» предполагает предоставление России определенных возможностей по использованию транзитного потенциала автомобильных и железных дорог, пролегающих по территории Западного Казахстана. Порт Актау в данном маршруте в большей степени должен рассматриваться как экспорто - ориентированная грузовая база и потребитель определенного объема импортных грузов. Прогнозируемые объемы транзита в рамках указанного маршрута гарантированно могут увеличиться за счет грузов следующих из Средней Азии, в частности из Узбекистана.

Обозначая важность транспортных коммуникаций, в частности автомобильных путей в деятельности транспортных узлов, каковым является порт Актау, следует отметить, что участие Казахстана в коридоре "Север-Юг" предусматривает, как использование порта Актау при морских перевозках, так и перспективы задействования Российских автодорог и дорог западного Казахстана, в частности участка порт Актау - Бейнеу – Опорная.

Кроме маршрута «Север-Юг» через регион Восточного Каспия проходит международный маршрут движения грузов ТРАСЕКА, в связи с чем, в порту Актау образован транспортный узел нескольких видов транспорта, таких как железнодорожный, автомобильный, водный и трубопроводный (см. рис.7). Международное соглашение по прокладке нефтепровода Баку - Тбилиси - Джейхан подтверждает перспективность отгрузки нефти через морской порт Актау. Поэтому проект ТРАСЕКА рассматривается как межгосударственная программа с участием России по развитию транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия. Целью проекта является создание и развитие транспортного коридора Запад-Восток из Европы, через Кавказ и Каспийское море в Центральную Азию и далее в Китай.

Важнейшей задачей для стран-участниц программы Европейской Комиссии ТАСИС-ТРАСЕКА остается задача в полной мере реализовать свои геополитические и экономические возможности через развитие транспортных сетей международного транспортного коридора "ТРАСЕКА", официально признанным мировым сообществом и ведущими международными организациями (ЭСКАТО ООН и ЕКМТ), как естественный транзитный мост между Европой и Азией [5]. Что касается инвестиционной политики Республики Казахстан на пути становления порта Актау, то здесь применяется известный в мировой практике трехполюсный принцип

финансирования развития транспортных систем порта Актау триадичная модель. Логика современного экономического развития Республики Казахстан практически во всех сферах предполагает регулируемое разнообразие участия в нем заинтересованных сторон (рис.8) [5,6]. Если «многоуровневость» транспортного развития порта Актау (всех исторически сложившихся в регионе видов транспорта: железнодорожного, речного, морского и т.п., а также с учетом сложившихся в них форм разделения труда) проявляет некоторое направление «X» транспортной техносферы, за успешное и сбалансированное развитие, которого может и должно отвечать государство, заботясь об обслуживании транспортных потребностей многоуровневым развитием предложений доставки грузов любым из действующих в мире видом транспорта на выбор потребителя, то удовлетворение более тонких запросов транспортных услуг, порождаемых социальным спектром общества, спецификой транспортируемых грузов, индивидуальным запросом заказчика и т.п., может и должно обеспечиваться функционированием гибкой конкурентной среды в пределах каждого вида транспорта (в поперечном к «X» направлении «Y» на рис. 8). Эта задача, как показывает опыт высокоразвитых стран, посильна только частному капиталу с преимущественно региональными стимулами обращения капиталов. Поэтому развитие гибкой вариативности должно быть правильно спроектировано государственными требованиями к вариативности всех видов транспорта страны на специфический социально-трудовой и производственный плацдарм региона. Кроме направлений «X» и «Y», третье направление «Z» развития региональной транспортной сферы порта Актау сосредоточено во властных и управленческо-производственных кругах региона, причем решающее место в разработке инвестиционной политики занимает администрация региона и транспортные Администрации по видам транспорта.

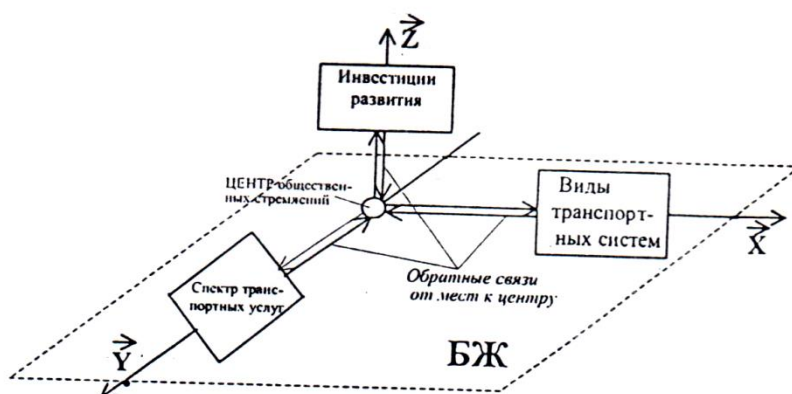


Рисунок 8 - Триадичная схема развития капитала транспортных систем по трем взаимно ортогональным (независимым) направлениям транспортной техносферы (БЖ - блок жизнеобеспечения)

Вектор развития порта Актау Республики Казахстан после принятия Прикаспийскими странами Конвенции о правовом статусе Каспийского моря [1], получил дополнительные возможности, на основе принципа «делим дно (см. рис.1) – вода общая», где согласно статье 3, п.10 суда и грузы порта Актау получили свободный доступ из Каспийского моря к другим морям, Мировому океану и обратно на основе общепризнанных принципов и норм международного права и договоренностей соответствующих Прикаспийских стран с учетом законных интересов стороны транзита в целях расширения международной торговли и экономического развития.

Как это следует из представленной здесь работы, Каспийский порт Актау Республики Казахстан, как и порты других Прикаспийских стран, является международным морским портом, имеющим возможность реализовать все современные технологии на транспорте [6].

Список использованной литературы

1. Конвенция о правовом статусе Каспийского моря" (Актау, 12 августа 2018 г.).
2. Алекперов В. Ю. Реалии и векторы развития нефтегазовой промышленности в российском секторе Каспийского моря / В. Ю. Алекперов, Р. У. Маганов. - Москва : Зебра-ПП, 2018. - 218 с.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks215591>
3. «Международная конвенция об ответственности и компенсации за ущерб в связи с перевозкой морем опасных и вредных веществ 1996 года» (HNS) (Лондон, 3 мая 1996г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/72141676/>
4. Положения, касающиеся сообщений об инцидентах, связанных с вредными веществами согласно МАРПОЛ 73/78648 (16 1989. – ИМО, 1990.
5. Попов В.В. Проблемы развития крупных портов России / В.В. Попов; Рос. акад. трансп. - М. : РосКонсультант, 2000. - 591 с.
6. Винников В.В. Системы технологий на морском транспорте (перевозка и перегрузка) / В.В. Винников, Е.Д. Крушкин, Е.Д. Быкова; под общ. ред. В.В. Винникова: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — О.: Фенікс; М.: ТрансЛит, 2010. - 576 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://t-library.ru/showBook.php?id=6751>

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ В ШКОЛЬНЫХ ЗОНАХ

Е.Р. Ибраимова, В.А. Печкин

Аннотация. *В последние годы в Российской Федерации проводятся активные мероприятия по снижению уровня аварийности. Данные мероприятия способствует существенному снижению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Наряду с общим уровнем аварийности наблюдается сокращение количества ДТП с участием детей. Несмотря на эти показатели ситуация с обеспечением безопасности детей остается неудовлетворительной, особенно это заметно в сравнении со статистикой аварийности с участием детей в западных странах.*

Ключевые слова: *участники дорожного движения; школьная зона; район школы; школьная зона с ограничением скорости; ограничение скорости для школьных зон; зона обслуживания школы – территория, на которой проживают учащиеся данной школы (независимо от способа и дальности передвижения к школе); безопасная школьная зона; школьный маршрут; школьный переход*

Екатерина Руслановна Ибраимова - магистрант 2 курса, кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел: 89245475696, E-mail: ekaterina.ibraimova@tl-istu.com.

Владимир Анатольевич Печкин - кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89021715310, E-mail: pechkin@istu.irk.ru.

Участники дорожного движения – это водители и пассажиры транспортных средств и пешеходы. Они обязаны выполнять требования Правил дорожного движения, сигналов светофоров, знаков, разметки, распоряжения регулировщиков и не должны причинять вреда и создавать опасность для движения[1].

Участникам дорожного движения запрещается загрязнять и повреждать дороги, приводить в негодность и самовольно устанавливать (снимать) дорожные знаки, светофоры, другие технические средства, загромождать дороги и оставлять на них предметы, мешающие движению.

Пешеходом называется лицо, находящееся вне транспортного средства на дороге и не производящее на ней работу. К пешеходам относятся

люди, передвигающиеся в инвалидной коляске без двигателя, ведущие велосипед, мопед, мотоцикл, везущие санки, тележку, коляску.

Движение пешеходов осуществляется по тротуарам и пешеходным дорожкам, а где их нет – по обочинам или велосипедным дорожкам.

Двигаться можно как по направлению движения транспортных средств, так и в противоположном направлении. Вне населенных пунктов при отсутствии пешеходной и велосипедной дорожек, обочин пешеходам разрешается идти по краю проезжей части навстречу транспортному потоку.

Школьная зона – участок улично-дорожной сети (УДС), прилегающей к зданию школы или земельному участку, в пределах которого школьное учреждение оказывает влияние на дорожное движение.

Зона школьная: специально спроектированная территория, прилегающая непосредственно к школе, подчеркивающая нахождение здесь школы и обеспечивающая безопасную среду нахождения школьников посредством применения таких средств, как предупреждающие знаки, средства успокоения движения и ограничение скорости 30 км/ч[2].

Под школьными учреждениями следует понимать общеобразовательные школы, а также музыкальные, спортивные и иные детские учреждения.

К сожалению, в нашей стране безопасность движения в зоне расположения школ ограничивается пока введением ограничения скоростей движения, размещением дорожных знаков и разметки, что при постоянно увеличивающейся интенсивности является явно недостаточным. Значительным фактором, влияющим на безопасность школьников, является размещение школьных учреждений в жилых кварталах.

Опытные данные, полученные как из зарубежных, так и отечественных источников, свидетельствуют о том, что основное внимание при организации школьных маршрутов следует уделять местам пересечения улиц и дорог. Оборудованные пешеходные переходы должны быть в значительной степени устроены таким образом, чтобы не только учесть маршрут движения школьников, но и иметь меньшее расстояние до школы. Такое положение обусловлено тем, что на нерегулируемых пешеходных переходах совершается 68% ДТП, а на регулируемых 26%, причем именно на этих элементах дорог погибает и получает ранения основная часть детей.

Приведенные данные статистики аварийности в основном получены в крупных городах и в населенных пунктах, где улично-дорожная сеть на большей ее части имеет освещение, и в темное время суток родители, как правило, встречают своих детей, и, тем не менее, в темное время суток происходит заметное количество ДТП с участием детей.

О влиянии освещения на аварийность убедительно указывают данные анализа: в 9% случаев отсутствия освещения в темное время суток в

ДТП на маршруте «школа–дом–школа» погибает и получает ранения около 50% детей.

Изучение статистических данных свидетельствует о том, что количество школ в нашей стране с необособленной территорией существенно меньше, чем огороженных, и количество таких школ в последние годы заметно снижается. Это определено градостроительными нормами, которые устанавливают требования по размещению школьных учреждений в жилых массивах с обязательным ограждением их по периметру.

Изучение причин возникновения ДТП в зоне школьных учреждений дает основание считать, что основной является превышение водителями скорости в данных дорожных условиях. При этом наблюдается несмотря на установленные знаки ограничения скорости, осторожно дети, искусственные дорожные неровности и т. д. Вполне очевидно, что виновниками ДТП нередко являются и дети, которые нарушают ПДД, переходя улицу вне пешеходного перехода или перебегая ее на запрещающий сигнал светофора.

В последние годы обеспечению безопасности детей стали уделять более заметное внимание, и количество школ с необособленной территорией существенно сокращается. Вместе с тем такие школы, да и другие детские образовательные учреждения еще имеются.

В то же время школьные зоны в ряде стран (США, Канада, Австралия, Новая Зеландия, Великобритания и т.д.) зарекомендовали себя как эффективная мера обеспечения безопасности движения школьников. Поэтому им уделяется существенное внимание в зарубежной практике организации дорожного движения, свидетельством чего является факт проведения специального международного симпозиума «Безопасность школьных зон» («SchoolZoneSafety» 25.08.2005 г. Сеул, Южная Корея).

В Великобритании термином «Безопасная школьная зона» (Schoolsafetyzone) обозначают прилегающую к школе специально спроектированную территорию, которая обеспечивает безопасную среду нахождения школьников. Это достигается применением таких средств, как предупреждающие знаки, успокоение движения и ограничение скорости 20 миль/ч. Кроме того, на прилегающем к школе участке дороги или улицы вводится запрет на паркование и остановку транспортных средств в часы школьных занятий [3].

Для США характерны ограничения скорости 20 и 30 миль/ч. В североамериканской практике во многих случаях муниципалитеты вводят собственные ограничения скорости в школьных зонах. Следует отметить широкое распространение ужесточения наказаний за нарушения ограничений скорости, которые оцениваются как достаточно серьезные правонарушения.

В последнее десятилетие в организации движения в школьных зонах стали внедряться различные элементы интеллектуальных транспортных

систем (ITS). Многочисленность школьных зон и насыщенность их знаками ограничения скорости, оборудованных проблесковыми светофорами, работающими только в определённые часы суток, привело к естественной идее применения автономного энергоснабжения (солнечные батареи) и беспроводной связи для дистанционного управления работой проблесковых светофоров, светодиодных табло и подсветки дорожных знаков. В настоящее время во многих странах с помощью школьных патрулей, оснащенных специальными знаками осуществляется охрана нерегулируемых пешеходных переходов. Что исключает возникновение несчастных случаев в этих местах [4].

Основное функциональное назначение школьных патрулей – обеспечение безопасности движения в местах пересечения школьниками проезжих частей улиц и дорог. Проведенные исследования, а также анализ зарубежного опыта показали, что важным фактором повышения безопасности детей является создание безопасных школьных зон. Вместе с тем с учетом уже сложившейся мировой практики представляется необходимым разрабатывать мероприятия по обеспечению безопасности движения школьников, основываясь не только на понятии безопасная школьная зона, но и на следующих понятиях:

- зона обслуживания школы – территория, на которой проживают учащиеся данной школы (независимо от способа и дальности передвижения к школе);
- безопасная школьная зона – зона, в границах которой скорость составляет 30 км/ч и на всех переходах устанавливается знак «Школьный переход»;
- школьный маршрут – путь, по которому дети ходят в школу;
- школьный переход – пешеходный переход, на котором в любой из часов суток интенсивность движения школьников превышает заданную величину.

Внедрение школьных зон в Российской Федерации потребует:

- разработать положения о составе документации «Проекта безопасной школьной зоны» и требования, предъявляемые к такому документу;
- разработать дорожные знаки и дорожную разметку: «Школьный переход»; «Впереди школьный переход»; «Школьная зона 30 км/ч»; «Впереди школьная зона 30 км/ч»; «Школьная зона (разметка)» [5].

Кроме того, необходимо на законодательном уровне рассмотреть правовые аспекты функционирования охраны школьных переходов, ее статус, обязанности и полномочия, ее работы совместно со службами ГИБДД и местной администрацией.

Список использованных источников

1. Правила дорожного движения Российской Федерации 2018г. Общие положения участников движения п1.3, п1.5. Электронный ресурс // <https://pdd.am.ru/rules/>
2. Методические рекомендации по применению свода правил «Улицы и дороги населенных пунктов» – Москва, 2017. – 12с.
3. Cairnsi S. Achieving safer school travel in the UK // Paper for an international symposium about ‘School Zone Safety’, convened by the Korean Association for Safe Community, Seou, 24 August 2005. – 13 p.
4. Manual Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. Part 7. Traffic Controls For School Areas // Federal Highway Administration. 2003 Edition. – 26 p.
5. Planning for Safe Transport Infrastructure at Schools. Technical guidance for the provision of effective and safe transport infrastructure at schools // Queensland Gaverment April 2011. – 77 p.

УДК 656.11

ФОРМИРОВАНИЕ КОРИДОРОВ ПРИОРИТЕТНОГО ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

А. Горев, А. Солодский О. Попова, Д. Оспанов

Аннотация. Рассмотрены принципы формирования коридоров для приоритетного движения городского пассажирского транспорта (ГПТ). Дано определение коридора приоритетного движения ГПТ, рассмотрены условия и требования к его формированию на улично-дорожной сети. Дан анализ критериев образования такого коридора, приведены рекомендации по методам организации движения и разделению потоков автомобильного транспорта и ГПТ.

Ключевые слова: *городской пассажирский транспорт, коридор приоритетного движения.*

Андрей Горев - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4.

Александр Солодкий - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4.

Ольга Попова - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4.

Даурен Оспанов - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4.

Введение

Транспорт обеспечивает перемещения людей, товаров и услуг, движений городе вкладывает «жизнь» в его инфраструктуру. С другой стороны, развитие транспортного сектора ведет к росту численности транспортных средств и, как следствие, сопутствующим проблемам, связанным с перегруженностью улично-дорожной сети, дорожно-транспортными происшествиями, загрязнением окружающей среды[1,2]. Эти проблемы в транспортных системах городов могут быть решены существенным повышением роли массового транспорта общего пользования, качества его работы. В условиях появления новых сервисов для обеспечения мобильности, таких как carsharing, carpooling или ridesharing и т.п. пользователь предъявляет к массовому транспорту общего пользования повышенные требования к продолжительности поездки и точности соблюдения графика движения. Выполнить эти требования можно за счет применения специальных методов организации движения в коридорах приоритетного движения общественного транспорта[3].

Основные принципы формирования коридоров приоритетного движения общественного транспорта

В связи с тем, что основной целью организации приоритета движения маршрутного транспорта является повышение скорости и регулярности движения, в комплекс обеспечивающих мер включают следующие мероприятия [4]:

- Определение коридоров движения ГПТ как взаимоувязанных участков УДС, обеспечивающие связь между основными центрами генерации и поглощения транспортного спроса, обслуживающих этот спрос маршрутов, на которых реализованы в различных сочетаниях планировочные, организационные и управленческие мероприятия по обеспечению заданной социальным стандартом транспортного обслуживания скорости и регулярности движения ГПТ.
- Оценка потоков ГПТ и автомобильного транспорта, их времени задержки в течении суток, объемов перевозки и возможностей концентрации маршрутов ГПТ в коридоре с учетом сохранения их доступности и альтернативных путей следования для автомобильного транспорта.
- Определение необходимости и целесообразности организации приоритетного движения маршрутного транспорта на элементах УДС исходя из

градостроительных условий, технических возможностей и величины достигаемого снижения суммарных издержек всех пользователей УДС.

- Выполнение проекта организации движения и при необходимости реконструкции элементов УДС для обеспечения приоритета ГПТ.
- Расчет пропускной способности коридора движения ГПТ и при необходимости корректировка маршрутной сети, режимов ее обслуживания и используемых типов ПС.
- Определение режимов обслуживания предприятий, если это обслуживание осуществляется с полосы для движения маршрутных транспортных средств.

В современной городской среде, насыщенной автомобильным транспортом, важнейшее значение имеет разделение транспортного пространства между частным (коммерческим) и общественным пассажирским транспортом. С этой целью перед проектированием маршрутной сети необходимо на УДС выбрать те улицы и дороги, на которых будет выделяться пространство для эффективной работы ГПТ[5]. При выборе коридоров для ГПТ следует руководствоваться следующими основными принципами:

- максимизация количества обслуживаемого населения;
- наличие существующих линий ГПТ, образовательных учреждений, торговых и деловых центров, узлов внешнего транспорта и линий метро и железной дороги;
- минимизация влияния на транспортные потоки за счет использования гибких мер для обеспечения приоритета ГПТ;
- минимизация эксплуатационных расходов ГПТ за счет повышения скорости, обеспечения регулярности движения;
- максимизация доходов за счет повышения привлекательности ГПТ и увеличения объемов перевозки;
- минимизация внешних издержек за счет улучшения экологии и качества городской среды.

С учетом перечисленных факторов обычно коридоры ГПТ прокладывают по основным городским магистралям, т.к. по ним уже проходит большое количество маршрутов ГПТ, сосредоточены основные центры активности и население города. Выделение коридора ГПТ по второстепенным улицам, особенно в центральной части города, как правило, приводит к необходимости их закрытия для транзитного движения автомобильного транспорта, но зачастую это является лучшим решением для создания благоприятной городской среды. Наибольшие сложности в этом варианте возникают с обслуживанием коммерческих предприятий, находящимся на улице с запретом автомобильного движения и необходимостью запрета стоянки частных автомобилей. Для решения этих проблем разрабатываются специальные проекты с организацией доступа с других улиц или приня-

тием графика обслуживания в нерабочее для ГПТ время, но европейский опыт показывает, что повышение привлекательности городской среды и улучшение ее доступности повышают выручку коммерческих предприятий и стоимость недвижимости в районе коридора ГПТ[6].

Специальные методы организации движения и работы ГПТ могут быть сгруппированы в следующие рекомендации:

- Разделение существующего дорожного пространства между ГПТ и автомобильным транспортом. Это решение требует тщательного планирования и оценки эффективности, но является наиболее дешевым решением по сравнению со строительством новых путей для ГПТ.

- Для организации приоритетного проезда на регулируемых пересечениях иногда достаточно обеспечить проезд ГПТ по ближайшему по времени разрешающему сигналу светофора, не допуская его нахождения в очереди. Для скоростных маршрутов может потребоваться специальное регулирование работы светофоров для безостановочного проезда. Уменьшение потерь для автомобильного транспорта в этом случае может обеспечиваться синхронизацией проезда пересечения ПС ГПТ, следующих с разных направлений по одной фазе и т.п.

- Мониторинг эффективности реализованных мероприятий с анализом степени повышения эксплуатационных скоростей ГПТ и возможностей их дальнейшего роста. При необходимости корректировка принятых решений.

- Постоянный контроль соблюдения ограничений по использованию полос для движения маршрутного транспорта автомобильным транспортом.

- Максимально широкое внедрение безналичных форм оплаты проезда. На магистральных маршрутах с большими пассажиропотоками хорошую эффективность показало использование закрытых остановочных пунктов с предварительной оплатой проезда на входе в него.

Оптимизация расположения остановочных пунктов позволяет сократить общее время поездки как за счет повышения эксплуатационной скорости ГПТ за счет сокращения количества остановочных пунктов, так и за счет оптимального соотношения между временем пешего подхода, интервалом движения и дальностью поездки. Для сокращения общего времени поездки большое значение имеет сокращение времени пересадки между маршрутами и между различными видами ГПТ. Необходимо стремиться к одинаковой высоте посадочной платформы и уровня пола в салоне ПС, что позволит сократить время посадки и высадки, обеспечить максимальную безопасность и удобство для пассажиров с детскими колясками, велосипедами и лиц с ограниченными физическими возможностями.

- Ликвидация дублирования маршрутов позволяет существенно повысить экономическую эффективность системы ГПТ.

- Необходимо использовать ПС, конструкцией которого предусмотрено максимально удобные условия для входа и выхода пассажиров: широкие двери, низкий уровень пола в салоне и т.п.

Анализ условий и критериев целесообразности организации приоритета ГПТ, предлагаемых российскими специалистами, приведен в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, большинство специалистов в качестве критерия необходимости организации приоритетных условий предлагают использовать величину сокращения затрат времени всех перемещающихся по участку УДС людей. При этом используют различные алгоритмы расчета величины сокращения затрат времени.

Таблица 1 - Критерии необходимости приоритета ГПТ

Автор	Критерии	Наименование источника
С.И.Смирнов	Сокращение суммарной стоимости задержек различных типов ПС и пассажиров	Смирнов, С. И. Совершенствование организации приоритетного движения средств маршрутного пассажирского транспорта в городах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Смирнов Сергей Иванович ; [МАДИ]. – М., 1984.
В.И.Шлейков, А.М. Костин, Ю.В. Игнатъев	Интенсивность движения ПС ГПТ 30-40 ед./ч в одном направлении	Шлейков, В. И. О взаимосвязи режимов движения массового пассажирского транспорта и транспортных потоков. Схемы и проекты организации движения в городах в условиях самоуправления территорий / В. И. Шлейков, А. М. Костин, Ю. В. Игнатъев // тезисы докладов науч.-практ. семинара. – Свердловск: Комвакс, 1991. – 73 с.
Ю.Д.Щелков	Интенсивность движения ПС ГПТ более 40 (крайне правая выделенная полоса) и более 80 (крайне левая) и интенсивность движения автотранспорта не более 800 ед./ч на полосу.	Организация дорожного движения в городах : метод. пособ. / под ред. Ю. Д. Щелкова. – М. : НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.

Продолжение таблицы 1

О.В.Попова	Сокращение суммарных затрат времени участников движения и пассажиров на рассматриваемом участке УДС	Попова, О. В. Разработка методики планирования приоритетного движения наземного общественного транспорта :диссерт. канд. техн. наук : 05.22.10 / Попова Ольга Валентиновна ; [СПбГАСУ]. – СПб., 2003
А.А.Антонова	Снижение потерь от суммарной задержки транспортных средств	Критерии выделения полос приоритетного движения маршрутного пассажирского транспорта // А.А.Антонова, А.Ю.Михайлов, научные материалы XIII Международной (шестнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния», 14-15 июня 2007 г. Науч. ред. - С.А.Ваксман. Екатеринбург: Издательство АМБ, 2007. С. 79-86
М.Р.Якимов	В зависимости от значения разности общего времени задержек для всех участников движения при организации выделенной полосы для ГПТ и без выделения полосы	Якимов, М. Р. Методология обоснования целесообразности выделения обособленных полос для движения общественного транспорта на улично-дорожной сети крупного города / М.Р. Якимов // Вестник МАДИ 2 (25) 2011, июнь – Москва, 2011. – С. 90–95.
А.М.Белова	Суммарные потери времени пассажиров ГПТ	Белова, А.М. Основы методики планирования организации выделенных полос для движения общественного транспорта [Текст] / А. М. Белова // «Вестник гражданских инженеров». – СПб., 2012 – 6 (35) декабрь – С.123-129.

Окончание таблицы 1

Ф.В.Акопов	Сокращение суммарных затрат времени участников движения	Акопов, Ф. В. Проблемы организации выделенных полос для движения наземного городского пассажирского транспорта / Ф. В. Акопов // Проблемы и основные направления модернизации транспортного комплекса Московского региона: сб. науч. тр. МАДИ – Москва, 2012. – С. 83–89.
А.В.Косцов	Величина пассажиропотока на ГПТ с учетом уровня загрузки улицы в течении суток	А.В. Косцов. Проектирование городских магистральных улиц с учетом приоритетного движения наземного общественного транспорта по обособленным полосам. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МАДИ, Москва, 2012

При формировании коридоров приоритетного движения ГПТ следует учитывать, что критерии, перечисленные в таблице 1, могут не соответствовать требованиям предоставления приоритета ГПТ на всем протяжении коридора. Их применение целесообразно только для выявления основных направлений для формирования коридора приоритетного движения ГПТ.

Зарубежные специалисты обращают мало внимания на условия движения автотранспорта, если поток пассажиров, использующих ГПТ значителен. Так, в Великобритании приоритет движению ГПТ рекомендуется организовывать при потоке более 50 единиц ПС ГПТ в час или 2 тыс. пасс./ч[7]. Конкретизация мероприятий в зависимости от интенсивности пассажиропотока приведены в таблице 2.

Критерии организации приоритета движению ГПТ, принятые в Южной Корее приведены в таблице 3[8].

Эффективным методом ускорения пропуска маршрутных транспортных средств является выделение транспортного пространства, по которому запрещено движение другим транспортным средствам. Для этого в зависимости от конкретных условий можно выделять одну или несколько полос движения, обеспечивать беспрепятственное движение ГПТ средствами ИТС или запрещать по улице движение автомобилей. Сравнение различного размещения полосы для маршрутных транспортных средств приведено в таблице 4.

Таблица 2 - Рекомендации по составу мероприятий для обеспечения приоритета ГПТ

Пассажиропоток, тыс. пасс./ч	Мероприятия по обеспечению приоритета
Менее 2	Отдельные мероприятия на пересечениях с большой интенсивностью движения
2-8	Выделенные полосы и приоритетное пересечение регулируемых перекрестков с большой интенсивностью движения
8-15	Выделенные или изолированные полосы и приоритетное пересечение регулируемых перекрестков
Более 15	Изолированные полосы и приоритетное пересечение регулируемых перекрестков Закрытые остановочные пункты с предварительной оплатой проезда

Улица или ее участок для движения только ГПТ выделяется, как правило, в центральной части городов, парковых зонах и т.п., там, где необходимо повысить комфортабельность городской среды или невозможно совместить полосу для движения маршрутных транспортных средств с движением автомобилей, например из-за ограниченной ширины улицы. На таких улицах реализуются меры для улучшения движения пешеходов и велосипедистов.

Таблица 3 - Минимальные значения критериев организации обособленных полос для движения ГПТ в Южной Корее

Число полос в данном направлении	Интенсивность движения автобусов, ед./ч	Пассажиропоток, пасс./ч	Тип выделенной полосы
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
3	60	1800	Крайняя правая полоса в направлении движения транспортного потока
	100	3000	Крайняя правая полоса в направлении движения транспортного потока
			Крайняя полоса в направлении против общего транспортного потока

Окончание таблицы 3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	150	4500	Крайняя правая полоса в направлении движения тра - ного потока*
			Крайняя левая полоса в направлении движения тра - ного потока*
4	100	3000	Крайняя правая полоса в направлении движения тра - ного потока
	150	4500	Крайняя правая полоса в направлении движения тра - ного потока*
			Крайняя левая полоса в направлении движения тра - ного потока*

* - в районе остановочных пунктов организуются дополнительные обгонные полосы

Изолированный путь для движения ГПТ реализуют при необходимости обеспечения высокой скорости сообщения. Как правило, он сочетается с сооружениями, позволяющими избежать пересечения транспортных и пешеходных потоков (ограждения, путепроводы, тоннели, эстакады, надземные или подземные пешеходные переходы), поэтому требуют повышенных инвестиций. Наиболее часто такой метод используется в трамвайных системах. Для движения колесного ПС изолированный путь оснащается боковыми ограничителями, по которым движутся направляющие ролики, стабилизирующие движение автобуса или троллейбуса.

Таблица 4 - Особенности обеспечение приоритета ГПТ на перегоне

Метод	Достоинства	Недостатки
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Улица или ее участок для движения только ГПТ и пешеходов	Наиболее простая организация Формирование комфортной городской среды	Необходимость альтернативных путей для движения автомобилей Трудность обслуживания жилой и коммерческой застройки с данной улицы

Окончание таблицы 4

Изолированный путь для движения ГПТ	Обеспечивает наибольшую скорость и безопасность движения	Требует выделения пространства вне УДС или строительства эстакад и путепроводов (тоннелей)
Крайне правая полоса для маршрутных транспортных средств	Наиболее простая организация Минимальные капитальные затраты	Трудность организации правого поворота для основного потока Ликвидация остановки и стоянки автомобилей Необходимость ввода специального режима обслуживания предприятий, которое происходит с УДС
Вторая справа полоса для маршрутных транспортных средств	Сохранение стоянки автомобилей Возможность обслуживания предприятий с УДС	Необходимость капитальных затрат для реконструкции проезжей части для размещения остановочных пунктов Пересечение полосы для маршрутного транспорта автомобилями для заезда и выезда со стоянки
Крайне левая полоса для маршрутных транспортных средств	Возможность повышенной скорости движения Сохранение существующих условий подъезда к объектам вдоль УДС	Трудность организации левого поворота для основного потока Необходимость капитальных затрат для организации остановочных пунктов и подхода к ним
Полоса навстречу потоку при одностороннем движении (контрполоса)	Наиболее простая организация Минимальные капитальные затраты	Отсутствие, как правило, возможности организации полосы для маршрутного транспорта по направлению основного транспортного потока

Крайне правая полоса выделяется, как правило, в сложившейся транспортной инфраструктуре на нешироких дорогах с частыми остановочными пунктами, и, следовательно, не высокой эксплуатационной скоростью. Как правило, такая полоса организуется на сложившихся участках улично-дорожной сети, поэтому возможности ее физического (конструктивного) отделения от общей проезжей части ограничены. В этом случае используются невысокий бордюрный камень или флажки. Эти способы от-

деления полосы позволяют при необходимости заезжать на полосу в любом месте или выезжать с нее. Использование резиновых делинаторов показало, что они не долговечны в эксплуатации и легко повреждаются при наезде автотранспорта или при зимней уборке улицы.

Результаты и обсуждение

Колоссальные проблемы городов, связанные с обеспечением мобильности населения и устойчивого функционирования экономики могут решаться только за счет развития городского пассажирского транспорта общего пользования. Это предъявляет повышенные требования к качеству его работы. При оценке качества транспорта общего пользования население на первое место ставит скорость и регулярность транспортного сообщения. Обеспечить эти требования можно только за счет формирования коридоров приоритетного движения ГПТ, в которых должны использоваться специальные методы организации дорожного движения.

Список использованной литературы

1. Yin, H., Wong, S. C., Xu, J., & Wong, C. K. (2002). Urban traffic flow prediction using a fuzzy-neural approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10(2), 85-98. doi:10.1016/S0968-090X(01)00004-3
2. Gorev A., Solodkij A. System Approach to Elimination of Traffic Jams in Large Cities in Russia. *World Applied Sciences Journal* 23 (8): 2013: p.1112-1117.
3. Robertson, D. I., & Bretherton, R. D. (1991). Optimizing networks of traffic signals in real Time – The SCOOT method. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40(1), 11-15. doi:10.1109/25.69966
4. Горев А. & Попова О. (2017). Система методов и комплекс организации приоритетного движения маршрутного пассажирского транспорта, Транспортное планирование и моделирование: сборник трудов II Международной научно-практической конференции. 24-25 мая 2017 года; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 314 с. (с. 83-96)
5. Popova, O., Gorev, A., & Shavyraa, C. (2018). Principles of modern route systems planning for urban passenger transport. *Transportation Research Procedia* (36): 2018: p. 603–609.
6. Steemers, K. (2003). Energy and the city: Density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35(1), 3-14. doi:10.1016/S0378-7788(02)00075-0
7. Lester S. East London Transit. *Transportation research*, London, GB, July 2001, p. 40-42.
8. Seo Y.U., Jang H., Park J.H. A Study on Setting-Up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, 2005, pp. 339-341.

ПЛАНИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ В ГОРОДАХ РОССИИ

И.В. Спирин, О.Ю. Матанцева, Ю.М. Гришаева, М.И. Савосина

Аннотация. Городской транспорт является лидером в деле устойчивого развития (УР) урбанизированных территорий. В ОАО «НИИАТ» разработан проект методического обеспечения транспортного планирования регулярных перевозок пассажиров, установленного федеральным законодательством. В настоящих условиях транспортное планирование не обеспечено методологически, информационно и в кадровом отношении. Осуществление транспортного планирования в соответствии с концепцией УР требует решения рассмотренных проблем и создания научно обоснованного методического обеспечения для подготовки кадров проектировщиков.

Ключевые слова: устойчивое развитие, регулярные перевозки пассажиров, городской транспорт, транспортное планирование, актуальные проблемы

Иосиф Васильевич Спирин - д-р техн. наук, профессор, заведующий научно-исследовательским отделом «Экономика транспорта» ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24, тел.: +7(916)2456132, E-mail: ivspirin@yandex.ru.

Ольга Юрьевна Матанцева - д-р экон. наук, канд. техн. наук, доцент, профессор МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский просп., 64; заместитель генерального директора ОАО «НИИАТ» по научной работе, Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24.

Юлия Михайловна Гришаева - д-р пед. наук, доцент, профессор МГОУ, Россия, 141014, г. Мытищи МО, ул. Веры Волошиной, 24; заведующий аспирантурой ОАО «НИИАТ», Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24.

Мария Иосифовна Савосина - соискатель ОАО «НИИАТ», Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24.

Введение

Устойчивое развитие (*Sustainable Development*) в настоящее время является глобально признанным генеральным направлением преобразований общества и экономики, в том числе – городского пассажирского транспор-

та, реализуемым не только в развитых странах, но также в государствах с экономикой переходного типа и развивающейся экономикой [1]. Концепция устойчивого развития (УР), разработке которой были посвящены международные конференции ООН (основные из них: Рио-де-Жанейро в 1992 г. и 2012 г.; Йоханнесбург в 2002 г.), является динамической формой материализации ноосферных идей, сформулированных столетие тому назад Э. Леруа (фр. *Édouard Louis Emmanuel Julien Le Roy*; 1870-1954), П. деШарденном (фр. *Pierre Teilhard de Chardin*; 1881-1955), и развитых акад. В.И. Вернадским (1863-1945) [2].

Городской пассажирский транспорт (ГПТ) стал приоритетным производственно-техническим комплексом, в котором успешно реализуется концепция УР [1, 3]. Лидерство ГПТ в использовании концепции УР объективно обусловлено важнейшими экологическими, социальными и экономическими факторами [1]:

а) локализацией деятельности ГПТ в городах и пригородных зонах (в городском сообщении перевозится основная часть пассажиров – более 80-90 %);

б) скученностью размещения городского населения, составляющего в развитых странах 70 % и более всех граждан;

с) концентрацией в городах промышленной деятельности, в том числе, осуществляемой в крупных масштабах;

д) образованием в городах более 85 % всех бытовых и производственных отходов, в том числе, возникающих вследствие нерешенных транспортных проблем и др.

1. Опыт устойчивого развития ГПТ на основе транспортного планирования

Устойчивое развитие транспорта, в частности, ГПТ, успешно осуществляется на основе транспортного планирования в развитых странах. Наибольших успехов достигли страны ЕС и США. В Европейском союзе транспортное планирование осуществляется в соответствии с особенностями государственно-политического устройства, национальных транспортных систем, экономики и социальной сферы. Основное внимание уделяется комплексному подходу при оценке последствий технических решений, которые разрабатываются в нескольких вариантах. Повсеместно подчеркивается, что УР ГПТ может успешно осуществляться только при участии различных институтов гражданского общества.

Подробный сравнительный анализ решения вопросов УР ГПТ представлен в имеющихся в открытом доступе многочисленных работах иностранных коллег [4, 5, 6, 7] и авторов статьи [1, 3, 8].

В США устойчивое транспортное планирование основано на приоритете индивидуального транспорта при возможном расширении применения транспорта общего пользования. При этом основным элементом

транспортной системы считают всемерное развитие национальной системы автомобильных дорог.

Исследователи в Европе, Японии и Китае изучают новейшие возможности использования ИТ для создания разумных альтернатив «механическому» росту собственно транспортных систем. Перспективными технологиями считают «умные города», образование самонастраивающихся интеллектуальных поисковых и ориентационных систем, интернет вещей (IoT), создание рабочих мест по принципу «транспорт без транспорта» и др. [9, 10,11].

В России в соответствии с Федеральным законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»(далее – ФЗ-220) предусмотрено осуществление транспортного планирования на маршрутных сетях автомобильного и городского наземного электрического транспорта. Результаты планирования аккумулируются в документах планирования перевозок.

2. Разработка документов планирования перевозок в России

ОАО «НИИАТ» разработаны методические рекомендации по осуществлению устойчивого транспортного планирования, находящиеся ныне в Минтранс России на обсуждении. В соответствии с ФЗ-220 в указанном проекте представлены методические разработки, предназначенные для подготовки в регионах и на муниципальном уровне управления документов планирования регулярных перевозок на маршрутах различных по протяженности видов сообщения.

Документ планирования регулярных перевозок пассажиров должен формироваться на основе интеграции различных разделов законодательства (транспортного, гражданского, природоохранного, социального, о стратегическом планировании, о техническом регулировании, градостроительного и др.), а также в соответствии:

- a) со стратегиями социально-экономического планирования и развития субъектов России и муниципальных образований;
- b) государственными и региональными программами развития;
- c) документами территориального планирования (схема территориального планирования и генеральный план);
- d) стандартами транспортного обслуживания населения;
- e) программой комплексного развития транспортной инфраструктуры;
- g) комплексными схемами организации дорожного движения в населенных пунктах.

3. Комплексная оценка результатов устойчивого транспортного планирования

Теоретической основой для комплексной оценки результатов устойчивого транспортного планирования являются разработки А.С. Пигу (англ. *Arthur Cecil Pigou*; 1877—1959), подразделившего результаты на интернальные (привычные для инвесторов или других отдельных стейкхолдеров внутрисистемные эффекты) и экстернальные (внешние, внесистемные эффекты). В ОАО «НИИАТ» разрабатываются методические рекомендации по оценке различных экстернальных эффектов от совершенствования работы ГПТ. В частности, экстернальными эффектами являются снижение затрат времени пассажирами на поездки (используется стоимостная оценка потери времени) и ущерб, причиняемый жизни и здоровью людей при ДТП.

В перспективе взамен привычных экономических оценок, основанных на использовании категорий затраты – доходы – прибыль, должна быть создана экономическая модель инновационного типа, в которой различные положительные и отрицательные интернальные и экстернальные эффекты от внедрения мероприятий должны непосредственно влиять на суммарную налоговую нагрузку лица, использующего соответствующее решение: дополнительные удержания при наличии отрицательных эффектов, и дополнительное стимулирующее вознаграждение этого лица при положительных эффектах. Основы построения такой модели предложены в [12, 13].

4. Основные проблемы реализации концепции УР на ГПТ

Изучение применения в регионах и муниципалитетах Ф3-220 показало, что повсеместно вместо полноценных планов транспортного развития соответствующих территорий подготавливаются только таблицы, в которых приводится перечень маршрутов автобуса и городского наземного электрического транспорта с указанием на вид применяемого на этих маршрутах тарифа (регулируемый или нерегулируемый). Разумеется, такие таблицы не могут служить планами транспортного развития. Основные причины такого положения, как показали наши исследования, следующие:

устоявшаяся безынициативность государственных и муниципальных служащих, привычно ожидающих понукания свыше.;

отсутствие современного научно обоснованного методического обеспечения для расчетно-аналитической деятельности по разработке и оценке качества транспортных планов;

отсутствие на местах кадров специалистов, способных грамотно осуществлять транспортное планирование;

неработоспособность системы мониторинга информации, необходимой для транспортного планирования и прогнозирования последствий реализации определенных технических решений разработчиков.

Обычной отговоркой, маскирующей безынициативность, являются ссылки на отсутствие финансирования, что нельзя признать значимым, поскольку чиновники получают заработную плату и обязаны в силу своих должностных обязанностей повышать квалификацию. Перефразируя И.А. Крылова, можно сказать: «А вы, друзья, как ни садитесь, все в управленцы не годитесь!». Эта проблема не является научно, и должна решаться на основании делового подбора кадров.

Создание современного методического обеспечения – актуальная задача для представителей прикладной транспортной науки. Ранее, в советский период, действовало в общей сложности около 70 нормативно-технических и нормативно-правовых актов, в совокупности раскрывающих рекомендуемую методологию решения задач технологического обеспечения перевозок пассажиров, соответствующих современному пониманию транспортного планирования [14]. Анализ этих актов показал, что в современных условиях их зачастую нельзя использовать непосредственно. Требуется или доработка, или переработка на новых базовых началах. Наиболее быстрое решение этой проблемы возможно, на наш взгляд, за счет активизации усилий со стороны аспирантов и докторантов транспортных вузов страны (особого финансирования не нужно, а результат не будет «высосанным из пальца»).

Подготовка кадров квалифицированных специалистов – проблема достаточно инерционная (требуется не менее пяти–десяти лет). Особое внимание при этом следует обращать на развитие у обучающихся инновационного экологоориентированного сознания. В настоящей статье из-за ограниченности ее объема не представляется возможным подробно остановиться на соответствующих вопросах, поэтому мы отсылаем читателей к нашим новейшим разработкам [1, 15, 16, 17].

Создание системы информационного мониторинга для целей транспортного планирования должно производиться на базе использования уже действующих и вновь создающихся аналогичных систем в различных областях деятельности (например, кадастровый учет, градостроительство, социальный учет, управление дорожным движением, позиционирование с использованием ГЛОНАСС и др.). Для транспортного планирования будет необходимо собирать и обобщать некоторые дополнительные сведения. Помимо собственно мониторинга, следует подготовить программное обеспечение для выполнения необходимых многовариантных расчетов.

Перманентной проблемой обеспечения устойчивого развития ГПТ остается постоянное совершенствование нормативно-правовой основы. Основные задачи совершенствования нормативно-правового обеспечения устойчивого транспортного планирования изучены в работе [18].

5. Выводы

4.1. Транспортное планирование в силу его законодательно установленной обязательности является безальтернативным методом стратегического управления ГПТ, реализуемым совместными усилиями государственных и муниципальных служащих, перевозчиками, проектировщиками транспортных систем и различными институтами формируемого гражданского общества.

4.2. Городской пассажирский транспорт повсеместно по объективным причинам является флагманом практического использования ноосферных идей и концепции устойчивого развития.

4.3. Переход к устойчивому развитию ГПТ на основе транспортного планирования должен носить инновационный характер и опираться на трансформацию экономической системы в направлении комплексного учета и оценки последствий реализации технических решений. Комплексность состоит в учете положительных и отрицательных интернальных и экстернальных результатов деятельности ГПТ. В неразрешимых конфликтных ситуациях решение должно приниматься из экологических и социальных соображений в интересах обеспечения достойного качества жизни нынешнего и будущих поколений.

4.4. Актуальными для прикладной транспортной науки проблемами среди различных аспектов деятельности ГПТ являются разработка методического обеспечения транспортного планирования, системы мониторинга исходных данных для транспортного планирования и подготовка кадров специалистов новой формации.

Список использованной литературы

1. Гришаева Ю.М., Матанцева О.Ю., Спирин И.В., Савосина М.И., Ткачёва З.Н., Васин Д.В. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. Т. 13. N 4, 2018, 24-46 с. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46

2. Гришаева Ю.М., Спирин И.В., Луговской А.М. Ноосферные компетенции когнитариата // Ноосферное образование в евразийском пространстве. Т. 8: Ноосферное образование как механизм становления Ноосферной России: коллективная монография / Науч. ред. А.И. Субетто. – СПб.: Астерион, 2018. С. 261-266

3. Spirin I., Zavyalov D., Zavyalova N. Globalization and Development of Sustainable Public Transport Systems // 16th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences. University of Zilina (Slovakia). The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communication, Department of Economics. Procedia, Part V. 5th – 6th October 2016. P. 2076-2084.

4. May A., Crass M. Sustainability in Transport: Implications for Policy Makers // *Transportation Research Record*. 2007. V. 2017. P. 1-9.
5. May A., Boehler-Baedeker S., Delgado L., Durlin T., Enache M. and van der Pas J-W., Appropriate National Policy Frameworks for Sustainable Urban Mobility Plans // *European Transport Research Review*. 2017. V. 9. Iss. 7. P. 6-16.
6. Cohen-Blankshtain G., Rotem-Mindali O. Key research themes on ICT and sustainable urban mobility // *International Journal of Sustainable Transportation*. 2016. V. 10. Issue 1. P. 9-17. Doi: 10.1080/15568318.2013.820994
7. May A.D. Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges // *International Journal of Sustainable Transportation*. 2013. V. 7. Issue 3. P. 170-185. Doi:10.1080/15568318.2013.710136
8. Spirin I., Zavyalov D., Zavyalova N. Transport Planning as a Global Problem of Sustainable Urban Development // 17th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences. University of Zilina (Slovakia). The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communication, Department of Economics. *Procedia*, Part V. 4th – 5th October 2017. P. 2462-2469
9. Alyoubi B.A. Smart Cities in Shaping the Future of Urban Space: Technical Perspective and Utilitarian Aspects // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2017. V. 9. P. 1749-1770. Appendix: 1, Special issue: SI. DOI: 10.4314/jfas.v9i1s.816
10. Kukely G., Aba A., Fleischer T. New Framework for Monitoring Urban Mobility in European Cities // *Transportation Research Procedia*. 2017. V. 24. P. 155-162. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.081
11. Giannakopoulou K., Nikolettseas S., Paraskevopoulos A., Zaroliagis C. Dynamic Timetable Information in Smart Cities // 2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). Proceedings. July, 2017. Heraklion, Greece. P. 42-47
12. Савосина М.И. Логистические аспекты устойчивости развития территорий // Сборник «Добродеевские чтения – 2018: II Международная научно-практическая конференция». 18-19 октября 2018 г., Москва. ИИУ МГОУ, 2018. С. 121-124
13. Спирин И.В., Матанцева О.Ю., Савосина М.И. Ноосферные компетенции когнитариата. Ноосферная концепция оценки эффективности хозяйственной деятельности // *Ноосферное образование в евразийском пространстве. Т. 8: Ноосферное образование как механизм становления Ноосферной России: коллективная монография / Науч. ред. А.И. Субетто. – СПб.: Астерион, 2018. С. 403-408*
14. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: Справочник. 2-е изд. М., ИКЦ «Академкнига», 2006. 413 с

15. Grishaeva Yu.M., Spirin J.V., Matantseva O.Yu. Aspects of Professional Education in the Higher School in the Interests of the Techno-Sphere Safety // Современные исследования социальных проблем. 2016. V. 65. N 9. P. 5-18. URL: <http://journals.org/index.php/sisp/article/view/9469> (дата обращения: 10.03.2019)

16. Гришаева Ю.М., Спириин И.В. Глобализация устойчивого развития как вектор гуманизации мировоззрения // Гуманистические традиции философской и социально-политической мысли России: истоки, специфика, современное восприятие: Материалы Международной научной конференции, посвященной 190-летию Б.Н. Чичерина и 100-летию ТГТУ им. Г.Р. Державина / отв. ред. Н.В. Медведев, А.Н. Алленов, Е.Е. Медведева. 16 ноября 2018 г. Тамбов, Издательский дом «Державинский», 2018. С. 109-113

17. Год экологии в России: педагогика и психология в интересах устойчивого развития: сборник статей научно-практической конференции (4-5 декабря 2017) / Сост.: М.О. Мдивани, В.И. Панов, Ю.Г. Панюкова. Москва: Издательство «Перо», 2017. 541 с. URL: https://www.pirao.ru/upload/iblock/1bc/god_ekologii.pdf (дата обращения: 23.07.2018)

18. Матанцева О.Ю. Правовые аспекты экономической устойчивости автотранспортной организации. М., Юстицинформ, 2016. 248 с.

УДК 656.13

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В РАМКАХ РАЗРАБОТКИ КСОДД ДЛЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ИСИЛЬКУЛЬ)

Е.В. Парсаев, И.А. Тетерина, А.О. Колесников, С.В. Глушков

Аннотация. Разработка комплексных схем организации дорожного движения для малых городов актуальная на сегодняшний день задача. В статье представлены особенности организации дорожного движения, которые необходимо учитывать при разработке КСОДД для малых городов. Сокращение суммарной конфликтной загрузки на перекрестках УДС рассматривается как одно из мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения. Отражены результаты исследований, направленных на определение количества конфликтных точек, а также результаты теоретических исследований, подтверждающие правомерность предлагаемых мероприятий. Представлены результаты моделирования возможных транспортных задержек как при текущей организации дорожного движения, так и при внедрении предлагаемых мероприятий.

Ключевые слова: *малые города, комплексная схема организации дорожного движения, конфликтная загрузка, интенсивность движения, транспортные задержки.*

Евгений Вячеславович Парсаев - старший преподаватель кафедры "Организация и безопасность движения", научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО "СибАДИ", Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, каб. 1.108, тел.: 8(3812) 65-01-45.

Ирина Алексеевна Тетерина - кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО "СибАДИ", Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, каб. 1.108, тел.: 8(3812) 65-01-45, E-mail: iateterina@mail.ru

Антон Олегович Колесников - магистрант группы ТТПм 18-МА 3 ФГБОУ ВО "СибАДИ", Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, каб. 1.108, тел.: 8(3812) 65-01-45.

Степан Владимирович Глушков - магистрант группы ТТПм 18-МА 3 ФГБОУ ВО "СибАДИ", Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, каб. 1.108, тел.: 8(3812) 65-01-45.

Основная часть

В соответствии с ФЗ № 443 "Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 29.12.2017 года разработка комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) – обязательная составляющая градостроительной документации и должна периодически актуализироваться, так как именно наличие утвержденной градостроительной документации (генеральных планов, КСОДД) позволяет администрациям муниципальных образований обеспечить устойчивое развитие своих территорий. Документ имеет равную силу как для крупнейших городов (с населением более 1 миллиона человек) так и для малых городов, население которых не превышает 50 тысяч человек [1,2].

В малых городах проживает значительная часть населения страны, и показатели социально-экономического развития регионов, а также страны в целом во многом зависят от уровня развития малых городов [3]. Именно малые города осуществляют экономическую и социокультурную взаимосвязь между сельской местностью и крупными городами [2].

Разрабатываются и утверждаются КСОДД на срок не менее пятнадцати лет либо, на срок действия документов стратегического планирования на территории, в отношении которой осуществляется разработка этих комплексных схем [1].

В настоящее время представители власти муниципальных образований разного уровня реализуют политику, направленную на формирова-

ние стратегического развития своих территорий. Разработка КСОДД городов в период тотальной автомобилизации населения становится первоочередной задачей. Необходимо отметить тот факт, что в последние годы число автомобилей в городах увеличивается независимо от количества жителей и не связано с ростом населения в этих городах [5].

Так, например, из рис. 1 видно, что количество транспортных средств в городе Исилькуль, за последние 5 лет увеличилось, примерно, на полторы тысячи единиц, в основном за счет легкового транспорта. При этом по данным Росстата, число жителей Исилькульского района, за последние 5 лет, снизилось с 41689 чел. до 40125 чел.

Из вышесказанного следует, что с учетом уровня роста автомобилизации малых городов увеличивается интенсивность движения транспорта, следовательно, уровень опасности на транспортных пересечениях (по числу конфликтов) повышается, что соответственно влияет на увеличение вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Именно поэтому, на этапе разработок КСОДД необходимо вводить мероприятия, в первую очередь, направленные на снижение числа конфликтов.

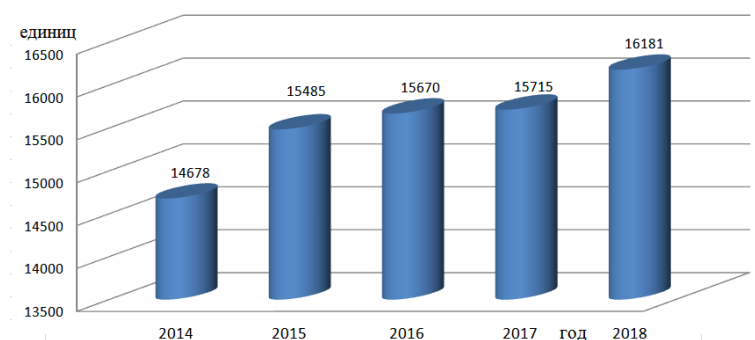


Рисунок 1 - Число зарегистрированных транспортных средств в Исилькульском муниципальном районе

При разработке КСОДД для малых городов необходимо учитывать их следующие особенности:

1. Малые города чаще всего имеют не только относительно невысокую численность населения, но и обладают небольшой территорией.

2. Как правило, на территории малых городов имеются только 2-3 градообразующие улицы, на которых сконцентрированы основные объекты массового тяготения и по которым проходят основные транспортные внутригородские потоки. Улицы, как правило, двухполосные, по одной полосе движения в каждом направлении [5].

3. Рост интенсивности транспортных и пешеходных потоков на улично-дорожной сети (УДС) в малых городах наблюдается в обеденный период рабочих дней недели, в пятницу и предпраздничные дни вечернего времени суток.

4. УДС малых городов практически не оснащена необходимым парковочным пространством.

5. При организации дорожного движения (ОДД) на перекрестках со светофорным регулированием присутствуют недопустимые конфликты между пешеходами и транспортом в общей фазе движения.

6. Поведение и менталитет участников дорожного движения (водителей и пешеходов потоков) отличается от жителей крупных городов: пешеходы массово переходят проезжую часть в неположенных местах, а водители при этом воспринимают данное нарушение как должное [6].

Перечисленные выше особенности характерны для многих городов, попадающих под категорию «малые». Совершенствование ОДД, связанное с внедрением мероприятий по снижению числа конфликтов при разработке КСОДД для малых городов приведено на примере города Исилькуль Омской области.

В городе Исилькуль на трех перекрестках (ул. Коммунистическая – ул. Ленина; ул. Коммунистическая – ул. Первомайская; ул. Коммунистическая – ул. Тельмана) (рис. 2.) регулирование движения транспорта и пешеходов осуществляется с помощью транспортных светофоров типа Т.1. На всех перекрестках реализована двухфазная схема ОДД (пешеходы осуществляют движение на «просачивание» по транспортным светофорам). Существующий уровень загрузки подходов находится в пределах 0,15-0,40.

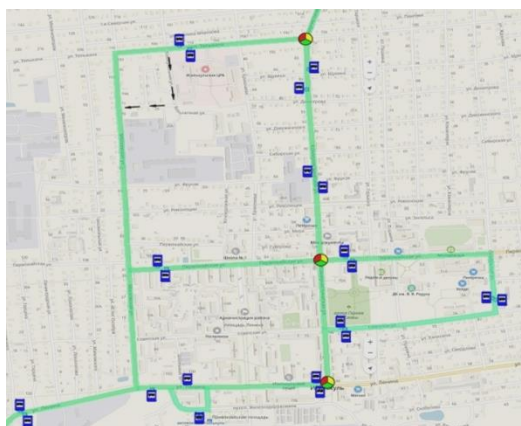


Рисунок 2 - Фрагмент улично-дорожной сети г. Исилькуль

Оценка эффективности существующей и предлагаемой ОДД на регулируемых перекрестках города Исилькуль была выполнена на основе расчета конфликтной загрузки УДС города и сравнении транспортных задержек между ними.

Суммарная конфликтная загрузка магистральной УДС (с учетом конфликтов транспортных и пешеходных потоков между собой) была рассчитана по формуле [7]

$$R = 5 \sum \frac{N_{i\Pi}N_{j\Pi}}{(N_{i\Pi}+N_{j\Pi})^2} + 3 \sum \frac{N_{ic}N_{jc}}{(N_{ic}+N_{jc})^2} + 1 \sum \frac{N_{io}N_{jo}}{(N_{io}+N_{jo})^2}, \quad (1)$$

где $N_{i\Pi}N_{j\Pi}$ – интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку пересечения, ед./сут.;

$N_{ic}N_{jc}$ – интенсивность движения соответственно потоков i и j , образующих конфликтную точку слияния потоков, ед./сут.;

$N_{io}N_{jo}$ – интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку ответвления потоков, ед./сут.

При проведении расчетов были использованы данные результатов обследования интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на перекрестках города Исилькуль, проведенных в соответствии с методикой "Исследование пиковой интенсивности движения (по методу С)" п.8.1. ОДМ 218.2.020-2012 "Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог" [5].

Снизить степень опасности на перекрестках УДС города предлагается путем введения третьей светофорной фазы, выделив пешеходов в отдельное регулируемое направление, и снизить тем самым, число конфликтов, исключив конфликт «транспорт-пешеход» [8].

Результаты расчета суммарной конфликтной загрузки для трех перекрестков с пофазным ее разделением представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Суммарная конфликтная загрузка перекрестков по улице Коммунистическая г. Исилькуль

Улица	1 фаза		2 фаза	
	До мероприятий (2 фазы)	После мероприятий (3 фазы)	До мероприятий (2 фазы)	После мероприятий (3 фазы)
Ленина	2,46	0,21	4,03	1,784
Первомайская	10,41	6,01	8,14	4,09
Тельмана	8,97	4,87	7,33	3,28

Также из таблицы 1 видно, насколько снизится показатель опасности конфликтов если одним из мероприятий по снижению конфликтных точек ввести отдельную (третью) фазу в работу светофорных объектов.

Результаты исследований, проводимых на регулируемых перекрестках ул. Коммунистическая с улицами: Ленина, Первомайская, Тельмана позволили сделать вывод, что суммарная конфликтная загрузка на всех перекрестках снизится в среднем на 50%, обеспечив тем самым

повышение безопасности движения и соответствие схемы ОДД на перекрестках города со светофорным регулированием требованиям ГОСТ Р-52289-2004 [9].

При достигнутом положительном эффекте от от введения третьей фазы в работу светофоров, неизбежно возникнет проблема, связанная с увеличением транспортных задержек на исследуемых перекрестках г. Исылькуль. Такая закономерность характерна для перекрестков с трехфазной работой светофоров.

Частично решить эту проблему предлагается путем:

1. Уменьшения интенсивности транспортных потоков на подходах к перекресткам с помощью вывода части транспортных потоков на объездную дорогу.

2. Оптимизации программы работы светофорных объектов.

3. Внедрения внецентровой координации работы светофорных объектов по принципу "Зеленая волна", ключевым принципом которого является ориентир на движение при определенной средней скорости и связи светофоров между собой, обеспечивающей включение зеленых сигналов к моменту подхода групп транспортных средств.

Моделирование было проведено в программном продукте Avenue App 2.0 (Перспектива 2.0) который позволяет моделировать движение транспортного потока, производить расчет оптимальных длительностей циклов, фаз и их сдвигов. Кроме этого, программа позволяет получить информацию о состоянии всех направлений движений на УДС [10].

На рис. 3 представлен рабочий вид сервиса Avenue App 2.0 отражающий элементы проектируемой УДС [10]. Результаты экспериментальных исследований, направленных на моделирование транспортных потоков с целью оптимизации координации светофорного регулирования на исследуемых участках УДС г. Исылькуль представлены в таблицах 2 и 3 [10].

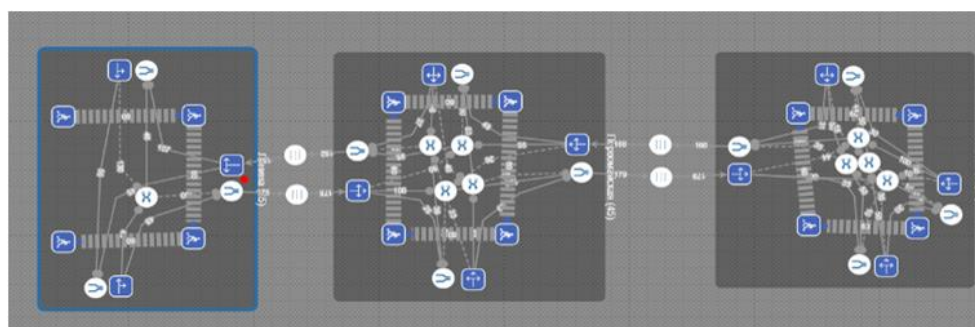


Рисунок 3 - Модель исследуемого участка УДС в программе Avenue App 2.0

Таблица 2 – Значения транспортных задержек при существующем и предлагаемом варианте ОДД на перекрестках улиц Коммунистическая г. Исилькуль

Улица	Средняя задержка, авт/сек			
	Эксперимент (существующая задержка, при 2 фазах)	Моделирование		
		Существующая ситуация (2фазы)	При введении пешеходной фазы (3 фазы) **	Оптимизированный цикл (3 фазы)***
Ленина	8,9	10,76	17,47	14,82
Первомайская	9,92	9,3	15,5	12,49
Тельмана	13,6	12,96	19,94	11,53

Примечание:

*- средняя задержка сравнивалась на 2-ом подходе

** - пешеходная фаза=14с.

***везде Тц=45с.

Таблица 3 – Значения транспортных задержек при локальном и координированном управлении на перекрестках улицы Коммунистическая г. Исилькуль

Улица	Средняя задержка, авт/сек			
	Без «Зеленой волны»		«Зеленая волна»	
	Прямо	Обратно	Прямо	Обратно
Ленина	10,91	11,53	10,91	11,53
Первомайская	10,50	12,79	9,57	11,42
Тельмана	12,76	14,16	11,09	12,93

Из таблиц можно сделать вывод об эффективности комплекса мероприятий, предложенных в рамках разработки КСОДД для города Исилькуль.

Заключение

При разработке КСОДД для малых городов в качестве основного оценочного показателя мероприятий по совершенствованию ОДД предлагается использовать суммарную конфликтную загрузку. При

разработке схем ОДД в малых городах именно этот показатель обеспечивает объективность в сравнении транспортных решений.

Одним из вариантов снижения конфликтных точек на перекрестках УДС со светофорным регулированием является добавление в работу светофоров третьей (пешеходной фазы).

Минимизировать негативные последствия, связанные с введением пешеходной фазы, предлагается путем внедрения координации работы светофорных объектов по принципу "Зеленая волна" и вывода части транспортных потоков на улицы дублеры.

Список используемой литературы

1. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12. 19 г. № 443-ФЗ // Закон. – 2019.

2. Ярков, М.А. Формирование и проблемы транспортного комплекса малых городов Пермского края / М.А. Ярков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2016. № 2. С. 131-144.

3. Азаренков, Л.С. Проблемы территориального планирования в развитии малых городов Свердловской области / Л.С. Азаренков // Современный город: власть, управление, экономика. 2018. Т. 1. С. 112-118.

4. Преловская, Е.С. Транспортное планирование в российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц / Е.С. Преловская, А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, Б. Энгель // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2017. № 6 (58). С. 113-119.

5. СП 42.13330.2016 Градостроительство, планировка и застройка городских и сельских поселений. Введ. 2017-07- 01. М.: Минстрой России, 2016. 98 с.

6. Teterina, I. A. Assessment of atmospheric air pollution from traffic flows on road and street network in Omsk / I. A. Teterina, E. V. Parsaev, A. S. Kashtalinskiy // Aviamechanical engineering and transport (AVENT 2018) : proceedings of the international conference, Irkutsk, Russia, 21-26 may 2018 . - Vol. 158. - Pp. 421-425. - DOI: <https://doi.org/10.2991/avent-18.2018.81>.

7. Шелков, Ю.Д. Организация дорожного движения в городах / Ю.Д. Шелков // методической пособие. М.: Альянс, 2018. - 144 с.

8. [Малюгин, П. Н.](#) Моделирование дорожного движения: учебное пособие: / П. Н. Малюгин. Омск : СибАДИ, 2018. - 64 с.

9. Парсаев, Е.В., Тетерина И.А. Совершенствование нормативной базы в сфере безопасности дорожного движения // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сб. материалов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 186-189.

10. AvenueApp 2.0 - онлайн сервис моделирование транспортных потоков, расчет светофорного регулирования программ координации - "зеленая волна" [электронный ресурс] - Режим доступа: <http://avenue-app.com/>

УДК 656.1

СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Л.С. Трофимова

***Аннотация.** В статье представлена система планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении в виде схемы, разработанная с применением системного анализа, позволяющего дать оценку эффективности функционирования коммерческой и технической эксплуатации грузового АТП как вероятностного процесса при выполнении условий договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении. Экономическая эффективность текущего планирования работы АТП оценивается величиной прибыли. Представлена система показателей коммерческой эксплуатации и технической эксплуатации работы АТП для практической реализации планирования.*

Ключевые слова: *автотранспортное предприятие, вероятностный процесс, междугородные перевозки грузов, коммерческая эксплуатация, техническая эксплуатация.*

Людмила Семеновна Трофимова - кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок и управления на транспорте, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, 5, тел.: 8(3812)653704, E-mail: trofimova_ls@mail.ru.

Актуальность разработки схемы текущего планирования для работы автотранспортного предприятия (АТП) при перевозке грузов в междугородном сообщении связана с необходимостью выполнения индикаторов роста экономики РФ, которые для автомобильного транспорта определены Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России» [1]. Прогнозируется, что величина перевозок грузов по инерционному варианту развития транспортной системы России до 2030 года по автомобильному транспорту составит 10 000 тыс. т, а плановая величина ресурсного обеспечения на автомобильном транспорте в 2030 году для бюджетов субъектов Российской Федерации составит 1015 млрд руб. [1].

Проблема планирования работы АТП при перевозке грузов находится в поле зрения и научных трудах многих исследователей, как отечественных, так и зарубежных. К примеру, В.М. Кургановым в практике работы предприятий предлагается использовать методологию IDEF0 [2].

Изначально методология была названа «Технология структурного анализа и проектирования» Structured Analysis and Design Technique (SADT). IDEF0 позволяет выполнять описание сложных объектов с помощью простого и понятного графического языка [2]. Методология моделирования IDEF0 предназначена для анализа всей системы как множества взаимодействующих, взаимосвязанных функций (работ), а не её структурных элементов, из которых состоит АТП. Ориентация исключительно на анализ функций независимо от объектов, которые их выполняют, не позволяет рассматривать процесс перевозок грузов и процесс технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) подвижного состава во взаимосвязи. С.М. Мочалин, Л.В. Тюкина, рассматривая прямые цепи поставок грузов для формирования алгоритма планирования, используют логистические концепции JIT и JIS [3]. J. Browne, J. Harhen, J. Shivnan изучая интегрированные перспективы системы управления производством для планирования работы грузового транспорта, использовали информационные системы MRP [4]. De Jong, GC, Vierth, I, Tavasszy, выполнили исследования с применением JIT на примере национальных и международных моделях грузовых перевозок в Европе [5]. Michael F. Gorman и Daniel G. P. Conway [6], рассматривая междугородные грузоперевозки как элементы цепей поставок, предлагают, в качестве элемента планирования, использовать навигационные программы. Авторы указывают, что применение информационных систем могут внести существенную коррекцию в методику планирования грузовой транспортной инфраструктуры по наблюдаемым транспортным потокам.

Информационные системы MRP, MRP II, ERP, MRP/DRP, DRP, JIT, Kanban, применение которых представлено в работах [2, 3, 4, 5, 6] предназначены для планирования потребностей в материалах на производстве и в логистических системах, а не для планирования работы грузового АТП. Перечисленные инструменты планирования могут приводить к снижению прибыли в результате того, что разработаны для деятельности промышленных предприятий и не учитывают особенности процесса перевозок грузов и обеспечения технически исправного состояния подвижного состава. Поэтому некоторые договоры не заключаются из-за того, что по результатам планирования не хватает ресурсов АТП; некоторые договоры заключаются, но не выполняются в результате отсутствия технически исправного подвижного состава.

В.В. Анохин [7] представил результаты практической реализации специально разработанной программы «Планирование работы грузового автотранспортного предприятия с учетом взаимосвязи коммерческой и

технической эксплуатации». Компьютерная программа предназначена для автоматизированного планирования работы грузового АТП при перевозке строительных грузов в городе. Разработанная программа позволяет решить оптимизационную задачу по критерию максимизации прибыли и определить: план перевозок на год при сезонных изменениях спроса по кварталам; план по эксплуатации подвижного состава с целью выполнения условий договоров; план-график постановки подвижного состава в техническое обслуживание и текущий ремонт; план по затратам, доходам и прибыли. Разработанный программный продукт не может быть использован в практике работы АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении.

Таким образом, различные подходы к формированию системы планирования перевозки грузов подтверждают актуальность проведенного исследования, а также позволяют дополнить существующие подходы собственным новым видением и возможностями разработки системы планирования работы АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении.

Основные элементы системы планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении представлены в виде схеме на рисунке.

Для практики работы грузового АТП разработанная система планирования призваны дать оценку эффективности функционирования коммерческой и технической эксплуатации грузового АТП при выполнении условий договоров. Для этого целесообразно использовать методы, позволяющие учитывать результат и затраты при выполнении условий договоров. Согласно результатам исследования, наиболее универсальным среди методов оценки экономической эффективности для текущего планирования работы АТП является метод, основанный на расчёте годовой прибыли [8].

Планирование технологических процессов АТП имеет свои особенности: подвижной состав выступает как в форме объекта труда (при выполнении ТО и Р), так и в форме средств труда (при выполнении процесса перевозок грузов). Производственные процессы в работе АТП характеризуются подвижностью не только предметов труда, но и самих средств труда. Система планирования работы АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении сформирована на основе применения системного анализа, позволяющего использовать структурно-функциональное представление об объекте. Для декомпозиции работы АТП применяется модель анализа процесса труда [9].

Практическая реализация разработанной системы планирования работы АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении предполагает программно-математическое «Текущее планирование работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении», реализованное в компьютерной среде Visual Basic for Applications.

Этап 1. Ввод исходных данных. В качестве исходных данных используется информация о подвижном составе по типоразмерам, о продол-

жительности операций при различной организации труда водителей. Информацию о спросе представляет собой объём перевозок по кварталам.

В условиях неопределенного спроса величина длины ездки с грузом является случайной и распределена по логарифмически-нормальному закону [10].

Результаты исследований позволили определить верхнюю $M(l_{гем})_{max}$ и нижнюю $M(l_{гем})_{min}$ границы доверительного интервала математического ожидания длины ездки с грузом в междугородном сообщении с вероятностью 0,95. Экспериментальные исследования позволили доказать, что выработка при перевозке грузов в междугородном сообщении зависит от массы отправки груза для конкретного типоразмера подвижного состава. В условиях неопределенного спроса величина массы отправки груза в междугородном сообщении является случайной и распределена по нормальному закону [11].

Этап 3. Определение показателей работы подвижного состава. Система планирования системы планирования работы АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении потребовала необходимости формирования показателей работы подвижного состава, которые включают в себя: выработка за месяц; количество ездок за месяц; время на перевозку грузов в соответствии с выбранным режимом труда и отдыха, способом организации работы водителя; время возврата без груза в соответствии с выбранным режимом труда и отдыха, способом организации работы водителя; общий пробег за месяц; годовой пробег для АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении; годовая выработка в тоннах по АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении; выработка АТП при перевозке грузов в междугородном сообщении за год, т·км.

Этап 4. Формирование комбинации из имеющегося подвижного состава путем перебора. При формировании комбинаций из имеющегося подвижного состава для выполнения условий договоров проверяются условия соответствия выработки подвижного состава в тоннах для найденной комбинации объему, который определяется спросом на перевозку грузов в междугородном сообщении по кварталам в соответствии с договорами.

Проверяется соответствие трудоемкости плановых работ по ТО-1, ТО-2 трудоемкости, обеспечивающей безопасность движения. Проверяется соответствие времени на перевозку грузов по выбранному режиму рабочего времени и времени отдыха водителей, а также способу организации работы водителей требуемому времени перевозок грузов по договору.

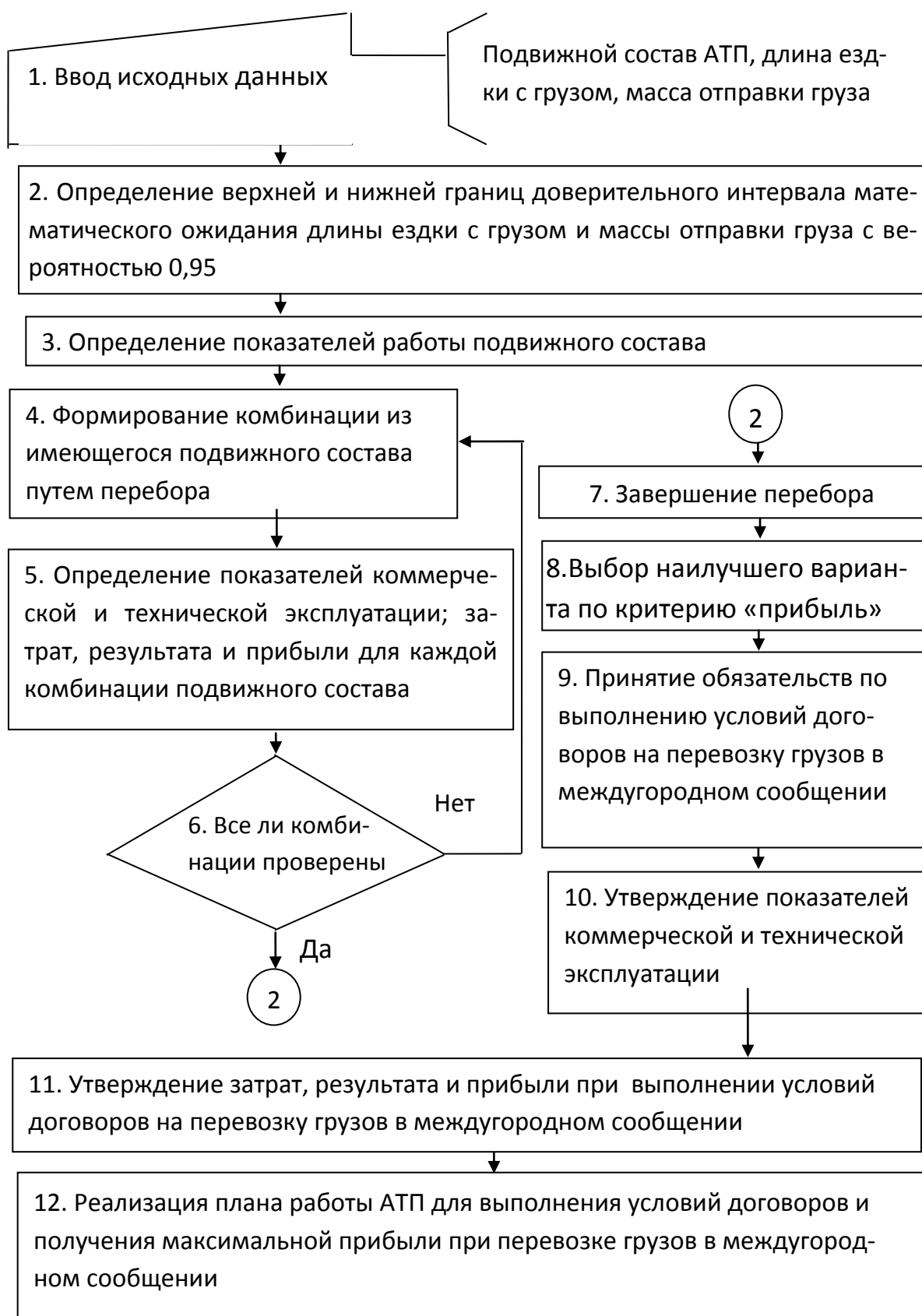


Рисунок 1 - Элементы системы планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении

Этап 5. Определение показателей коммерческой и технической эксплуатации; затрат, результата и прибыли для каждой комбинации подвижного состава. Расчет показателей выполняется при перевозке грузов в междугородном сообщении по кварталам.

Этап 6. Все ли комбинации проверены. В случае окончания проверки комбинаций из имеющегося подвижного состава для выполнения условий договоров выполняется переход на этап 7, в противном случае – возврат на этап 4.

Этап 7. Завершение перебора. После завершения перебора должны быть получены результаты формирования комбинаций из имеющегося подвижного состава АТП для выполнения условий договоров по кварталам.

Этап 8. Выбор наилучшего варианта при перевозке грузов в междугородном сообщении по критерию «прибыль». На данном этапе осуществляется расчет результата и затрат при перевозке грузов, а также величина максимальной прибыли.

Этап 9. Принятие обязательств по выполнению условий договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении. На данном этапе заключаются договоры на перевозку грузов в междугородном сообщении.

Этап 10. Утверждение показателей коммерческой эксплуатации. Утверждаются плановые показатели выработки, общего пробега для каждой единицы подвижного состава и для АТП за месяц, по кварталам и за год, плановое количество смен работы каждой единицы подвижного состава для выбранного режима рабочего времени и времени отдыха водителей, а также способа организации работы водителей. Утверждаются плановые показатели количества и трудоемкости ТО-1, ТО-2 для каждой единицы подвижного состава и для АТП за месяц, по кварталам и за год.

Этап 11. Утверждение затрат, результата и прибыли при выполнении условий договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении. Утверждаются плановые показатели по затратам, результату и прибыли при выполнении условий договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении по кварталам и за год.

Этап 12. Реализация плана работы АТП для выполнения условий договоров и получения максимальной прибыли при перевозке грузов в междугородном сообщении. Данный этап предполагает практическую реализацию системы планирования работы АТП с целью выполнения договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении и получения максимальной прибыли.

Разработанная система планирования направлена на выполнение договоров на перевозку грузов в междугородном сообщении и получения максимальной прибыли.

Список использованных источников

1. Федеральная целевая программа «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года»: утв. Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.
2. Курганов В.М., Дорофеев А.Н. Информационные системы для автомобильных перевозок // Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 3 (58). С. 156-171.
3. Мочалин С.М., Тюкина Л.В. Алгоритм планирования доставки грузов на основе логистических концепций JIT, JIS в прямых цепях поставок // Формирование транспортно-логистической инфраструктуры. Стратегическое направление повышения конкурентоспособности транспортного комплекса России : материалы IV науч.-практ. конф. Омск: СибАДИ, 2013. Кн. 4. С. 70 – 74.
4. Browne J. Production management systems: an integrated perspective /J. Browne, J. Harhen, J. Shivnan. 2 ed., Addison-Wesley Publishing Company, 1996. – P. 421-425.
5. Jong D. Recent developments in national and international freight transport models within Europe / De Jong, GC, Vierth, I, Tavasszy, L et al. // Transportation. 2012. Vol.40 (2). P. 347 - 371.
6. Gorman M.F., Conway D.G. Logistics Costs Based Estimation of Freight Transportation Demand. Journal of the Transportation Research Forum. 2005, vol. 44, no. 1, pp. 141–155.
7. Анохин В.В. Программно-математическое обеспечение для практической реализации модели функционирования грузового АТП / В.В. Анохин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы международной научно-практической конференции. Омск : СибАДИ, 2016. С. 168-172.
8. Анохин В. В. Совершенствование методики планирования работы грузового автотранспортного предприятия с учетом взаимосвязи коммерческой и технической эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2017. 136 с.
9. Витвицкий Е.Е., Трофимова, Л.С. Классификация грузовых автотранспортных предприятий по сложности состава и функционирования в городах // Автотранспортное предприятие. 2014. №9. С. 50-53.
10. Трофимова Л.С. Влияние фактической массы отправки груза на результаты планирования работы автотранспортного предприятия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017.Т.21.№3.С.184-192. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-3-184-192.
11. Трофимова Л.С., Певнев Н.Г. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении для текущего планирования Вестник Иркутского

государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, №4. – С.243-252.

УДК 656.073.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ УЗЛОВ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

М.С. Турпищева, А.Е. Кичко

Аннотация. *Анализируются методы моделирования транспортных грузопроводящих систем при перевозке грузов и их обработке на грузовых терминалах. Процесс представлен состоящим из совокупности локальных взаимосвязанных операций. Системные методы расчета с элементами дискретной математики позволяют описать состояние системы в динамике и найти рациональные управленческие решения.*

Ключевые слова: *логистика, грузоперевозки, моделирование, ветродвигатели.*

Марина Семеновна Турпищева - кандидат технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии наземного транспорта», Астраханский Государственный Технический Университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, 3 учебный корпус, тел.: 8(8512) 61- 42-75, E-mail: ttnt@astu.org.

Александра Евгеньевна Кичко - магистр 1 года обучения программы «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», кафедры «Техника и технологии наземного транспорта», Астраханский Государственный Технический Университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, 3 учебный корпус, тел.: 8(8512) 61- 42-75, E-mail: ttnt@astu.org.

Ветроэнергетика является самостоятельной отраслью производства различных видов энергии: электрической, механической, тепловой и т. д. Во всех случаях первичным источником служит кинетическая энергия ветра. Впервые за 40 лет эксплуатации солнечных и ветровых электростанций их глобальная мощность достигла 1 тераватта (1000 ГВт).

Учитывая богатые ветровые ресурсы России, ветроэнергетика во многих регионах может эффективно сочетаться с солнечной энергетикой, с малыми ГЭС, биоэнергетическими или геотермальными установками на основе совместного использования возобновляемых и традиционных источников энергии.

На существующих сегодня ветродвигателях в качестве рабочего движения используется в основном круговое вращательное движение лопастной системы.

Узлы ветроэнергетических установок имеют большие размеры и значительные массы. Транспортировка лопастей, достигающих 70 метровой длины, с центром тяжести, смещенным к одному из концов лопасти, представляет значительные сложности. Для доставки лопастей к месту установки осуществляются перевозки несколькими видами транспорта с перевалками на транспортных терминалах.

Повышение надежности и безопасности этих процессов и уменьшение рисков аварий и экономических потерь является важной задачей при проектировании логистических операций доставки узлов ветроэнергодвигателей.

Процесс функционирования логистической транспортной системы можно представить как совокупность некоторого множества отдельных элементарных процессов или локальных состояний, длительность каждого из которых определена некоторым заданным законом. К локальным процессам, отображающим непрерывную последовательность состояний системы, относятся процессы транспортировки лопастей судном, перегрузки с судна на терминал, процессы перемещения лопастей на автоплатформу и дальнейшая транспортировка к месту установки.

Обслуживание груза автотранспортом (например, перевозка лопасти ветродвигателя) является локальным процессом, поскольку длительность транспортировки определяется соответствующим законом, заданным при описании системы. Данный локальный процесс является совокупностью подсистем (терминал, судно, причал и т. д.). Процесс в подсистеме начинается не раньше, чем закончится предыдущий, если только подсистема одновременно обслуживает не более одной заявки. В то же время элементарные процессы ожидания подсистемой поступления груза, ожидания грузом начала обслуживания и т. п., являются второстепенными, поскольку их длительность не определяется какими-либо конкретными законами, а зависит от законов поступления и обслуживания грузов и носит переходный характер.

Таким образом, процесс функционирования логистической системы можно рассматривать как совокупность некоторого количества K последовательностей локальных процессов. Моменты окончания локальных процессов в каждой последовательности образуют свой поток тех основных событий, которые изменяют состояние системы.

Модель локального процесса транспортировки лопасти ветродвигателя можно представить как систему со входом и выходом, имеющую характерные параметры, описывающие её состояние: где X – входная переменная (поступление груза); Y – выходная переменная (доставка груза к месту установки); $Z_1, Z_2 \dots Z_l$ – характеристики состояния системы (каче-

ственные показатели системы); $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_k$ – параметры системы (базовые характеристики системы); A, B, C, D – подсистемы (рис. 1).

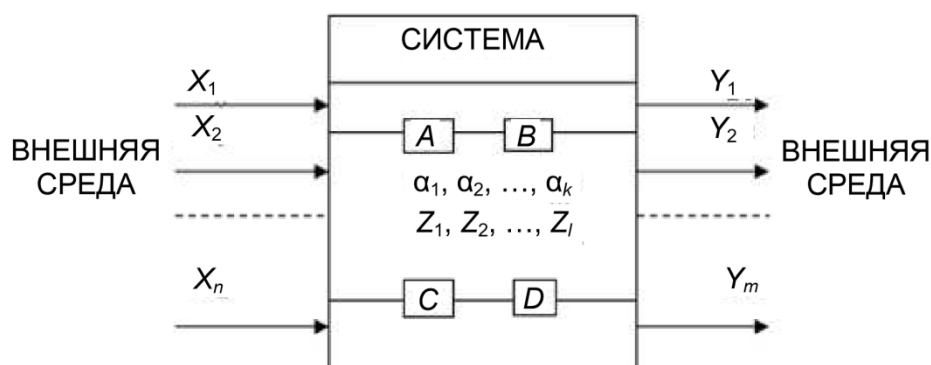


Рисунок 1 - Общая схема построения модели локального транспортного процесса

Принадлежность к множеству устойчивых состояний системы на заданном сроке эксплуатации определяется вероятностными характеристиками: функцией безопасности $S_{\Sigma}(t)$ и функцией риска $R_{\Sigma}(t)$.

Функцию безопасности можно представить как вероятность устойчивости системы при возмущениях ее элементов

$$S_{\Sigma}(t) = P\{t: \text{var}[G_{ij}] \in Q_S\}. \quad (1)$$

Функцию риска R_{Σ} можно представить как вероятность появления отказа в работе элементов системы при нарушении их устойчивости

$$R_{\Sigma}(t) = P\{t: H \mid \text{var}[G_{ij}] \in Q_S\}. \quad (2)$$

где $\text{var}[G_{ij}]$ – вариации состояний элементов системы;

Q_S – множество устойчивых состояний системы;

H – вектор опасностей;

$P\{\}$ – вероятность события.

Подобная модель позволяет описывать вероятностные состояния транспортной системы, основываясь на статистических данных, используя расчетно-экспериментальные вероятностные методы анализа.

Список использованной литературы

1. Алескеров Ф. Т., Хабина Э. Л., Шварц Д. А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. – М.: Изд. дом ГУ-ВШЭ, 2006. – 300 с.

2. Турпищева М. С., Синельщиков Е. В. Системные методы исследования процессов транспортировки грузов в смешанных перевозках // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2005. – № 2. – С. 95–97.

3. Турпищева М. С. Моделирование транспортных систем при зрूपеревозках // Вестн. АГТУ .-2012.-№2 (54).-С. 9-12.

УДК 656.072

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ ПАССАЖИРОВ ПО РЕГУЛЯРНЫМ АВТОБУСНЫМ МАРШРУТАМ

А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков

***Аннотация.** В статье рассматривается задача совершенствования организации и управления автомобильными перевозками пассажиров за счет использования интегрированной информационной системы *BusTrafficManagement*, которая обеспечивает весь комплекс задач администрирования автобусных рейсов, диспетчерского управления движением.*

***Ключевые слова.** Информационная система, автобусные перевозки, резервирование ресурсов мест, диспетчерское управление движением*

Александр Иванович Фадеев - канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта Сибирского Федерального Университета, 660074, г.Красноярск, ул. Академика Киренского, д.26.

Михаил Тимофеевич Ильянков - генеральный директор ОАО «Автоколонна 1967», 660048, г.Красноярск, ул. Маерчака, д.53 а.

1. Введение

Безопасное, комфортное, быстрое и доступное удовлетворение транспортных потребностей населения – задача, имеющая важнейшее социально-экономическое значение. Автобусный транспорт играет определяющую роль в обеспечении транспортной мобильности населения: подавляющее большинство населенных пунктов имеет только автомобильное сообщение, автобус участвует в большинстве поездок на других видах транспорта на начальном и завершающем этапе.

В настоящее время автобус является самым проблемным видом транспорта. Главные недостатки:

высокая аварийность;

крайне низкое качество обслуживания.

Острейшей проблемой автобусного транспорта является отсутствие достаточно эффективных механизмов контроля организации и выполнения

перевозочного процесса. Решение данной проблемы - применение современных цифровых технологий.

2. Решение задачи

Интегрированная информационная система BusTrafficManagement разработана Лабораторией транспортного моделирования кафедры транспорта Сибирского федерального университета (СФУ) по заказу и при участии ОАО «Автоколонна 1967». Она внедрена в 2012 году ОАО «Автоколонна 1967» совместно с другими перевозчиками Красноярского края и в настоящее время интенсивно развивается для обеспечения:

- самых высоких стандартов качества и безопасности перевозок пассажиров;

- расширения круга операторов реализации пассажирских билетов;

- расширения сервисов обслуживания пассажиров;

- повышения эффективности информационного обеспечения организаций, осуществляющих, обслуживающих и контролирующих процесс перевозок;

- повышение эффективности автоматизированного контроля состояния перевозочного процесса, выявление в реальном режиме времени отклонений в перевозочном процессе.

Информационная система BusTrafficManagement охватывает все важнейшие процессы организации и управления регулярными автобусными линиями. Она состоит из следующих основных подсистем:

- «Единая автокасса» - система резервирования ресурсов регулярных автобусных маршрутов (Computer Reservation System);

- Интернет-ресурс (bustraffic.ru);

- подсистема диспетчерского контроля;

- интегрированная система диспетчерского управления перевозками (BusTrafficControl);

- интегрированная система видеонаблюдения (BusTrafficVideo);

- информационная подсистема перевозок мелких отправок (BusTrafficCargo)

- нормативная подсистема;

- подсистема специализированных информационных сервисов

Перечисленные подсистемы обеспечивают функционирование интегрированных приложений, посредством которых осуществляется информационное обслуживание структур, отвечающих за организацию и управление перевозками пассажиров по автобусным линиям. Интегрированные приложения сформированы в соответствии с современной организационной структурой транспортной системы, важнейшую роль в которой играют:

- электронная автокасса bustraffic.ru, обеспечивающая в сети Интернет оказание пассажирам широкого перечня услуг;

автовокзалы и автостанции;
 автокассы и трансгентства;
 диспетчерские службы перевозчика;
 центральная диспетчерская служба (ЦДС).

BusTrafficManagement имеет широкий перечень сервисов интеграции с внешними системами, осуществляющими реализацию пассажирских билетов и обеспечивающими перевозочный процесс:

системы реализации билетов;
 Интернет ресурсы реализации пассажирских билетов;
 региональные службы диспетчерского контроля;
 корпоративные информационные системы и информационные системы сервисных организаций.

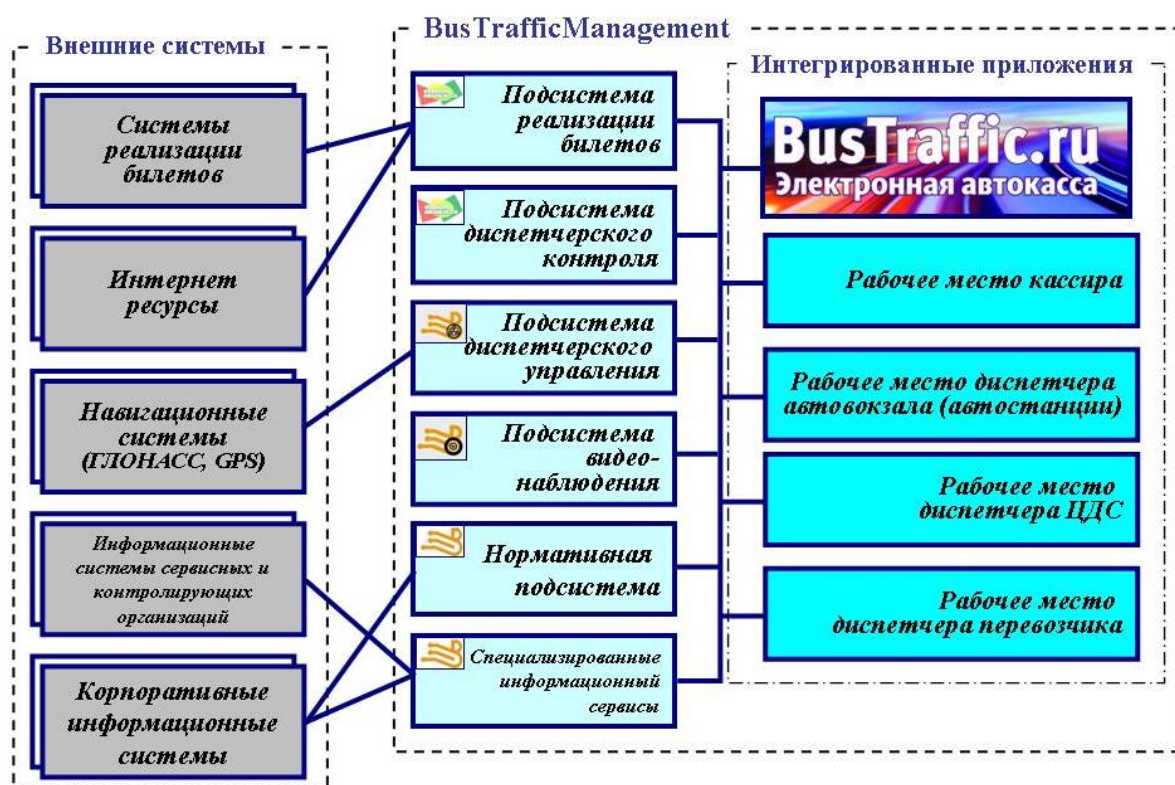


Рисунок 1 - Структура информационной системы BusTrafficManagement

3. Резервирования ресурсов мест на автобусных маршрутах

Компьютерные системы бронирования (CRS) - это информационные компьютерные системы, используемые для хранения информации и выполнения операций, связанных с распределением мест в самолетах, гостиницах, театрах и т.д. Первоначально разработанные и эксплуатируемые авиакомпаниями, CRS были позже расширены для использования туристическими агентствами и другими операторами.

Автобусные системы резервирования (реализации билетов) в России исторически разрабатывались крупными автовокзалами. Они, как правило,

нацелены на максимальную продажу билетов от центрального автовокзала без учета эффективности маршрута в целом. Данные системы не поддерживают реализацию билетов от промежуточных пунктов, на которых отсутствуют автокассы. Пассажиры в этих пунктах могут купить билеты только у водителя по прибытию автобуса, нет возможности предварительного приобретения билетов. В большинстве случаев отсутствует автоматизация процесса реализации билетов водителями автобусов. Неавтоматизированная продажа билетов водителями приводит к тому, что на промежуточных станциях после отправления автобуса от станции формирования рейса можно приобрести билет только по прибытию автобуса, т.к. неизвестны места в автобусе, оставшиеся свободными после посадки пассажиров водителями на остановочных пунктах, не оборудованных автокассами. В результате на сети формируются условия для работы несанкционированных перевозчиков: есть неудовлетворенный спрос на транспортное обслуживание.

Один из основных недостатков существующих систем - реализация билетов «в один конец». От центрального автовокзала продаются билеты в несколько сотен пунктов назначения, обратный же билет из большинства пунктов пассажир приобрести не может. Проблему обратной поездки пассажир решает за счет нелегальных перевозчиков.

Для эффективного обслуживания пассажиров распределенная система реализации билетов «Единая автокасса» (рис. 1) сформирована как сеть операторов, осуществляющих на одинаковых условиях оформление билетов на любой рейс с любого пункта отправления. Водители посредством СМС оформляют продажу билетов в центральной базе данных. Запросы водителей обрабатываются системой в автоматическом режиме. Централизованное администрирование мест в автобусе позволяет осуществлять реализацию билетов на всем пути следования. Для промежуточных остановок (не оборудованных автокассами) используется специальный регламент обслуживания пассажиров, включающий предварительную и текущую реализацию билетов, а так же гарантированную посадку в автобус.

Применяются специальные сервисы корректировки поездок в соответствии с изменившимися планами пассажира: оперативный отказ от поездки через СМС, замена билетов и др.

Ключевые преимущества системы «Единая автокасса»:

1. Эффективное обеспечение мобильности за счет гибкого набора сервисов реализации билетов:

реализация билетов у операторов и через Интернет-сайты;
заказ (бронирование) билетов через операторов ЦДС и в сети Интернет;

продажа билетов с открытой датой поездки с последующей их регистрацией через операторов непосредственно и по телефону или на сайте в Интернет;

глубина продажи билетов 45 дней может увеличиваться (или уменьшаться) по мере необходимости.

2. Отсутствие комиссионных сборов при использовании любых сервисов реализации билетов.

3. Начисление бесплатных километров при приобретении билетов на сайте bustraffic.ru.

4. Специальный регламент обслуживания пассажиров остановок, не оборудованных автокассами.

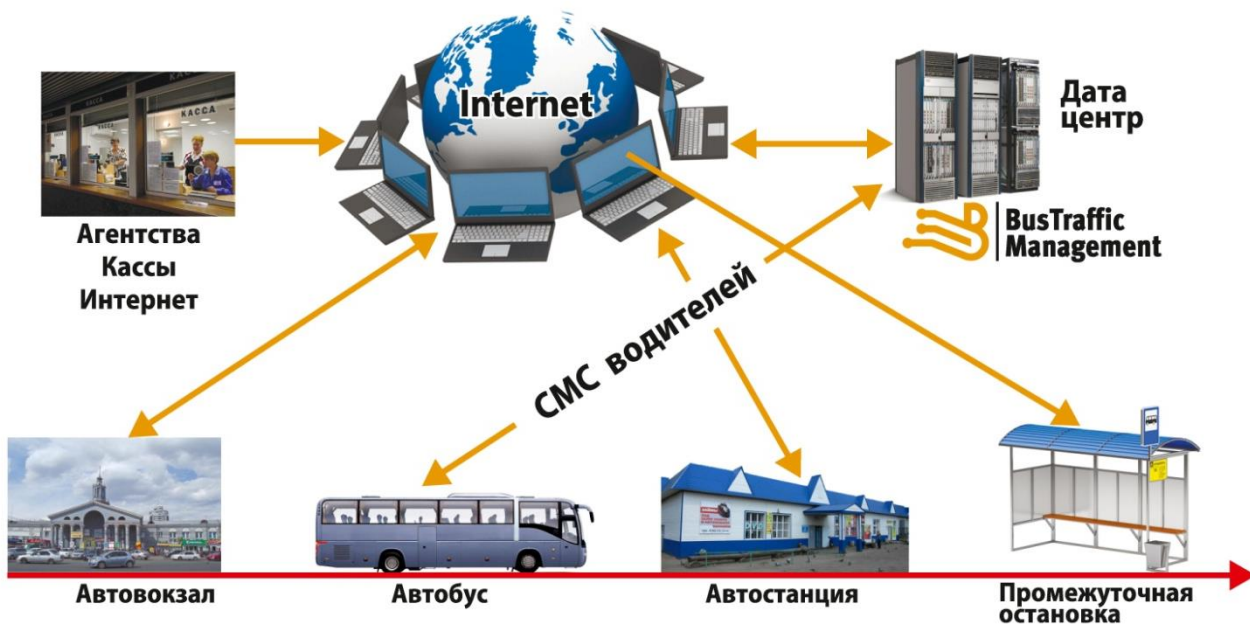


Рисунок 2 - Принципиальная схема системы резервирования ресурсов регулярных автобусных маршрутов (Computer Reservation System) «Единая автокасса»

4. Диспетчерское управление движением по автобусным маршрутам

Существующие диспетчерские системы ГЛОНАСС/GPS имеют следующие недостатки:

большинство систем предоставляют информацию о местонахождении транспортного средства без привязки к программе перевозок, что не позволяет однозначно оценить отклонения фактического и планового маршрутов, а так же выполнение графика движения;

некоторые диспетчерские системы ГЛОНАСС/GPS, позволяющие контролировать соответствие фактических и плановых маршрутов, требуют отдельно описывать маршруты и вводить в компьютер выпуск подвижного состава, а так же отдельно фиксировать корректировку программы перевозок;

зачастую транспортная организация обслуживается несколькими операторами ГЛОНАСС/GPS, предоставляющими разное приложение, что осложняет эффективное применение данной технологии.

Диспетчерская система BusTrafficControl (рис. 3) в реальном режиме времени контролирует соответствие перевозочного процесса плановым и нормативным параметрам:

- расписания фактическому движению (прибытие, начало посадки, отправление по остановочным пунктам);

- скоростные режимы;

- соблюдение графика движения (время непрерывного управления, перерыв для отдыха, смена водителя);

- визуальный контроль движения;

- визуальный контроль обслуживания пассажиров на станциях;

- количество пассажиров в салоне автобуса;

- несанкционированные остановки;

- информирование водителя о пассажирах на промежуточных остановках, на которых отсутствуют или не работают пункты диспетчерского контроля;

- замену автобуса или экипажа.

Диспетчерское управление перевозочным процессом основано на комплексном (интегрированном) использовании данных:

- ГЛОНАСС/GPS,

- систем диспетчерского контроля автовокзалов и автостанций;

- нормативной и корпоративной информационных систем.

Такая схема кардинально отличается от применяемых в настоящее время:

- обеспечен необходимый уровень надежности диспетчерского управления за счет дублирования информационных потоков;

- не требуется дополнительных ручных операций настройки и корректировки (как в большинстве используемых систем);

- вся диспетчерская информация сконцентрирована в одном приложении.

5. Заключение

Применение системы BusTrafficManagement позволяет на новом уровне управлять качеством и безопасностью транспортного процесса. Данная система обеспечивает:

- надежный контроль транспортного процесса за счет комплексного использования информационных потоков системы ГЛОНАСС/GPS и операций диспетчерского контроля автомобильных станций;

- регулярность перевозок (точность прохождения остановочных пунктов) за счет жесткого контроля расписания движения;

комплексный анализ исполненного движения с объективным определением параметров качества транспортного обслуживания;

повышение безопасности перевозок за счет оперативного контроля в реальном режиме времени скоростных режимов, контроля режимов труда и отдыха водителей;



Рисунок 3 - Принципиальная схема интегрированной системы диспетчерского управления перевозками BusTrafficControl

информирование водителей о пассажирах на промежуточных пунктах с остановкой по требованию для исключения оставления пассажиров; анализ эффективности расписаний и графиков движения.

В настоящее время BusTrafficManagement интегрирована с системами e-Traffic (автокассы Красноярского автовокзала) и Avibus (автовокзалы и автостанции Кемеровской области).

Пассажирские билеты на автобусные рейсы системы BusTrafficManagement сегодня доступны в большинстве основных Интернет ресурсах России (busfor.ru, tutu.ru, na-avtobus.ru и др).

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 54028-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления междугородними пассажирскими перевозками. Требования к архитектуре, функциям и решаемым задачам

2. ГОСТ Р 54027-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления грузовым автомобильным транспортом. Требования к архитектуре, функциям и решаемым задачам системы диспетчерского управления перевозками строительных грузов по часовым графикам

3. Computer reservation system- Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_reservation_system (retrived on 19 March 2019)

4. ReservationInterface (2012), <http://www.asppms.com/autoclerk/Products/Interfaces/Reservations/Interfaces/InterfacetoGDS.aspx>(retrived on 19 March 2019)

УДК 656.072

СООТНОШЕНИЕ СТОИМОСТИ ЖИЛЬЯ И ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КЕМЕРОВО

А. А. Штоцкая, А. В. Косолапов

***Аннотация.** В данной работе проведено исследование влияния транспортных и градостроительных факторов, в частности, затрат времени на передвижение, на стоимость квадратного метра жилья. Использовались методы статистического анализа (пакеты Statistica; MS Excel). Выполнено исследование характеристик транспортного поведения населения на примере г. Кемерово. Получена модель, описывающая влияние дохода населения и затрат времени на передвижение на стоимость квадратного метра жилья в городе.*

***Ключевые слова:** транспортная доступность, индекс транспортной доступности, жилищная доступность, пассажиропотоки.*

Анастасия Аркадьевна Штоцкая - к.т.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел.: 8-908-941-70-11, E-mail: nesanar@mail.ru.

Андрей Валентинович Косолапов - доцент, к.т.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел.: 8-908-941-70-11, E-mail: nesanar@mail.ru.

С развитием городов, в частности появлением новых спальных районов, становится актуальным понятие жилищная доступность. Традиционно жилищная доступность отражает только стоимость квадратного метра жи-

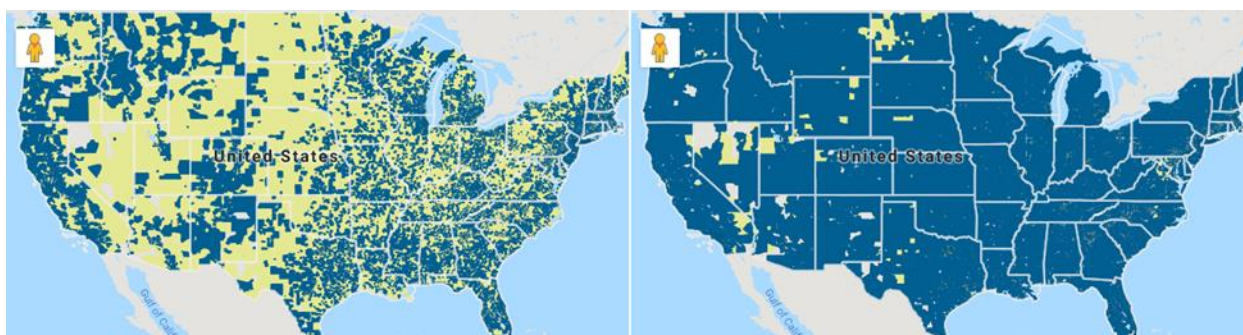
ля, которая варьируется, в том числе, в зависимости от районов застройки города. Рациональное расположение жилья позволяет достичь нескольких целей планирования: уменьшить транспортные расходы, тем самым повлиять на финансовое состояние граждан, снизить риски возникновения дорожно-транспортных происшествий, уменьшить потребность в электроэнергии, уменьшить загрязнение окружающей среды.

Транспортные расходы в значительной степени зависят от стоимости жилья и являются немаловажным фактором при оценке работы транспортной системы города, но на сегодняшний день не отражают традиционные показатели доступности жилья. Скрытые расходы на транспорт затрагивают миллионы семей. Расходы такого рода складываются из финансовых затрат на транспортировку (например, транспортных тарифов или расходов на личный транспорт) и затрат времени на передвижение и влияют на возможность жителей получать образование, добираться до мест приложения труда и совершать культурно бытовые передвижения.

Как известно, транспортный спрос оценивается и моделируется уровнем генерации передвижений населения между различными районами города. Уровень генерации поездок на разных видах транспорта всегда являлся центром дискуссий при исследовании транспортной сети города. Основными независимыми переменными считались доход семьи, размер семьи, наличие индивидуальных автомобилей. Транспортная доступность также может являться неотъемлемой составляющей при анализе частоты совершаемых поездок, поскольку количество передвижений зависит от доступности и уровня транспортных услуг.

В зарубежной литературе рассматривается так называемый индекс доступности жилья и транспорта (The Housing and Transportation (H+T[®]) Affordability Index), который даёт исчерпывающее представление о доступности и оценивает, как стоимость жилья, так и величины транспортных расходов [1, 2]. Принимая во внимание совокупные расходы на жилье и транспортировку, индекс (H+T[®]) обеспечивает более полный анализ доступности территории в целом.

Традиционно, жильё считается доступным, если расходы на него не превышают 30% дохода семьи, однако транспортные расходы являются вторыми по величине для бюджета среднестатистической семьи [3]. Комбинированные расходы на жильё и транспортные нужды дают более полное представление о доступности жилья. На рис. 1 представлены зоны доступности жилья в Соединенных Штатах Америки с учётом и без учёта индекса транспортной доступности [4].



а)

б)

Рисунок 1 - Зоны доступности жилья

а) без учёта индекса транспортной доступности;

б) с учётом индекса транспортной доступности

Очевидно, что, при учёте транспортных расходов, возникает более полная картина оценки привлекательности отдельных районов рассматриваемой территории.

Исследование, проведённое кафедрой автомобильных перевозок КузГТУ [5-7], показало, что средняя стоимость одного квадратного метра жилья для выделенных транспортных районов города колеблется от 30 тыс. руб. до 54 тыс. руб. (рис. 2).

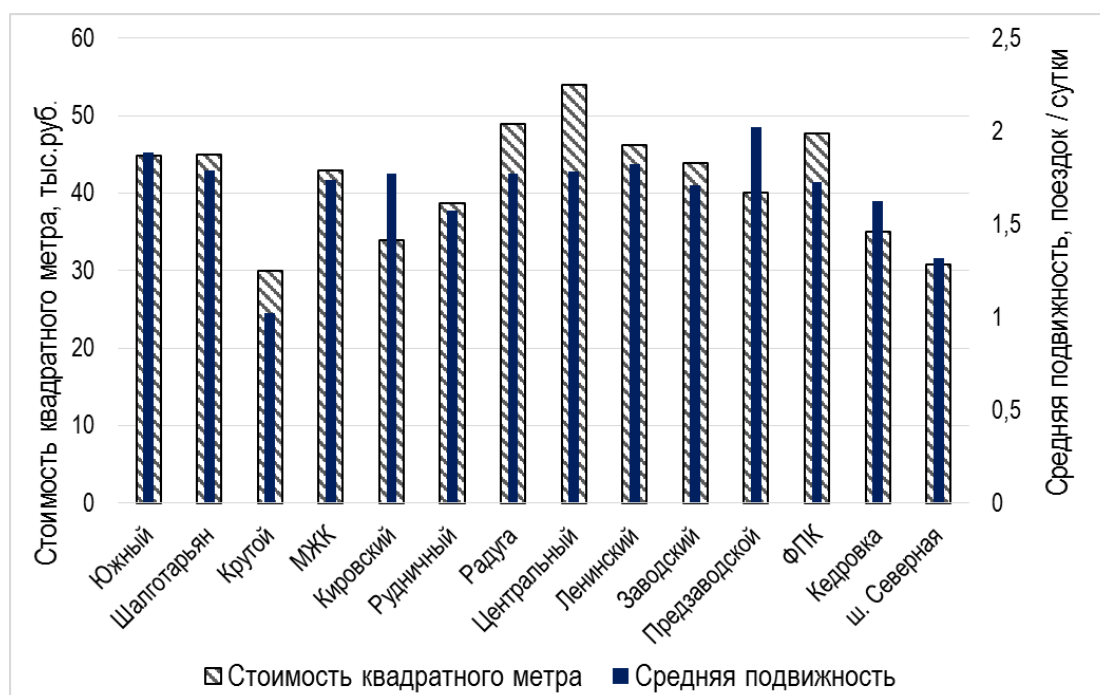


Рисунок 2- Распределение стоимости квадратного метра жилья и средней суточной транспортной подвижности по выделенным транспортным районам г. Кемерово

На рисунке чётко прослеживается связь между стоимостью квадратного метра жилья и удалением от центра города. Согласно п. 11.2 СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [8], затраты времени в городах на передвижение от мест проживания до мест работы для 90% трудящихся (в один конец) не должны превышать 37 мин, для городов с населением 500 тыс. чел. Для населения Кемерово 558 973 чел. [9] затраты времени не должны превышать 37,35 мин. Согласно результатам анкетирования, средние затраты времени на передвижение в городе составляют 23,95 мин, при этом затраты времени соответствуют существующим нормам только у 65,42% граждан.

Зависимость стоимости квадратного метра жилья от затрат времени на передвижение в г. Кемерово представлена на рис. 3. Полученная функция описывается полиномиальной линией тренда второй степени.

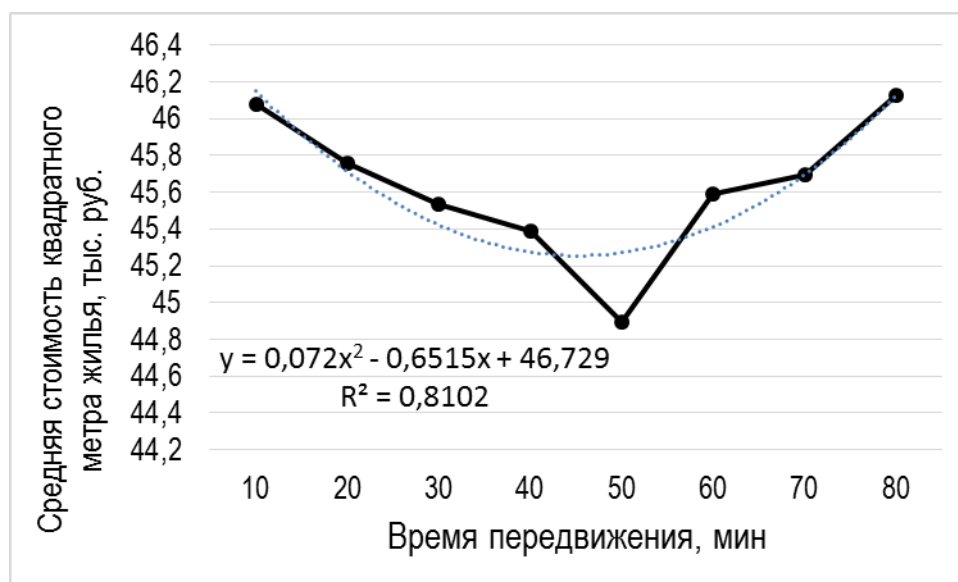


Рисунок 3 - Зависимость стоимости квадратного метра жилья от затрат времени на передвижение

Очевидно, что в г. Кемерово высокая стоимость жилья в более привлекательных с точки зрения транспортной доступности, районах, а затем, с увеличением затрат времени на передвижение, стоимость квадратного метра жилья снижается, причём минимум наблюдается при затратах времени на передвижение 50 минут. При дальнейшем увеличении затрат времени на передвижение наблюдается увеличение стоимости квадратного метра жилья, это обусловлено наличием элитарного жилья и загородных домов в отдалённых городских и пригородных районах.

Поскольку доход семьи, наряду с затратами времени на передвижение, формирует спрос на жилье, было принято решение оценить зависи-

мость стоимости квадратного метра жилья (C) в г. Кемерово от дохода населения (x_1) и затрат времени на передвижение (x_2). Получена следующая функция

$$C = 46,3 - 0,0054x_1 - 0,027x_2, \quad (1)$$

Стоимость квадратного метра жилья на 83,8% объясняется вариацией факторов. Коэффициент детерминации стоимости квадратного метра жилья от линейной комбинации факторов составляет 0,7. Проверка на адекватность модели выполнена при сравнении фактического и табличного значений критерия Фишера. Фактическое значение превышает критическое ($F = 2679,1 > F_{95\%,2,4471} = 2,9957$), следовательно, уравнение признаётся статистически значимым. Значимость $F_{3н} = 0$ представляет вероятность того, что F -отношение с числителем 2 и знаменателем 4 471, имеет значение 2 679,1 и больше. Эта вероятность гораздо ниже 0,05, поэтому нулевую гипотезу можно отвергнуть на уровне статистической значимости 5% и принять альтернативную гипотезу о том, что, по крайней мере, один из коэффициентов регрессии не равен нулю.

Расчетные значения t -критерия по модулю больше табличных во всех рассмотренных случаях, следовательно, коэффициенты модели значимы (табл. 1). Вероятность того, что t -значение больше или равно абсолютной величине значительно меньше 0,05 также во всех имеющихся вариантах, что означает необходимость принятия альтернативной гипотезы, т.е все переменные в полученной модели обладают статистической значимостью.

Таблица 1 – Дисперсионный анализ

Факторы	$t_{\text{расчетное}}$	$t_{\text{критич.}}$	p -значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y	2 152,2003	$t_{95;4469}$ = 1,96	0	46,26249	46,34685
x_1	-2,0051952		0,04500238	-0,01074	-0,00012
x_2	-73,051992		0	-0,02789	-0,02643

На основании проведённого анализа была определена цена квадратного метра жилья в выделенных транспортных районах, которая варьируется в среднем от 30 тыс. руб. до 54 тыс. руб. Получена зависимость стоимости квадратного метра жилья от затрат времени на передвижение. Стоимость жилья в районах, имеющих низкий уровень транспортной доступности, значительно ниже, чем в районах, привлекательных по уровню транспортной доступности. Разработана модель, оценивающая влияние дохода населения и затрат времени на передвижение на стоимость квадратного

метра жилья. Полученные результаты могут быть использованы в рамках задач транспортного и городского планирования.

Список использованной литературы

1. Kurvinen, A., & Sorri, J. (2016). Bus Transportation Accessibility – Does It Impact Housing Values? In S. Nenonen, & J-M. Junnonen (Eds.), Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Understanding impacts and functioning of different solutions (Vol. IV, pp. 321-331). Tampere: Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering.

2. Maksim Sharov Dependence of Cost of Housing on Transport Accessibility of Area: Case of City of Irkutsk/ Maksim Sharov, Aleksandra Butuzova, Alla Litkina 2.

3. Housing and Transportation Affordability Index [Электронный ресурс]//Режим доступа:

https://www.transitwiki.org/TransitWiki/index.php/Housing_and_Transportation_Affordability_Index (дата обращения 25.03.2019)

4. Two Views of Affordability [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://htaindex.cnt.org/compare-affordability/> (дата обращения 23.03.2019)

5. Штоцкая, А. А. Оценка транспортной подвижности населения на основе дезагрегированных моделей / А. А. Штоцкая, А. Ю. Михайлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5. С. 199-207. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-199-207.

6. Штоцкая, А. А. Влияние стоимости жилья на транспортную подвижность населения в г. Кемерово / А. А. Штоцкая, П. С. Борисов // II Научно-практическая конференция «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте», 2018 г.

7. Штоцкая, А. А. Исследование влияния социально-экономического положения населения на выбор способа перемещения / А. А. Штоцкая // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса : материалы III Международной научно-практической конференции, г. Новокузнецк, 28-30 ноября 2014 г – Новокузнецк : Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2014. – С. 254-256.

8. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»

9. Электронная энциклопедия[Электронный ресурс]//Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE>

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗАМЕРОВ
НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО И
БУФЕРНОГО ИНДЕКСОВ**

**Р.Н. Горбунов, З.В. Горбунова, В.С. Колчин,
А.Ю. Михайлов, Ж.Т. Пиров**

***Аннотация.** В статье приводится описание таких параметров оценки качества (эффективности) функционирования автомобильных дорог как временной и буферный индексы. Предложена модель, описывающая суточную динамику времени передвижения по маршруту с учетом возможного наличия светофорного объекта и нерегулируемого пешеходного перехода. С помощью модели определены зависимость точности определения временного и буферного индексов от периодичности проведения замеров.*

Ключевые слова: *улично-дорожная сеть, суточная динамика, моделирование, уровень обслуживания, временной индекс, буферный индекс.*

Роман Николаевич Горбунов - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-201 а, тел.: 89501111031, E-mail: gorbunpw@list.ru.

Зинаида Васильевна Горбунова - к.э.н., доцент, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-123, тел.: 89086678177, E-mail: flocean@mail.ru.

Василий Савельевич Колчин - к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-123, тел.: 89500607406, E-mail: kolchin@istu.edu.

Александр Юрьевич Михайлов - д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-201а, тел.: 89148701840, E-mail: mikhaylov_ay@mail.ru.

Джахонгир Тиллоевич Пиров - аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-201а, тел.: 89016512456, E-mail: vilia-7@mail.ru.

Вопрос об оценке качества и надежности организации дорожного движения был поднят давно и остается актуальным по сей день [3-13, 15, 16]. Согласно от 29 декабря 2017 г. № 443-ФЗ "Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [1] к полномочиям органов государственной власти Российской Федерации в области организации дорожного движения относится установление порядка определения основных параметров дорожного движения, ведения их учета, использования учетных сведений и формирования отчетных данных в области организации дорожного движения. В соответствии с п.6 Постановления Правительства РФ № 1379 от 16 ноября 2018 г. «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета» [2], вступившего в действие с 30.12.2018 г., расчет значений основных параметров дорожного движения должен осуществляться с учетом методических рекомендаций по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения, утверждаемых Министерством транспорта Российской Федерации. Данные методические рекомендации должны регламентировать оценку основных параметров дорожного движения, на основе которых должен осуществляться анализ состояния организации дорожного движения на федеральном уровне. В числе параметров, предлагаемых к рассмотрению, указаны временной индекс (ТТi) и буферный индекс (I_b).

Для расчета временного индекса применяются различные методики [8,13-16], используются показатели времени перемещения 15%, 85%, 95% транспортной обеспеченности или же значения времени передвижения в пиковый период и в свободных условиях. Если воспользоваться методикой, предложенной Бюро транспортной статистики США [14], то индекс определяется по формуле

$$ТТi = \frac{T_p}{T_{ff}}, \quad (1)$$

где T_p – затраты времени на передвижение в пиковый период; T_{ff} – затраты времени на передвижение в свободных условиях.

Буферный же индекс по этой методике определяется по формуле

$$I_b = \frac{T_p - \bar{T}}{\bar{T}} \quad (2)$$

где T_p – продолжительность передвижения в пиковый период;
 \bar{T} – средняя продолжительность передвижения.

Определение указанных индексов предполагает наличие выборки замеров, на основании которой определяются значимые для расчета показателя. Выборка может быть сформирована на основе натуральных замеров или на основании базы данных треков, полученных с навигационного оборудования, расположенного в автомобилях. Существует два подхода к минимизации трудоемкости сбора данных для оценки указанных индексов.

Первый подход заключается в минимизации объема обследований, например, для расчёта временного индекса достаточно провести всего два замера: первый замер, полученный в пиковый период и второй замер, полученный в свободных условиях. Если со свободными условиями всё более-менее понятно, в вечернее-ночное время поток транспортных средств минимален, то главной проблемой реализации данного подхода является определение того момента, в который должно быть произведено обследование, чтобы получить данные о состоянии улично-дорожной сети (далее УДС) в пиковые периоды. Эта же проблема возникает и при определении буферного индекса.

Второй подход заключается в определении минимального объема репрезентативной выборки (т.е. периодичности проведения замеров), достаточного для определения индексов с допустимой погрешностью. Кроме того, следует оценивать влияние различных факторов, способных оказывать воздействие на продолжительность передвижения по маршруту (светофорный объект, нерегулируемый пешеходный переход (далее НПП), погодные условия и т.п.) и как следствие на минимальный объем выборки.

Для решения задачи, связанной со вторым подходом, была подготовлена вариативная модель суточной динамики изменения интенсивности (средней скорости) движения автомобилей по маршруту.

В основу модели легли исходные условия, которые сформулированы на основе анализа уже имеющейся базы данных треков:

1. Свободные условия движения по маршруту в период с 22:00 до 5:00.
2. Пиковые нагрузки приходятся на 8:30 и 18:30 (\pm несколько минут).
3. В период с 5:00 до 8:30 и с 16:00 до 18:30 происходит увеличение интенсивности движения и снижается средняя скорость движения по маршруту до минимальных значений.
4. В период с 8:30 до 9:30 и с 18:30 до 22:00 происходит снижение интенсивности движения и возрастает средняя скорость движения по маршруту.
5. Увеличение и снижение времени прохождения по маршруту в указанные периоды происходит нелинейно.
6. Для отражения влияния случайных параметров модель предусматривает использование генератора случайных чисел, который задает скорости отдельных автомобилей на маршруте, согласно условиям интенсивности и отклонения измеряемых (моделируемых) значений скорости движе-

ния, на случайную величину из заданного диапазона для каждого измерения.

Таблица 1 – Суточная интенсивность

Интервал времени		Интенсивность вар. 1, авт./час	Интенсивность вар. 2, авт./час
0:00	1:00	20	20
1:00	2:00	20	20
2:00	3:00	20	20
3:00	4:00	20	20
4:00	5:00	20	20
5:00	6:00	50	50
6:00	7:00	200	200
7:00	8:00	750	750
8:00	9:00	2000	2000
9:00	10:00	1000	1000
10:00	11:00	600	1000
11:00	12:00	400	1000
12:00	13:00	400	1000
13:00	14:00	400	1000
14:00	15:00	400	1000
15:00	16:00	400	1000
16:00	17:00	600	1000
17:00	18:00	1000	1000
18:00	19:00	1500	1500
19:00	20:00	800	800
20:00	21:00	300	300
21:00	22:00	100	100
22:00	23:00	20	20
23:00	0:00	20	20

Для проведения эксперимента в модель были заложены следующие исходные параметры:

1. Максимально возможная скорость прохождения по маршруту 60 км/ч.

2. Интенсивность в свободных условиях 20 авт./час и возрастает до 1500-2000 автомобилей в пиковые периоды, табл.1, при этом максимальная (расчетная) скорость движения автомобилей снижается до 20-30 км/час.

3. Скорость движения каждого автомобиля может быть снижена на случайную величину до 10%.

4. Предложено 2 варианта суточной интенсивности: 1 вариант предполагает снижение интенсивности до 400 автомобилей в час в дневной период, 2 вариант предполагает снижение интенсивности до 1000 автомобилей в час в дневной период.

5. Для данного эксперимента определим показатель допустимой погрешности, в размере 5%.

Варианты суточной динамики интенсивности и средней скорости представлены на рис. 1,2. Таким образом, за сутки были собраны данные о средних скоростях движения по маршруту для каждого из 11040 автомобилей для 1 варианта и для каждого из 14840 автомобилей для 2 варианта. С помощью модели были сгенерированы случайным образом 1000 вариантов суточной динамики средней скорости каждого автомобиля для каждого варианта интенсивности, рис.1,2.

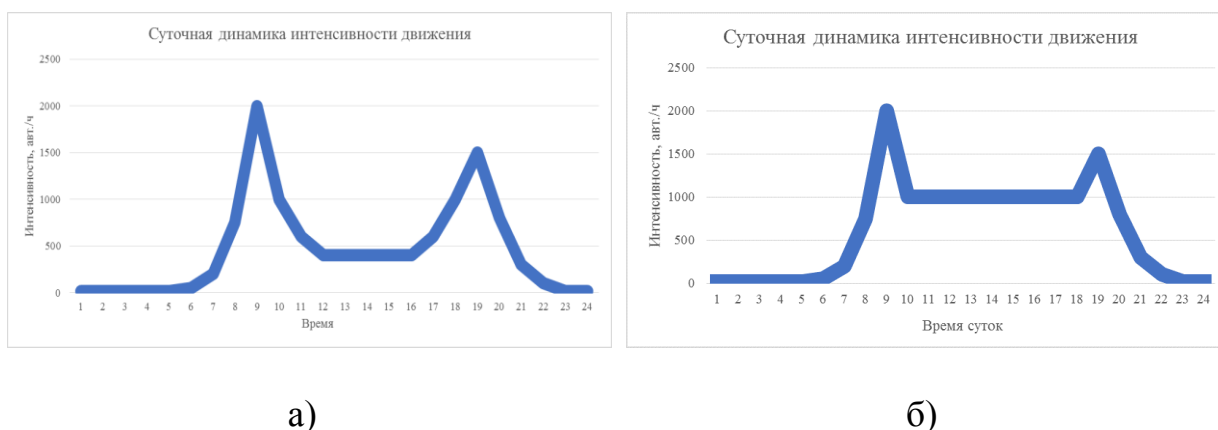


Рисунок 1 - Суточная динамика интенсивности движения:
а) вариант 1; б) вариант 2

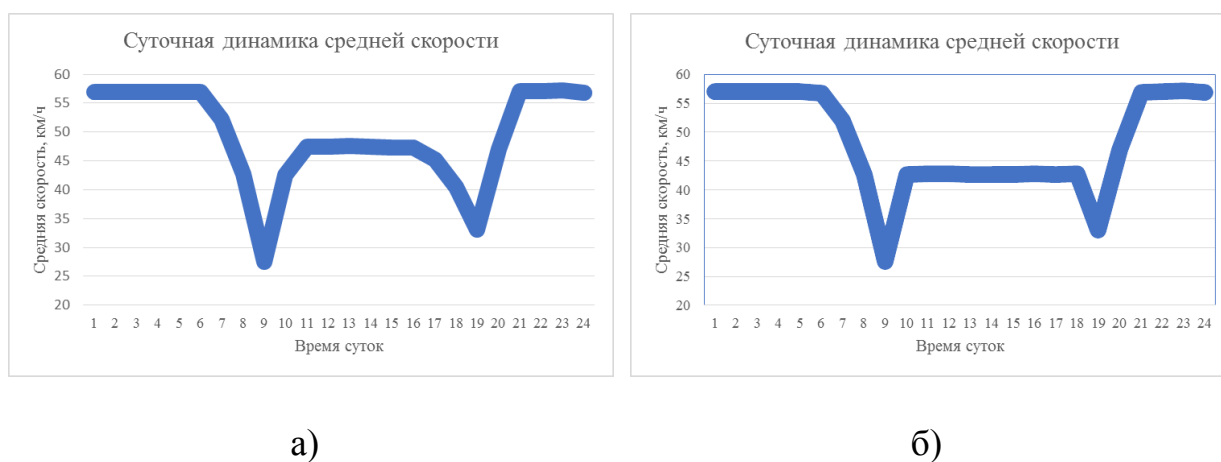


Рисунок 2 - Суточная динамика средней скорости:
а) вариант 1; б) вариант 2

Затем была сформирована случайная выборка 100%,80%, 60%, 40%, 20%, 10%, 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625% результатов из числа данных, собранных за каждый час. В случае, если число выбранных вариантов представляло собой дробное число, то округление происходило в большую сторону, таким образом, выборка за каждый час была представлена хотя бы одним значением средней скорости в указанном диапазоне.

На основе собранных данных были рассчитаны $T\bar{T}i$ и $I\bar{b}$, пример полученных результатов представлен в табл.2.

Таблица 2 – Значения $T\bar{T}i$ и $I\bar{b}$ при различных % выборки

Процент выборки	$T\bar{T}i$	$I\bar{b}$
100%	3,357	1,764
80%	3,357	1,764
60%	3,352	1,762
40%	3,352	1,766
20%	3,302	1,725
10%	3,196	1,642
5%	3,196	1,626
2,5%	3,196	1,626
1,25%	3,196	1,624
0,625%	3,164	1,628

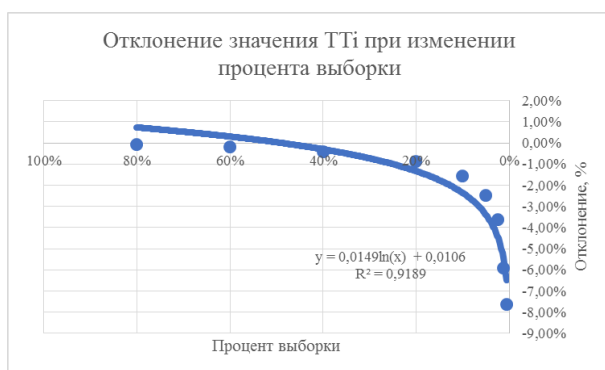
Далее было рассчитано относительное отклонение значений индексов для каждой выборки относительно значений индексов при 100% выборке для всех 1000 вариантов суточной динамики средней скорости для каждого автомобиля для двух вариантов и найдено среднее значение отклонений.

Из табл.3 видно, что прослеживается динамика снижения точности определения индексов при снижении процента выборки для обоих вариантов.

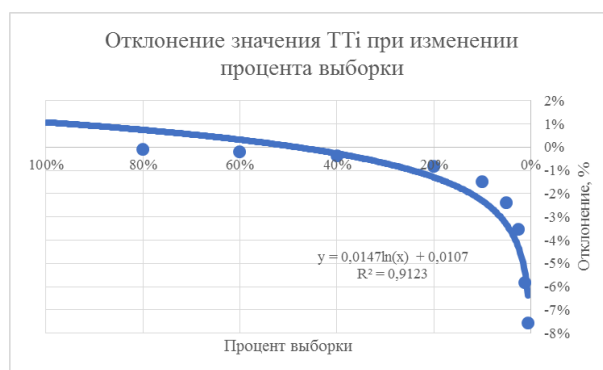
Динамика зависимости точности определения $T\bar{T}i$ и $I\bar{b}$ при различных уровнях выборки представлен на рис. 3,4.

Таблица 3 – Среднее значений отклонений

Процент выборки	Вариант 1		Вариант 2	
	ТТi	Ib	ТТi	Ib
80%	0,08%	-0,12%	-0,08%	-0,12%
60%	0,20%	-0,30%	-0,19%	-0,30%
40%	0,41%	-0,62%	-0,36%	-0,58%
20%	0,88%	-1,34%	-0,84%	-1,32%
10%	1,56%	-2,41%	-1,48%	-2,33%
5%	2,48%	-3,75%	-2,37%	-3,66%
2,50%	3,57%	-5,25%	-3,51%	-5,24%
1,25%	5,90%	-8,68%	-5,83%	-8,72%
0,625%	7,67%	11,21%	-7,54%	11,44%

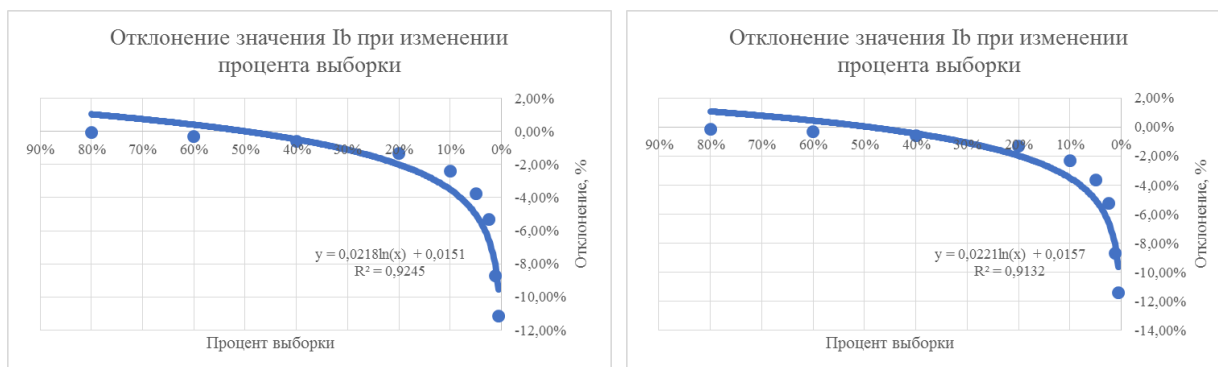


а)



б)

Рисунок 3 - Изменение точность измерения ТТi при изменении процента выборки:
а) вариант 1; б) вариант 2



а)

б)

Рисунок 4 - Изменение точность измерения Ib при изменении процента выборки:
а) вариант; б) вариант 2

Проведя статистический анализ данных, была выявлена зависимость точности получаемых результатов от размера выборки, описываемая формулами для $T\bar{T}_i(3,5)$ для $I_b(4,6)$:

Для первого варианта

$$F(x) = 0,0149 \ln(x) + 0,0106, \text{ при } R^2 = 91,89\%, \quad (3)$$

$$F(x) = 0,0218 \ln(x) + 0,0151, \text{ при } R^2 = 92,45\%, \quad (4)$$

Для второго варианта

$$F(x) = 0,0147 \ln(x) + 0,0107, \text{ при } R^2 = 91,23\%, \quad (5)$$

$$F(x) = 0,0221 \ln(x) + 0,0157, \text{ при } R^2 = 91,32\%, \quad (6)$$

где $F(x)$ – относительное отклонение получаемого результата при заданном проценте выборки, x – процент выборки.

По результатам эксперимента, можно отметить, что для определения показателя $T\bar{T}_i$ с 95% точностью на основе полученных зависимостей необходима выборка для первого варианта не менее 1,72%, для второго варианта 1,71% из данных о суточной динамике средней скорости. Для определения показателя I_b с 95% точностью необходима выборка для первого варианта и второго варианта не менее 4,87%, из данных о суточной динамике средней скорости.

Полученные в ходе исследований зависимости показывают, что изменение суточной динамики не влияет на объём выборки, необходимый для определения временного и буферного индексов с заданной точностью. В то же время наиболее чувствительным к объёму выборки оказался буферный индекс, это объясняется тем фактом, что для буферного индекса необходимо определение среднего значения времени передвижения, а при малых объёмах выборки снижаются показатели средней скорости в часы со значительной амплитудой скоростей движения в выбранный период.

Исходя из смысла каждого из рассматриваемых индексов, можно сделать дополнительно следующие предложения по оптимизации проведения реальных измерений. Для временного индекса значимыми являются значения времени движения по маршруту в свободных условиях и в период пиковой нагрузки, то есть наименьшие и наибольшие показатели времени, таким образом, можно исключить замеры во внепиковые периоды и провести несколько замеров в свободных условиях для того, чтобы определить минимальное время, а затем сделать выборку результатов в объёме не менее 1,72% от общего объёма выборки в диапазоне, где должен быть отмечен пиковый период.

Для буферного индекса значимыми являются наибольший и средний показатель времени движения по маршруту, таким образом, оптимизация обследования может быть достигнута путем увеличения периодов измерений во внепиковые периоды, когда с достаточной степенью надёжности мы можем экстраполировать полученные результаты на более продолжительный период времени для расчета средней скорости движения, например, в ночное время, когда условия движения меняются не значительно и могут считаться свободными, в остальные периоды можно производить выборку в объёме не менее 4,87%.

Кроме того, в данном искусственном эксперименте не учитывалось воздействие случайных факторов и факторов, периодически влияющих на скорость движения, например, нерегулируемые пешеходные переходы, светофорные объекты и т.п., влияние данных факторов может скорректировать объём необходимой выборки.

Дальнейшие исследования должны предполагать выявление зависимости и степени влияния условий движения и других параметров на точность измерений, проводимых с различной периодичностью.

Список использованной литературы

1. Федеральный закон от 29 декабря 2017 года № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2018 г. N 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета».

3. Горбунов Р.Н., Михайлов А.Ю., Пиров Ж.Т. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надежности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 10. – Т. 21. – С. 188-194.

4. Зырянов В.В. Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков. // Кемерово: Кузбасский политехнический институт. 1993. – 164 с.

5. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.

6. Михайлов А. Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей. – Известия ИГЭА., 2004. № 2 (39).

7. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

8. Михайлов А.Ю., Левашев А.Г., Шаров М.И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. Иркутск, 2015. 218 с. Деп. в ВИНТИ РАН 31.03.2015, № 64-В2015.

9. Румянцев, Е.А. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков / Е.А. Румянцев, А.Ю. Михайлов // Сб. докл. девятой междунар. конф. Организация безопасности дорожного движения. – Санкт-Петербург, сент. 2010. – С. 121–123.

10. Тебеньков С.Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях. Реф. дисс. к.т.н. Иркутск, ИрГТУ, 2013. – 20 с.

11. Шаров М.И., Левашев А.Г. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7 (102). С. 174-178.

12. Шелков Ю.Д., Шештокас В.В. Методический подход к оценке работоспособности городской улично-дорожной сети. //Труды ВНИИ БД МВД СССР. М., 1979, вып.4, с.20 – 23

13. Bennecke A., Friedrich B.; Briedrich M.; Lohmiller J.: Time-dependent Service Quality of Network Sections. Proc. of. the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011.

14. Bureau of Transportation Statistics, режим доступа: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (дата обращения 06.05.2018г.)

15. Fruin, J. J. (1971). Pedestrian planning and design (No. 206 pp).

16. Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time. United States Department of Transportation - Federal Highway Administration, 2013.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ
И УЧЕТА РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ РФ**

**Н.А. Филиппова, В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко
В.М. Беляев, А.А. Чеботаев**

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы программного обеспечения автоматизированной системы диспетчерского контроля и учета работы автомобильного транспорта для Северных районов РФ.

В связи с новыми технологиями на транспорте технически возможно на сегодняшний день использование глобальных навигационных спутниковых систем - ГЛОНАСС, GPS и GALILEO (в перспективе).

Приказом Минтранса РФ №141 от 01.10.2007, Правительством Российской Федерации Постановлениями № 896 от 03.08.99, №323 от 30.04.2008, № 641 от 25.08.2008г., Федеральным законом Российской Федерации от 14 февраля 2009 г. N 22-ФЗ «О навигационной деятельности» было определено, что в навигационных системах, используемых на транспортном комплексе Российской Федерации должна в обязательном порядке применяться система ГЛОНАСС. Таким образом, государственная стратегия в отношении системы ГЛОНАСС является вполне определенной и однозначной.

Ключевые слова: *автоматизированные навигационные системы, автомобильный транспорт, GPS, ГЛОНАСС, Северные районы РФ.*

Надежда Анатольевна Филиппова - к.т.н., доц.,
E-mail: umen@bk.ru, МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр.,
64, тел.:8 (499) 346-01-68 доб. 2186.

Вениамин Николаевич Богумил - к.т.н., доц.,
E-mail: v_bogumil@mail.ru, МАДИ, Россия, 125319, Москва,
Ленинградский пр., 64, тел.:8 (499) 155-03-76.

Дмитрий Борисович Ефименко - д.т.н., доц.,
E-mail: ed2002@mail.ru, МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский
пр., 64, тел.:8 (499) 155-04-79.

Владимир Михайлович Беляев, д.т.н., проф.,
E-mail: belyaev-v@mail.ru, тел.:8 (499) 155-04-79.

Чеботаев Алик Александрович, д.т.н., проф.,
E-mail: management.madi@mail.ru, МАДИ, Россия, 125319, Москва,
Ленинградский пр., 64, тел.:8 (499) 155-04-79.

Введение

Использование современных средств вычислительной техники является необходимым условием совершенствования анализа производственно-хозяйственной деятельности транспортных компаний [5,6,7]. Большое значение приобретают вопросы компетенции управленческого труда как средства повышения его эффективности, снижения трудовых и временных затрат.

На сегодняшний день в основном существует следующий механизм сбора информации о завезенном грузе[15]:

- ✓ информация с путевого листа;
- ✓ отметка о приеме груза;
- ✓ путевые листы за сутки;
- ✓ передача информации в бухгалтерию.

Данный механизм сбора информации не обеспечивает удобства их использования и обработки. Так же не обеспечивается оперативность данных, так как необходимая информация поступает к обработке только на следующий день. Работнику, ведущему учет доставленного груза, требуется масса времени для извлечения необходимых данных. Следовательно, на анализ информации и принятию оперативных решений остается мало времени, а это чревато в Северных районах возникновением чрезвычайной ситуации.

Программное обеспечение автоматизированной навигационной системы диспетчерского контроля и учета работы грузового автомобильного транспорта для Северных районов РФ является не просто совершенствованием и повышением эффективности перевозок грузов, но и одной из важнейших задач для выживания людей, которые живут и работают в этих условиях на благо России[13, 14,15,16,15,17].

1. Состав основных функциональных подсистем и автоматизированных рабочих мест специалистов

Программное обеспечение автоматизированной навигационной системы диспетчерского контроля и учета работы грузового автомобильного транспорта предназначено для автоматизации процессов диспетчерского управления процессом перевозок. В соответствии с [19], состав основных функциональных подсистем диспетчерской системы управления перевозками грузов включает в себя следующие подсистемы:

- "Оперативное планирование перевозок";
- "Автоматизированный учет, контроль и анализ движения грузового транспорта";
- "Оперативное диспетчерское управление";
- "Оперативный анализ движения";

В базовой (типовой) компоновке системы задачи указанных подсистем реализуются типовыми конфигурациями автоматизированных рабочих мест (АРМ) в составе:

- «АРМ диспетчера»;
- «АРМ технолога»;
- «АРМ руководителя»;
- «АРМ администратора системы».

2. Назначение автоматизированных рабочих мест специалистов

2.1 Назначение АРМ диспетчера

АРМ диспетчера предназначен для автоматизации функций оперативного диспетчерского управления. Основные функции АРМ диспетчера:

- 1) Формирование оперативных заданий и трассы маршрута.
- 2) Формирование и печать путевого листа.

Формирование (происходит автоматически) и корректировка информации маршрутного листа и вывод его на печать;

При печати маршрутного листа водителю указываются места и времена прибытия. Распечатывается фрагмент электронной карты с заданным маршрутом движения, прохождение которого автоматически контролируется.

3) Диспетчерский контроль и регулирование процесса транспортировки, включая визуальное отображение движения по заданиям в табличной форме (изменение цвета ячеек при прохождении, опоздании) с отображением относительно текущего времени дня;

4) Контроль времени выполнения транспортных операций, включая: определение фактического времени приезда транспортных средств (ТС); определение фактического времени выезда ТС с объекта по завершению транспортной работы; определение фактической продолжительности нахождения ТС на объекте (при превышении фактического времени простоя ТС на объекте свыше установленного норматива диспетчер системы получает соответствующее сообщение).

5) Контроль движения автомобилей по заданному маршруту движения, включая: фиксацию нарушений скоростного режима; фиксацию отклонения от трассы маршрута; фиксацию нарушения плановой последовательности прохождения КП; фиксацию нахождения вне обозначенных контрольных пунктов.

При возникновении ситуаций несанкционированного ухода с линии маршрута, установленной в маршрутном листе, диспетчер системы получает соответствующее сообщение с указанием идентификационных параметров ТС, величины отклонения и временных параметров.

Табличная форма АРМ диспетчера отображает текущее состояние и местоположение ТС относительно объектов пунктов парков/объектов инфраструктуры и т.д. Окно «горячих сообщений» содержит информацию о

нарушениях установленных норм времени на операции, нарушения скоростного режима, отклонения от запланированной трассы движения и т.д.

6) Визуальное отображение движения отдельного ТС в табличной форме (изменение цвета ячеек при изменении состояния ТС) с отображением относительно контрольных пунктов; визуальное отображение маршрутов и ТС на карте местности (рис. 1); голосовая связь и обмен SMS непосредственно из программы (при наличии подключенного к компьютеру GSM модема); регулирование процесса транспортировки, включая изменение оперативного плана для ТС; анализ информации о нарушениях хода процесса транспортировки.

7) Непрерывный контроль основных операций процесса транспортировки позволяет оперативно обнаруживать возникающие нарушения, устанавливать причины и виновников и вовремя применять меры по устранению возникающих отклонений от плана.

8) формирование оперативных справок и отчетных форм по текущему состоянию выполнения плана транспортировки,

9) анализ переговоров в эфире.

Все переговоры в эфире между диспетчерами и водителями записываются и могут быть воспроизведены диспетчером при рассмотрении спорных или неясных ситуаций.

Базовый функционал Системы предоставляет возможность автоматической прокладки маршрута движения по графу дорожного движения (аналогично сервисам GoogleMaps, Yandex). Базовый интерфейс предоставляет возможность ручного корректирования трассы движения с возможностью автоматической печати маршрутного листа.

Основной экран АРМ диспетчера Системы отображает ход выполнения запланированной транспортной работы, фактического состояния, а также окно «горячих» сообщений о нарушениях.

2.2 Назначение АРМ технолога

АРМ технолога предназначен для формирования базы данных нормативно-справочной информации, анализа работы транспортных средств по выданным заданиям и разрешения спорных ситуаций. С этой целью АРМ технолога ЦДС обеспечивает выполнение следующих функций:

1) Технологическая подготовка оперативного цикла управления:

Формирование и корректировка специального слоя контрольных пунктов.

2) Анализ работы ТС по выданным заданиям и разрешения спорных ситуаций, включая просмотр журналов нештатных ситуаций.

Технолог имеет возможность визуально отслеживать местоположение движение контролируемых ТС с помощью электронной карты местности, как в реальном масштабе времени, так и за прошедший период времени с использованием архива навигационных данных.

3) Формирование набора табличных и графических выходных форм. Для анализа исполненного движения существует ряд справок.

- Справка о сменно-суточном плане.

- Справка о выполнении сменно-суточного плана. Справка отражает подробно по каждому пункту фактические и плановые временные показатели, пробеги и отклонения.

- Справка о работе водителя/ТС. Справка отображает расшифровку по каждому выполненному рейсу, по каждому контрольному пункту фактические и плановые временные показатели, пробеги и скорости, а также суммарные показатели. Набор подобных справок по каждому рейсу водителя за сутки является инструментальным подтверждением его работы.

- Справка о простоях ТС на объектах. Справка содержит сведения о простоях ТС на объектах, представленных контрольными пунктами.

- Справка о нарушениях. Справка содержит все сообщения о нарушениях в разрезе ТС с указанием времени выдачи сообщения системой, и комментариями к сообщению, которые внёс диспетчер, обрабатывая сообщения.

Контроль отклонения от линии маршрута движения может быть организован, только если электронная карта местности содержит слой «ориентированный граф дорог». Он также необходим для прокладки трассы маршрута.

4) Формирование и ведение специализированных справочников базы данных, включая ввод и корректировку нормативно-справочной информации (НСИ), необходимой для формирования сменно-суточных заданий, контроля и управления процессом транспортировки.

Состав НСИ включает в себя следующие справочники:

- Модели Транспорта: универсальный справочник по моделям транспорта;

- Транспортные Средства: справочник по подвижному составу предприятия, работающему в Системе,

- Водители: универсальный справочник по водителям;

- Справочник мобильного оборудования, устанавливаемого на транспортные средства;

- Справочник закрепления мобильного оборудования системы за конкретными ТС. Справочник содержит информацию о том, какие радиостанции установлены на транспортных средствах, работающих в системе.

2.3 Назначение АРМ руководителя

АРМ Руководителя обеспечивает выполнение функций контроля критических показателей процесса транспортировки, архива истории движения и внештатных ситуаций.

Помимо всех перечисленных выше выходных форм для АРМ руководителя обеспечивает возможность формирования следующих дополнительных выходных форм:

- Справка о простоях ТС

Справка о простоях ТС на объектах (и вне объектов) содержит информацию о времени простоя по каждому ТС и суммарную информацию.

- Справка о нарушениях скоростного режима

Справка о нарушениях скоростного режима в разрезе государственных номеров ТС содержит информацию о допущенных нарушениях скоростного режима за прошедшие оперативные сутки.

По каждому допущенному нарушению дается информация о времени нарушения, продолжительности движения с нарушением скоростного режима, средней скорости движения с нарушением скоростного режима движения. Кроме того, Системой формируются итоги по каждой ТС, допустившей нарушения скоростного режима и итоги по предприятию в целом.

- Отчет «Фактический расход топлива за период» содержит информацию за отчетный период об объемах на начало и конец периода, заправках, сливах и расходе по каждому транспортному средству.

- Отчетные формы по расходу топлива по дням

Отчет «Фактический расход топлива по дням» содержит информацию за отчетный период об объемах на начало и конец периода, заправках, сливах и расходе по каждой ТС в разрезе календарных дат.

- Отчет «График изменения уровня топлива за сутки». Наглядно отображает динамику изменения уровня топлива за сутки по выбранному транспортному средству.

2.4 Назначение АРМ администратора Системы

Администратор системы с помощью специального программного обеспечения обеспечивает надежную работу всей системы. С этой целью он выполняет следующие автоматизированные функции:

- Управление и архивное копирование данных системы;
- Управление доступом к системе;
- Резервное копирование базы данных;
- Восстановление базы данных по сохраненным копиям;
- Оптимизация базы данных;
- Формирование и уточнение местоположения контрольных пунктов.

В процессе работы автоматизированной системы диспетчерского управления, на телематический сервер поступает большое количество данных: навигационные отметки, данные о наряде и т.д. Хранение данные за все дни в одном месте приводит к значительному снижению скорости работы системы вплоть до полной остановки. В связи с этим в системе предусмотрено 3 различных накопителя для данных:

- 1) Накопитель для расчетного дня

В накопителе для расчетного дня хранятся данные за текущий день и за те дни, по которым необходимо представление данных для формирования отчетных форм. Полный список формируется Администратором – исходя из производственной необходимости. Весь оперативный диспетчерский контроль основан на данных именно этого накопителя. Поэтому одной из важных задач Администратора системы является проверка его состояния.

2) Накопитель для архива

В этом накопителе хранятся все остальные дни. За любой день, хранящийся в архиве, можно получить отчетную форму. Большое количество дней, хранящихся в архиве, может привести к увеличению размера базы данных на диске файл-сервера, снижению скорости получения отчетных форм и производительности системы в целом. Поэтому еще одной важной задачей Администратора Системы является Архивное копирование данных на внешний носитель и очистка накопителя для архивов от «старых дней».

3) Накопитель на диске

Вся информация в базе данных хранится в одном единственном файле большого размера. Поэтому для того, чтобы записать данные за какой-то конкретный день на внешний носитель (например, на перезаписываемый компакт-диск), необходимо сначала получить данные за этот день в виде отдельных файлов, заархивировать их и уже после этого записывать архив на внешний носитель. Для выполнения этой операции необходимо воспользоваться программой управления и резервного копирования данных.

Заключение

Информационно вычислительная сеть компании позволяет обеспечить ускорение передачи информационных сообщений, возможность быстрого обмена информацией между пользователями, получение и передача сообщений, не отходя от рабочего места, а также обмен информацией между компьютерами разных фирм производителей, работающих под разным программным обеспечением [11].

В итоге возникает необходимость в теоретическом обосновании направлений повышения данной эффективности за счет максимальной автоматизации функций и операций диспетчерского персонала. Решения данных задач напрямую связано с развитием математических моделей и методов обработки навигационных данных. При этом следует учитывать, что функция «навигация» в технических системах станет такой же массовой, как в свое время стала функция «время». Это означает, что навигационные данные будут использоваться не только при решении задач диспетчерского управления, но и при более широком круге новых задач, которые в общем случае можно назвать «технологическими».

Список использованной литературы

1. Власов, В.М., Иванов, А.М., Жанказиев, С.В. Научные подходы к формированию концепции построения ИТС в России // Автотранспортное предприятие, М., 2010, №4.
2. Власов, В.М. Развитие корпоративных систем диспетчерского управления и обеспечения безопасного функционирования наземных транспортных средств на базе навигационных приемников ГЛОНАСС/GPS / Национальный журнал-каталог «Транспортная безопасность и технологии» № 3 (16), 2008 г.
3. Власов, В.М., Жанказиев, С.В. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие, М., 2010, №7.
4. Власов, В.М. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В.М. Власов, В.М. Приходько, С.В. Жанказиев, А.М. Иванов. - М., МАДИ. – М.: ООО «МЭЙЛЕР», 2011. – 487с.
5. Власов, В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте: учебник для студ. учреждений высш. образования / Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. - М. Издательский центр «Академия», 2014. – 256с.
6. Власов, В.М. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: учебник / Власов В.М., Богумил В.Н., Ефименко Д.Б. - М.: ИНФРА-М, 2018. – 352 с.
7. Власов, В.М. Беспроводные технологии на автомобильном транспорте. Глобальная навигация и определение местоположения транспортных средств: учебное пособие/ Власов В.М., Мактас Б.Я., Богумил В.Н., Конин И.В. - М.: ИНФРА-М, 2017. – 184 с.
8. Богумил, В.Н. Телематические системы диспетчерского управления движением автомобильного транспорта, как части ИТС мегаполиса / Богумил В.Н., Жанказиев С.В., Ефименко Д.Б. //9-я Международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», С-Пб., 2010. – С. 115 - 120.
9. Ефименко Д.Б., Губанов А.И., Николаев А.Б., Остроух А.В., Автоматизированная навигационная система диспетчерского контроля и учета работы транспорта нефтедобывающих предприятий // Молодой ученый. — 2011. — №4. Т.3. — С. 18-21. — URL <https://moluch.ru/archive/27/3093/> (дата обращения: 22.07.2018).
10. Ефименко, Д.Б. Особенности применения автоматизированных систем контроля работы грузового транспорта / Ефименко Д.Б., Ледовский А.А. - Вестник МАДИ, вып.2 (53), апрель-июнь, 2018. – С. 116-123.
11. Ефименко, Д.Б. Совершенствование информационного обеспечения процессов управления грузовыми перевозками автомобильным транс-

портом / Ефименко Д.Б., Филатов С.А., Сергеев С.В., Васильенков Р.В. - Журнал «В мире научных открытий». – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. №6 (66) Естественные и технические науки – с. 261-269.

12. Ефименко, Д.Б. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов / Ефименко Д.Б., Терентьев А.В., Карелина М.Ю. - Журнал «Вестник гражданских инженеров» № 6 (65) – 2017. – С. 291-294.

13. Филиппова Н.А., Беляев В.М. Анализ процесса управления северным завозом в современных рыночных условиях / Н.А. Филиппова, В.М. Беляев // Грузовое и пассажирское автохозяйство, 2010. - № 9. с. 17-20.

14. Филиппова Н.А., Беляев В.М. Адаптивная математическая модель для оптимизации завоза грузов в условиях Севера / Н.А. Филиппова, В.М. Беляев // Грузовое и пассажирское автохозяйство, 2013. - № 11. с. 17-20.

15. Филиппова Н.А. Методология организации и функционирования систем доставки грузов в северные регионы, монография, под. ред. Беляева В.М., М.: Издательство Техполиграфцентр, 2015. - 208 с.

1. Концептуально-методологические основы организации транспортной системы северных регионов / Н.А. Филиппова // Мир Транспорта // 2017. – 1. с.

16. Сопоставление методов планирования доставки грузов в Северные регионы РФ / Н.А. Филиппова, В.М. Беляев // Логистика // 2016. – 11 с.

17. Информационное обеспечение перевозочного процесса мультимодальной системы / Н.А. Филиппова // Наука Красноярье / 2015. – 1 с.

[18. ГОСТ Р 54027-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления грузовым автомобильным транспортом. Требования к архитектуре, функциям и решаемым задачам системы диспетчерского управления перевозками строительных грузов по часовым графикам](#)

19. [The Analytical Test of Methodological Approaches to the Increasing the Level of Automation of the Basic Functions of the Car Dispatching of the Cargo Delivery to Northern Regions of the Russian Federation / Filippova N.A., Belyaev V.M., Shilimov M.V., Koshkarev P.P., Odinkova I.V. // International Journal of Applied Engineering Research \(IJAER\) Volume 12, Number 21 \(2017\) / 2017.](#)

[20. Technology of Monitoring and Control Algorithm Design for Earth-Moving Machine / Efimenko D.B., Maksimychiev O.I., Ostroukh A.V., Zbavitel P.Yu., Ivakhnenko A.M., Karelina M.Y. // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. No 9. pp. 6430-6434.](#)

[21. Automated dispatching control system of the mobile concrete batching plants / Dmitry Efimenko, Andrey Ostroukh, Yashar Nuruev, Sultan Zhan-](#)

[kaziev, Dmitry Moroz // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN 1819-6608, VOL. 11, NO. 11, JUNE 2016. pp. 6733-6737.](#)

[22. Bogumil V., Efimenko D. \(2013\) Urban Transport Dispatch Control System Helps to Increase Intelligent Transport Systems Effectiveness, Proceedings of the 11th European transport congress, Prague, September 19 – 20, 2013, pp. 20-25.](#)

[23. Bhourri N., Balbo F., Pinson S. \(2012\) An agent-based computational approach for urban traffic regulation /Artifact Intelligence, 2012, pp. 139–147, DOI 10.1007/s13748-012-0011-0.](#)

[24. Kammoun, H.M., Kallel, I., Casillas, J., Abraham, A. and Alimi, M.A. \(2014\) Adapt-Traf: An adaptive multiagent road traffic management system based on hybrid ant-hierarchical fuzzy model, Transportation Research Part C 42 \(2014\) 147–167.](#)

[25. Qian Runhuaa, Cong Huaa, Zhao Ruiling, Li Yuanxing \(2013\) Design Scheme of Public Transport Comprehensive Dispatching MIS based on MAS//13th COTA International Conference of Transportation Professionals \(CICTP 2013\). Tlig M., Bhourri N. \(2011\) A Multi-Agent System for Urban Traffic and Buses Regularity Control, Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011, issue 20, pp. 896–905.](#)

УДК 656.078.18

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В АРКТИКЕ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Т. П. Егорова, А. М. Делахова

***Аннотация.** Функционирование и развитие промышленных предприятий, осуществляющих свою деятельность в условиях Арктики, во многом зависит от бесперебойной и слаженной работы всех звеньев системы снабжения. Отсутствие круглогодичной транспортной инфраструктуры в районах Арктической зоны значительно увеличивает транспортные издержки предприятия. При решении этих задач возникает необходимость повышения точности планирования, анализа и оценки логистических процессов снабжения, хранения и транспортировки материальных потоков предприятия. Применение логистических методов решения задач позволяет разработать рациональные схемы завоза грузов, что может положительно сказаться на экономических результатах транспортной деятельности компании. Авторы рассматривают метод решения задачи Make-or-Buy (МОВ - «делать или покупать»), когда в отношении закупки логистических услуг рассматриваются иные варианты с транспортными*

средствами посредника в качестве альтернативы в целях минимизации издержек.

Ключевые слова: логистика, северный завоз, материально-техническое обеспечение, управление перевозчиками, задача МОВ.

Татьяна Поликарповна Егорова - к.э.н. ведущий научный сотрудник НИИРЭС СВФУ им. М.К. Аммосова, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Ленина, 1, 89142274432, tr.egorova@s-vfu.ru.

Анна Михайловна Делакхова - старший научный сотрудник НИИРЭС СВФУ им. М.К. Аммосова, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Ленина, 1, 89841011733, am.delakhova@s-vfu.ru.

Промышленные предприятия в Арктической зоне Республики Саха (Якутия) в основном заняты добычей минерально-сырьевых ресурсов (золота, алмазов и др.), а расширение добычи ресурсов ставит проблему рационализации транспортной деятельности и материально-технического обеспечения предприятия. Особенность функционирования предприятий в арктических территориях Якутии заключается в необходимости обеспечения годового запаса материальных и топливно-энергетических ресурсов из-за отсутствия круглогодичных транспортных коммуникаций.

Суровость климата и наличие многолетнемерзлых пород в значительной степени удорожают строительство объектов транспортной инфраструктуры: большие сроки строительства, значительная отдаленность получаемого эффекта от вкладываемых средств, преимущественное проявление эффекта от транспортного строительства во в нетранспортной сфере. К тому же, высокие капитальные затраты сопровождаются последующими повышенными вложениями в эксплуатацию транспортных объектов.

Использование существующих сезонных транспортных схем при увеличивающихся объемах работ по добыче ресурсов в Арктике вызывает большие транспортные издержки. При этом кардинальные изменения на транспортной сети республики, которые ожидаются в связи с подходом железной дороги к г. Якутску, подсказывают идею рассмотрения более широкого круга вариантов построения транспортных схем. В данном исследовании рассмотрена транспортно-снабженческая деятельность условного предприятия N, занимающегося добычей ресурсов на северо-западе Якутии. Участки месторождений минерально-сырьевых ресурсов предприятия сосредоточены, как правило, в труднодоступных и удаленных территориях.

В решении задачи оптимизации транспортной деятельности предприятия по материально-техническому обеспечению используется многовариантный подход, ориентированный на использование существующих транспортных направлений в разных вариациях; использование перспек-

тивного транспортного направления, связанного с железной дорогой до г. Якутска и далее разными видами транспорта; применение преимущественно водного транспорта, как одного из самых экономичных по транспортной составляющей затрат. В процессе исследования были применены методы математического моделирования, сравнительного экономического анализа эффективности различных вариантов, экспертные и прогнозные оценки с учетом влияния организационно-экономических и природно-климатических условий функционирования транспорта [1].

Производственные объекты промышленных предприятий в арктических районах Якутии по своему географическому положению являются труднодоступными в транспортном отношении, несмотря на то, что расположение их находится не так далеко от мест заселения, имеются естественные транспортные коммуникации (реки, СМП), где располагаются основные базы снабжения предприятий, в пределах доступности расположены аэропорты. Тем не менее, доставка материалов, оборудования, техники и других грузов осуществляется предприятиями водного, автомобильного и воздушного транспорта преимущественно сезонного действия по довольно протяженным и многозвенным схемам, включающим от 3 до 5 звеньев (таблица 1).

Таблица 1 – Описание схем доставки грузов промышленных компаний в западной части Арктики Республики Саха (Якутия)

Вид транспорта	Схема маршрута доставки	Расстояние	Период транспортировки	Характер груза
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Железнодорожный транспорт	Пункт назначения – ж/д станции Берка-кит, Алдан, Томмот, Н. Бестях (в перспективе)		круглогодично	техника, оборудование, ППТН, ТМЦ.
Автомобильный транспорт	Автодорога Берка-кит-Якутск	840 км	20 декабря – 20 апреля*, 25 мая – 20 октября*	Техника, оборудование, ППТН, ТМЦ.
	Автозимник Якутск – Маят	2574 км	10 января – 20 апреля*	Техника, ППТН, ТМЦ, продукты, ГСМ.
	Автодорога/ автозимник Ленск – Маят	1572 км	20 января – 20 апреля	ППТН

Окончание таблицы 1

	Автозимник Юрюнг-Хая – Маят	376км	20 января – 30 апреля	ГСМ
	Автодорога/ ав- тозимник Якутск – Сиктях – Молодо	1760км	1 февраля – 20 апреля*	техника, ППТН, ТМЦ, продукты, ГСМ.
Водный транспорт	Усть-Кут – Юрюнг- Хая	4679км	июнь – сен- тябрь	ГСМ.
	Якутск – Юрюнг- Хая	2700км	июль – сен- тябрь	строительные материалы, ТМЦ
	Усть-Кут – Ленск	952км	июнь – октябрь	ППТН
	Якутск – Сиктях – Молодо	1274км	июнь – октябрь	техника, ППТН, ТМЦ, продукты, ГСМ
	Архангельск – Юрюнг-Хая	5200 км	август – сен- тябрь	ГСМ, ТМЦ
Воздуш- ный транспорт	Якутск – Саскылах – Маят	1285км	май – декабрь	запчасти, ТМЦ, продукты
Хранение и перера- ботка гру- зов	Склад г. Якутск		круглогодично	техника, ППТН, ТМЦ, продукты, ГСМ
	База Юрюнг-Хая		круглогодично	ГСМ
	Ленск		круглогодично	ППТН

* – зависимость от открытия/закрытия ледовой/паромной переправы через р. Лена

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ТМЦ – товарно-материальные ценности

ППТН – продукция производственно-технического назначения

Выбор оптимальной транспортной схемы завоза грузов в арктические регионы охватывает комплекс вопросов, связанных с составом и характеристикой объектов транспортной инфраструктуры, конкретными условиями эксплуатации, технико-экономическими и эксплуатационными параметрами их функционирования. Критерий оптимальности выбранной экономико-математической модели должен адекватно отражать реальную ситуацию, выбор методов решения поставленных задач характеризуется появлением множества нестандартных ситуаций, может быть связан с нетипичными способами транспортировки грузов [2]. Соответственно, исполь-

зование ресурса ситуационного управления является одним из необходимых условий.

Рассматриваемыми объектами в данном исследовании являются: грузополучатель (N), предприятия транспорта, участвующие в процессе доставки грузов (речной, автомобильный, воздушный), пункты отправления грузов, пункты перевалки и назначения грузов, подвижной состав транспорта, объемы и структура грузопотоков.

По каждому участку транспортного пути и соответствующего вида транспорта устанавливаются технико-экономические и эксплуатационные параметры с учетом имеющихся нормативов использования объектов транспорта по загрузке, скорости, времени и потенциальным возможностям повышения эффективности работы технических средств. Срок работы участка зависит от начала и окончания работы входящих в него звеньев. Также следует принять во внимание такие моменты, когда участок с автодорогой круглогодичной эксплуатации имеет сезонные перерывы в работе, (паромная переправа). Среди многообразия вариантов транспортных схем особые сложности возникают при организации судоходства по малым рекам, где продолжительность работы участка составляет 20 суток, когда как по р. Лена до 150 суток, по р. Вилюй 40-60 суток. Исходя из этого, устанавливаются даты приема к перевозке для каждого варианта.

Отмеченные особенности доставки грузов обуславливают необходимость согласованности, соблюдения четкой организации работы всех служб (перевозочной, информационной, финансовой и т.д.) в короткий период функционирования транспортных сетей [3]. Так, для предприятия N нами было разработано 26 схем доставки грузов с участием разных видов транспорта, сезонных и круглогодичных, учитывая перспективные направления, связанные с вводом железной дороги до г. Якутска, со строительством дополнительных объектов транспортной инфраструктуры.

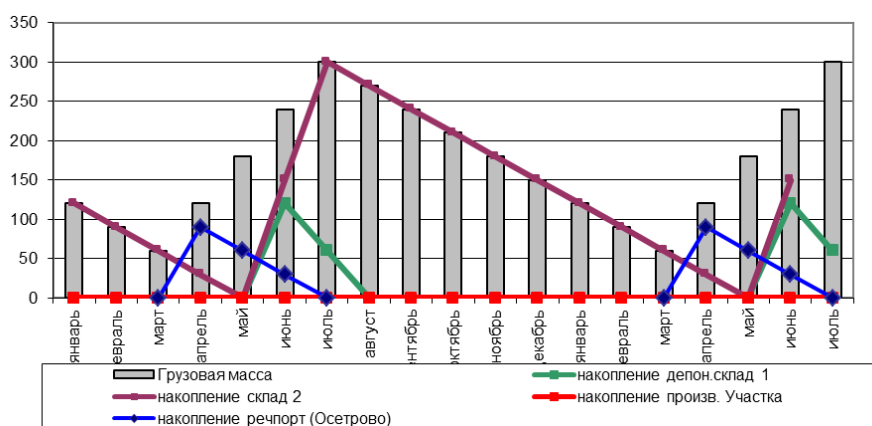


Рисунок 1 - Движение запасов по схеме: речпорт – автозимник

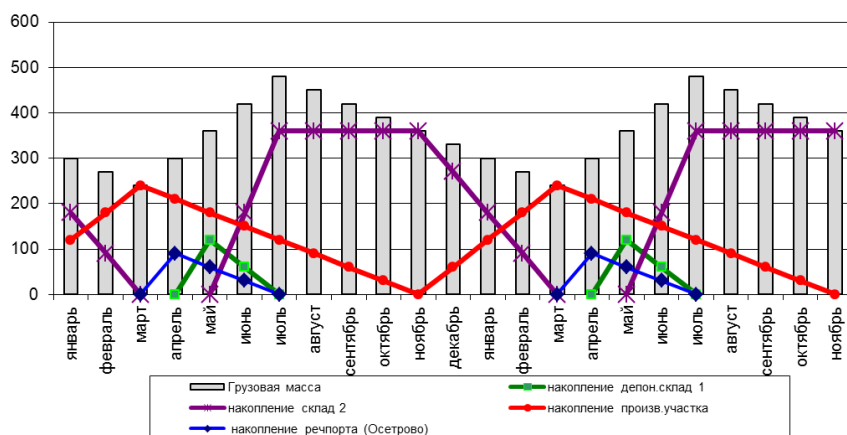


Рисунок 2 - Движение запасов по схеме: речпорт – автодорога

Решение транспортной задачи по доставке грузов сопряжено не только с минимальными транспортными издержками, в учет принимается скорость оборота товарной массы, находящейся в процессе обращения. На примере рисунков 1 и 2 наглядно отражено изменение объема запасов при сезонных способах доставки и включения круглогодичного участка автодороги, что позволяет предприятию существенно экономить оборотные и денежно-кредитные ресурсы.

Промышленные предприятия ежегодно завозят нефтепродукты (ГСМ), МТР, а также ТМЦ (таблица 3) и продовольствие для нужд муниципальных образований, при этом тоннаж социальных грузов из года в год увеличивается. Автозимник ежегодно начинается со второй декады января и закрывается во второй декаде апреля, в зависимости от метеоусловий с разницей в 5-10 дней (таблица 1,3). Учитывая значительное отклонение сроков действия автозимников (до 11 суток), возникает необходимость пересмотра объемов страховых запасов и привлечения дополнительных транспортных средств.

Таблица 2 - Анализ грузооборота и привлеченного автотранспорта

	2015	2016	2017	2018
Фактический объем (т)	25 410	24 321	15 898	22 596
начало автозимника	12.01.15	13.01.16	13.01.17	18.01.18
конец автозимника	20.04.15	14.04.16	10.04.17	15.04.18
Продолжительность, сут.	98	92	87	87
кол-во рейсов	727	1079	603	768
кол-во привлеченных АТС	116	165	117	181

Ежегодно помимо своего автопарка, насчитывающего более ста единиц, включая тяжелую технику (экскаваторов, бульдозеров, самоходных автокранов) предприятием привлекается к грузоперевозке от 50 до 180 единиц автотранспорта из сторонних организаций, в т. ч. индивидуальных предпринимателей. Из анализа грузооборота прошлых лет следует, что доля перевезенного груза собственным транспортом составляет 40%. Сырьё и продукты доставляют на участки предприятия двумя способами: централизованным и децентрализованным. Все поставки осуществляются на основании заключения договора поставки, который играет в снабжении немаловажную роль. Оптимизация логистической системы – это поиск, оценка, выбор, проектирование и внедрение улучшений в логистических подсистемах (закупки, транспорт, склад, планирование, распределение, сервис) с учётом выбранного критерия (сервис, затраты, время и т.п.), согласно стратегии логистики компании. Для компании важно управление логистическими процессами и минимизация рисков в логистике [4].

Если логистические процессы внутри компании могут управляться, исходя из выбранных и описанных выше критериев и стратегий, то наличие логистических посредников, которые осуществляют свою деятельность по собственным критериям и исходят из собственных стратегий, вносит существенные риски, оказывающие влияние на результаты логистического процесса. Как правило, компании прибегают к услугам логистических посредников, которые специализируются на транспортно-экспедиционных услугах [4]. Так, например, предприятие «N» в течение многих лет сотрудничало с компанией «K»(генеральный контрагент по грузоперевозкам) по осуществлению перевозок, хотя существует свой автопарк и спецтехника. Во внешних грузоперевозках предприятие «N» свой автотранспорт не использует, его используют только при внутренних грузоперевозках между участками.

Широкое распространение в процессе управления снабжением получил метод, который основан на решении в закупочной логистике так называемой задачи «МОВ» (в англоязычной литературе – Make-or-BuyProblem) – задача «сделать или купить». Решение этой задачи требует обоснования ответа на вопрос о самостоятельном производстве необходимых предприятию деталей, услуг и т.д. или закупки их из внешних источников [5,6]. Поэтому для принятия решения необходимо сравнить расходы на собственное производство материалов (услуг) с расходами на их закупку. Альтернативой услугам стороннего (генерального) перевозчика может стать работа на основе тендера с малокомплектными организациями или индивидуальными предпринимателями, занятыми на грузоперевозках. Сравнительный анализ (таблица 3) показывает, что затраты генерального перевозчика на перевозку существенно выше оплаты наемным водителям.

Таблица 3 – Сравнительный анализ «МОВ» для ТМЦ

Контрагент	Маршрут	Расстояние, км.	Тариф руб./ т-км, без НДС	План ТМЦ (т).	Стоимость за перевозку (тыс. руб.), без НДС
1	2	3	4	5	6
генеральный перевозчик	Якутск – прииск "Маят"	2534	18,00	3518	160 463
генеральный перевозчик	Юрюнг-Хая - прииск "Маят"	395	10,29	9085	36 926
С генеральным перевозчиком			Итого:	12 603	197 389
По итогам торгов	Якутск – прииск "Маят"	2534	7,50	3518	66 859
По итогам торгов	Юрюнг-Хая - прииск "Маят"	395	5,15	4585	9 327
Наемный автопарк	Юрюнг-Хая - прииск "Маят"	395	0,00	4500	4 192
Наемный транспорт в количестве 7ед. с перевозчиками по итогам торгов			Итого:	12 603	80 379

Затраты по прямым договорам складываются из оплаты одного водителя в месяц (130 тыс. руб.) и расходов на ГСМ и питание в течение 3 месяцев действия автозимника. Итого за период зимника автопарк из 7 единиц автотехники расходует в среднем 20,9 тыс. т ГСМ стоимостью 1 199,9 тыс. рублей, 262 тыс. руб. на питание и 2 730 тыс. руб. на ФОТ (фонда оплаты труда).

Рынок логистических услуг сложен и неоднозначен. Как на любом рынке, на нем присутствуют множество посредников [7]. Исследование показало, что реальные перевозчики получают 40% от цены контракта, остальные средства остаются генеральному перевозчику. Изучение Федерального закона от 30.06.2003 № 87 ФЗ «О транспортно-экспедиционной деятельности» позволяет уяснить, что, экспедитор, осуществляя оказание услуг по экспедированию груза, никакой ответственности ни за порчу или утерю груза, ни за нарушение сроков перевозки, ни за прочие вопросы, связанные с качеством оказания услуги, фактически не несет. Эта практика повлияла на появление большого количества непрофессиональных компа-

ний, пытающихся прорваться на логистический рынок за счет ценового демпинга [8]. Здесь кроются риски, на которых следует остановиться подробнее.

1) Временные риски:

- несвоевременная подача транспортных средств под загрузку;
- выбор дешевого, но медленного маршрута на всех этапах перевозки;
- несвоевременное согласование документов с отправителем;
- задержки при таможенной очистке из-за неполного пакета документов или неверной кодификации в товарной накладной.

2) Материальные риски:

- ошибки при страховании груза;
- простой транспорта, сверхнормативное хранение груза, увеличивающее затраты компании;
- снижение торгового оборота компании из-за временных задержек;

3) Правовые риски:

- ошибки контрагентов при оформлении первичных бухгалтерских документов, отсюда вытекают проблемы при проверках и аудите;
- ошибки декларирования при растаможивании товаров.

Таким образом, предприятие может оптимизировать свою логистическую систему, максимально используя свои собственные транспортные средства и отказавшись от услуг генерального грузоперевозчика, выставив на торги услуги перевозки, одновременно, сократив риски и снизив общие логистические затраты. Процесс управления логистикой данного предприятия предполагает постоянный контроль структуры логистических издержек [9]. Систематическое определение и анализ структуры логистических издержек позволяет выявить основные резервы по их снижению, разработать конкретные мероприятия по их оптимизации.

Отказ предприятия от посредников-перевозчиков в пользу использования собственного автомобильного парка влечет за собой изменение и реструктуризацию бизнес-процессов в планировании [10] и организации управления снабжением материально-техническими ресурсами производства.

• Статья подготовлена в рамках выполнения проекта по заданию Министерства образования и науки РФ № 26.8327.2017/8.9

Список использованной литературы

1. Зак Ю.А. Математические модели прогнозирования затрат времени и стоимости перевозки грузов /Логистика сегодня. 2015. № 1. С. 2-12.

2. Жирный Р.И., Котиев Г.О. Решение транспортных задач в условиях Крайнего Севера /Газовая промышленность. 2009. № 7 (634). С. 78-80.
3. Сергеев В.И., Эльяшевич И.П. Управление взаимоотношениями с поставщиками /Логистика и управление цепями поставок. 2012. № 3 (50). С. 82-86.
4. Эльяшевич И.П. Решение задачи «делать или покупать» в логистике снабжения /Логистика и управление цепями поставок. 2016. № 4 (75). С. 67-75.
5. Пермякова А.А. Совершенствование транспортной деятельности компании на основе логистических решений: задача Make-or-Buy на предприятии /Синергия Наук. 2018. № 24. С. 180-190.
6. Pratama M.A.; Rosyidi C. N.; Pujiyanto E. Two stages optimization model on Make-or-Buy analysis and quality improvement considering learning and forgetting curve/ Journal of industrial engineering and management-JIEM.- T 11. (vol. 4), p. 794-813.
7. Шелепина И.Г. Метод реальных опционов при управлении инвестициями в логистике /РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2018. № 3. С. 191-194.
8. Плещенко В.И. Анализ применения различных типов контрактов при формировании долгосрочной рыночной стратегии снабжения производственными ресурсами /Логистика сегодня. 2017. № 3. С. 232-238.
9. Brew A;Elsner R. Make-or-Buy decisions on technology-intensive products: insights from the consumer goods industry/ International journal of innovation management/ T 22 (vol.6), UNSP 1850046.
10. Барт Т.В., Кадацкая Д.В. Обеспечение качества закупок на основании модели партнёрства /Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 101-104.

УДК 656.13:338.47

ТЕХНОЛОГИИ ГЛОНАСС КАК ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА: СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ

О.В. Гриванова, Р.И. Гриванов, Р.А. Решетников

***Аннотация.** В статье рассматривается текущее состояние использования навигационных технологий на базе системы ГЛОНАСС в автотранспортной сфере на примере системы экстренного оповещения об аварийных ситуациях «ЭРА-ГЛОНАСС». Рассматривается суть работы системы, технические решения, обеспечивающие её работу и опыт внедрения в автомобильной отрасли. Так же рассматривается влияние необходимости оснащения вводимых в действие на территории России авто-*

мобилей на рынок бывших в употреблении импортных автомобилей. Исследуется проблема по организации системы авторизованных центров по установке и обслуживанию оборудования системы «ЭРА-ГЛОНАСС» в Приморском крае и связанные с ними социально-экономические последствия. Сделаны рекомендации по дальнейшему развитию применения технологий глобальных навигационных систем на автомобильном транспорте с учетом позитивного и негативного опыта внедрения и эксплуатации на сегодняшний день.

Ключевые слова: ЭРА-ГЛОНАСС, безопасность дорожного движения, экономика автомобильного транспорта, Приморский край, навигационные технологии.

Ольга Владимировна Гриванова - канд. техн. наук, доцент, директор института транспорта и логистики, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, E-mail: olga.grivanova@vvsu.ru; тел: +74232404027, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия 690014.

Роман Игоревич Гриванов - канд. полит. наук, доцент кафедры экономики и управления, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, E-mail: grivanov@inbox.ru, тел: +79025245643, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия 690014.

Роберт Андреевич Решетников - студент бакалавр кафедры экономики и управления, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, E-mail: reshrobert@icloud.com, Тел. +79143382305, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия 690014.

Очевидно, что роль телекоммуникационных технологий в транспортно-логистической сфере становится все более весомой и в дальнейшем данная тенденция будет только укрепляться как в отношении коммерческого транспорта, так для автомобильного транспорта частных лиц. Актуальность исследования определяется в первую очередь важной ролью автомобильного транспорта в социально-экономическом развитии общества и современной политикой государства на обязательное внедрение технологий ГЛОНАСС, влияние которых на возможность эксплуатации коммерческого и личного автотранспорта может в ближайшей перспективе стать определяющим. Следовательно, всестороннее изучение данной тематики становится одной из главных задач исследователей в сфере автомобильного транспорта, его экономики, организации, планирования текущей деятельности и инновационного развития.

Научная новизна исследования состоит в применении синкретического подхода и анализа объекта исследования не только с точки зрения технической и технологической составляющей процесса внедрения технологий ГЛОНАСС в России и Приморском крае в частности, но и анализ социально-экономических факторов данного процесса, что позволяет рассмотреть не только динамику инновационного развития автомобильного транспорта в сфере навигационных технологий и меру успешности Российской национальной системы ГЛОНАСС в данной отрасли, но также последствия и риски для экономики данной ключевой отрасли.

Целью статьи является оценить значение системы «ЭРА-ГЛОНАСС» на сегодняшний день и успешность её внедрения в Российской Федерации, на примере Приморского края.

Исходя из данной цели сформулированы следующие исследовательские задачи:

- оценить влияния технических норм и стандартов, связанных с данной системой на автотранспортный сектор экономики;
- проанализировать опыт Приморского края и выявить системные недостатки при внедрении данной системы в регионе;
- дать рекомендации по оптимизации использования «ЭРА-ГЛОНАСС» на автомобильном транспорте региона и страны в целом.

Из новейших публикаций по данной тематике следует упомянуть работы Д.В. Дьяченко [1], В.В. Терентьева [2], А.В. Степченкова [3] и Д.М. Юсуповой [4]. Данные работы дают достаточно много актуальной информации по исследуемой проблеме, но, во-первых, не охватывают детально ситуацию в Приморском крае, регионе где весьма высока роль импорта автомобильного транспорта в экономике, как на уровне бизнеса, так и частных лиц, и, во-вторых, представляется недостаточно изученной тема взаимосвязи региональной экономики и технического уровня реализации внедрения и использования системы «ЭРА-ГЛОНАСС».

«ЭРА-ГЛОНАСС» – федеральная государственная территориально распределенная автоматизированная информационная система экстренного реагирования при авариях, обеспечивающая оперативное получение формируемой в некорректируемом виде на основе использования сигналов глобальной навигационной спутниковой системы Российской Федерации, информации о дорожно-транспортных и об иных происшествиях на автомобильных дорогах в Российской Федерации, обработку этой информации, ее хранение и передачу в экстренные оперативные службы [5].

Ключевым фактором успешного применения государственной автоматизированной информационной системы (ГАИС) «ЭРА-ГЛОНАСС» является высокая доля автомобилей, оснащенных данной системой и устройством вызова экстренных оперативных служб(УВЭОС) в парке легковых автомобилей страны[6].

Таблица 1 – Данные парка легковых автомобилей в стране

Показатель	2016	2017	2018
Зарегистрированные автомобили в стране (тыс.)	45163	46887	-
Автомобили, оборудованные «ЭРА-ГЛОНАСС» (тыс.)	215	1 202	3 392
Удельный вес автомобилей, оборудованных «ЭРА-ГЛОНАСС», %	0,52	2,73	-

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что темпы оснащения автомобилей системой «ЭРА-ГЛОНАСС» находятся на недостаточно высоком уровне, и для его повышения требуется принятие дополнительных, более эффективных мер. В связи с чем, требуется проведение анализа по определению направления совершенствования инфраструктуры.

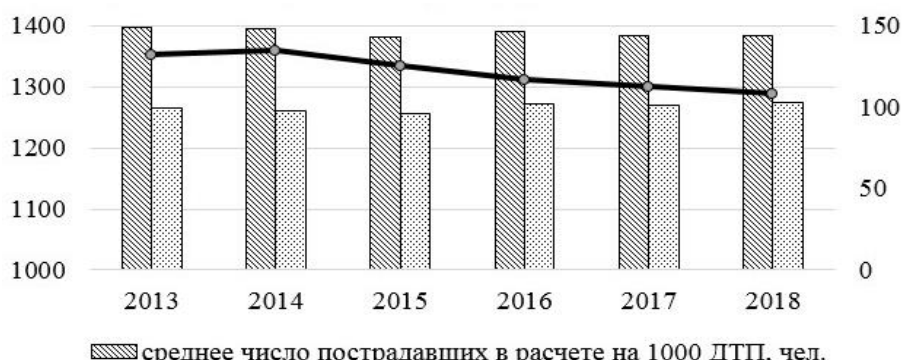


Рисунок 1 - Данные статистики дорожно-транспортных происшествий в стране

Система «ЭРА-ГЛОНАСС», по мнению разработчиков, должна положительно повлиять на статистику смертности при ДТП в стране. Стоит рассмотреть статистику ДТП в стране в период с 2013 по 2018 года, которая представлена на рис. 1[7]. По данным ОА «ГЛОНАСС» на 13.03.2019 системой принято и обработано 2 659 583 вызовов, из которых 31 786 потребовали реагирования экстренных служб [8].

Из рис.1 видно, что за последние 6 лет наблюдается тенденция снижения числа пострадавших в расчете на 1 000 ДТП за весь период, включающий число раненых и погибших человек, среднегодовой темп снижения составляет 0,2%. На данную динамику оказало влияние снижение числа погибших в расчете на 1 000 ДТП – в среднем 3,9% в год. Следовательно, учитывая положительную динамику снижения числа пострадавших, а также числа погибших в расчете на 1 000 ДТП, наблюдается динамика роста числа раненых, что в данном контексте является положительным фактором. Для большей показательности стоит рассмотреть динамику числа

погибших при ДТП на 100 тыс. населения по стране и по Приморскому краю, в частности[9].

Таблица 2 – Число лиц, погибших в ДТП, на 100 тыс. населения

Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Российская Федерация	18,85	18,77	15,80	13,86	13,00	12,40
Приморский край	21,98	20,17	15,62	12,65	13,73	16,25

По данным таблицы 2 видна тенденция снижения показателя смертности при ДТП как по России, так и по Приморскому краю, однако наблюдается опережение среднегодовых темпов снижения показателя по стране (8%) над среднегодовыми темпами снижения по Приморскому краю (6%). Также отрицательным является то, что значения показателя по Приморскому краю за рассматриваемый период превышают средние значения по стране. Данная статистика подтверждает необходимость внедрения такой системы, как «ЭРА-ГЛОНАСС», которая позволит сократить время реагирования и начала оказания необходимой помощи пострадавшим, что в конечном итоге позволит сократить смертность на дорогах страны, также показательно, что в Приморском крае внедрение и успешное функционирование данной системы крайне необходима.

Специфика Приморского края такова, что показатели импорта ТС региона находятся на высоком уровне, и представляется важным оценить влияние внедрения системы «ЭРА-ГЛОНАСС» на потребителей подержанных автомобилей, на примере Приморского края. В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) [10] с 1 января 2017 года вступило в силу требование к оснащению ввозимых автомобилей УВЭОС «ЭРА-ГЛОНАСС».

В 2017 году продажей и установкой УВЭОС в Приморском крае занимались две организации, которые предлагали свои услуги по одинаковой цене. В 2018 году количество аккредитованных агентов по реализации и установочных центров УВЭОС, список которых опубликован на официальном сайте АО «ГЛОНАСС», предоставляющих подобные услуги выросло до 12, и ситуация на рынке услуг стала более благоприятной для потребителей [11]. В результате опроса компаний были рассчитаны средняя цена на УВЭОС и средние цены на услуги на конец 2018 года.

Таблица 3 – Стоимость услуг по оснащению бывшего в эксплуатации автомобиля УВЭОС за период 2017-2018 гг

Наименование	2017	2018	2018-2017	2018/2017 (%)
Цена УВЭОС, руб.	22 361	17 000	-5 361	76,0
Активация УВЭОС и идентификация в ГАИС «ЭРА-ГЛОНАСС», руб.	1 950	2 000	+50	102,6
Стоимость услуги монтажа, руб.	2 800	1 500	-1 300	53,6
Итого, руб.	27 111	20 500	-6 611	75,6

По данным таблицы 3 можно сказать, что общая стоимость всей процедуры по установке УВЭОС на автомобили бывшие в эксплуатации в 2018 году снизилась на 24%, во многом благодаря снижению цены на УВЭОС. Однако, стоит отметить, что данное снижение обусловлено появлением в Приморском крае новых агентов по реализации, а не снижением себестоимости данного оборудования.

Имеет немаловажное значение расчет удельного веса затрат по оснащению автомобиля УВЭОС от его цены, для данного расчета стоит рассмотреть данные по импорту подержанных автомобилей [12].

Таблица 4 – Данные импорта в Приморский край бывших в эксплуатации транспортных средств за пределами Таможенного союза

Показатель	2015	2016	2017	2018
Количество ТС, шт.	9 244	18 452	23 929	13 309
Таможенная стоимость, тыс. руб.	1 940 213	4 179 531	5 441 277	3 626 600
Средняя таможенная стоимость 1 ТС, руб.	209 889	226 508	227 393	272 492

По данным таблицы 4 стоит отметить, что показатели импорта достигли максимального значения в 2017 году, а в 2018 году значения импорта резко сократились как в натуральных, так и в стоимостных измерителях. Однако расчетная средняя таможенная стоимость одного ТС в 2018 году выросла на 20%, что связано с изменением товарной структуры импорта и ростом среднегодового курса доллара США. Иными словами, определенные документальные трудности, а также дополнительные временные и финансовые затраты ввоза бывшего в эксплуатации автомобиля на территорию России отрицательно повлияли на показатели импорта.

Как было сказано ранее, с начала 2017 года к затратам на ввоз автомобилей добавились затраты на их оснащение УВЭОС. Данные затраты в 2017 году составляли 12% от расчетной средней таможенной стоимости ввезенного ТС, а в 2018 – 8%. Стоит учитывать то, что затраты на импорт

ТС включают в себя таможенные платежи, расходы на международную перевозку, расходы на страхование, затраты на склад временного хранения и др. В связи с чем, подобные требования расцениваются потребителями как дополнительные финансовые траты, нежели возможность повышения эффективности передачи необходимых данных службам экстренного реагирования.

Развитие подобных технологий является общемировым трендом. Одновременно с разработкой системы «ЭРА-ГЛОНАСС» стартовала разработка европейского аналога – «eCall». Европейская система начала свою работу по внедрению в 2013 году и благополучно завершила в 2015 году. Полное оснащение всех автомобилей, бывших в употреблении, завершилось в конце 2018 года [13]. На данном этапе идет синхронизация систем «ЭРА-ГЛОНАСС» и «eCall», что позволит российским автомобилистам, находящимся на территории Евросоюза, в случае необходимости, получить гарантированную помощь. Это также касается и европейских автомобилистов, находящихся на территории Российской Федерации.

Однако, при всей технической важности данных систем и наличия собственной группировки спутников ГЛОНАСС, способных в перспективе конкурировать с зарубежными системами, в России сложилась ситуация с неготовностью рынка к их массовому коммерческому внедрению. Показательно, что в организационном и техническом плане с подобными проблемами сталкивается внедрение системы «Платон» для грузового транспорта [14]. Для дальнейшего эффективного развития двух данных систем, которые, несомненно, важны для транспортно-логистической инфраструктуры Российской Федерации следует учесть уже имеющийся как негативный, так и позитивный опыт их внедрения.

К основному негативному явлению внедрения системы «ЭРА-ГЛОНАСС» и принятие запретительных мер по оснащению автомобилей УВЭОС относится недовольство и сопротивление со стороны потребителей, а также выражение недоверия к системе. Это отрицательно повлияло на показатели числа оснащенных автомобиле в стране и импорта подержанных автомобилей в Приморском крае. Однако, принятие временного порядка [15] позволило поддержать граждан, которые предпочли приобрести автомобиль за пределами Таможенного союза за счёт более низкой цены и высокого качества. Данный документ позволяет документально оформить одно ТС категории М1 или N1, ввезенное в течение 1 года, без оснащения на него УВЭОС. Для лиц, заинтересованных в экономии финансовых средств при приобретении автомобиля, на фоне общего снижения покупательской способности, такой ход событий является благоприятным. Стоит отметить, что принятый порядок позволит снизить нагрузку на агентов по реализации УВЭОС, время таможенного оформления и нагрузку на склады временного хранения. Недостатком является то, что данный документ не направлен на дальнейшее развитие системы, тем более снижа-

ет скорость оснащения подержанных автомобилей УВЭОС, тем самым снижая эффективность функционирования системы «ЭРА-ГЛОНАСС» на территории Дальневосточного федерального округа (ДФО), который зарекомендовал себя как необходимой мерой в снижении смертности населения в ДТП.

Таким образом, наиболее приоритетным является повышение эффективного функционирования системы «ЭРА-ГЛОНАСС» путем обеспечения высокого темпа оснащения автомобилей и снижения нагрузки на граждан, чего можно достичь при реализации мер в следующих направлениях:

1. Необходимо наращивать производственные мощности путем привлечения предприятий, находящихся на территории ДФО, для производства УВЭОС, что позволит снизить себестоимость оборудования, а также время от выпуска с производства до получения конечным потребителем. К тому же требуется расширение сетей сбыта и обслуживания оборудования на базе системы «ЭРА-ГЛОНАСС», что позволит создать дополнительные рабочие места для технических специалистов и, для решения кадровой проблемы, представляется разумным стимулирование развития обучения и профессиональной переподготовки специалистов данного профиля на государственном уровне.

2. Стоит предоставить гражданам, добровольно установившим оборудование на подержанные автомобили, которые уже находятся в их имуществе, определенные преимущества, примером подобных мер является предоставление возможности гражданам экономичного варианта приобретения и установки УВЭОС: при соблюдении определенных требований гражданам будет доступно приобретение оборудования по производственной себестоимости и бесплатная активация, что позволит значительно снизить расходы и стимулировать автомобилистов к оснащению своих авто. Также, представляется возможным снижение стоимости на страховку или сокращение времени на оформление ДТП. Подобные меры реализованы в центральной части России. На территориях Москвы, Санкт-Петербурга, Московской и Ленинградской областей с 1 января 2018 года проводятся эксперименты по оформлению документов о ДТП по европротоколу, которым предусматривается страховое возмещение в пределах страховой суммы 400 тыс. рублей при условии представления страховщику данных об обстоятельствах причинения вреда ТС в результате ДТП, зафиксированных с помощью технических средств контроля.

3. Возможно привлечение частного бизнеса путем государственно-частного партнерства для обеспечения инфраструктуры системы «ЭРА-ГЛОНАСС», в частности услуги по обслуживанию частными больницами граждан, по собственному желанию и за дополнительную плату согласившихся на данную услугу, что дает 100% гарантию реагирования в кратчайшие сроки бригады скорой помощи или, в случае аварии в труднодо-

ступном месте, проведения воздушно-спасательной операции. Подобная услуга также позволит снизить нагрузку и оптимизировать работу общих отделений скорой помощи.

Список использованной литературы

1. Дьяченко Д.В., Ефимов И.А. Актуальные вопросы по реализации проекта «ЭРА-ГЛОНАСС» // Новости навигации. 2017. № 1. С.38- 40.
2. Терентьев В.В., Андреев К.П., Шемякин А.В. Повышение эффективности системы «ЭРА-ГЛОНАСС» // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 5 (13). – С. 86-91.
3. Степченков А.В. «ЭРА-ГЛОНАСС» и «черные ящики» в автомобилях. Далекое будущее или сегодняшняя реальность // Наука без границ. 2017. № 4(9). С. 20-23.
4. Юсупова Д.М., Выгузова М.А. Применение тревожной кнопки на автомобильном транспорте // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы. Сборник статей IV Международной науч.-практ. конф. Пенза. 20 октября 2017 г. Пенза: Изд-во: «Наука и Просвещение», 2017. С.40-42.
5. О Государственной автоматизированной информационной системе "ЭРА-ГЛОНАСС" [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28 дек.2013 г. № 395-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 01 янв.2016 г.). Доступ из справ.-правовой системы "КонсультантПлюс".
6. Транспорт в России. 2018: Стат.сб./Росстат. – М., 2018. 101 с.
7. Статистика дорожно-транспортных происшествий [Электронный ресурс] // Государственная инспекция безопасности дорожного движения (ГИБДД). URL: <http://stat.gibdd.ru/> (Дата обращения: 19.02.2019).
8. Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС» [Электронный ресурс] // Официальный сайт акционерного общества «ГЛОНАСС». URL: <http://aoglonass.ru/gais-ehra-glonass/> (Дата обращения: 24.01.2019).
9. Смертность населения в дорожно-транспортных происшествиях [Электронный ресурс] // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43780/> (Дата обращения: 20.02.2019)
10. О принятии технического регламента Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств" [Электронный ресурс]: Решение Комиссии Таможенного союза от 09 дек.2011г. № 877 (ред. от 13 дек. 2016 г.). Доступ из справ.-правовой системы "КонсультантПлюс".
11. Информация по установке устройств с функцией вызова экстренных оперативных служб [Электронный ресурс] // Официальный сайт акционерного общества «ГЛОНАСС». URL: <https://aoglonass.ru/ao->

glonass/dokumenty/informaciya-po-ustanovke-ustrojstv-s-funkciej-vyzova-ekstrennyh-operativnyh-sluzhb/ (Дата обращения: 22.01.2019).

12. Таможенная статистика внешней торговли [Электронный ресурс] // Федеральная таможенная служба. URL: <https://stat.customs.ru/> (Дата обращения: 07.02.2019).

13. Алексеев В. Сравнительные характеристики систем экстренного реагирования eCall и «ЭРА-ГЛОНАСС» // Беспроводные технологии. 2015. Т.4. N 41. С. 16-22.

14. Пацук Е.Б., Банова В.С. Различия и проблемы в новой системе «Платон», реализованной на базе ГЛОНАСС, и старой системе «ЭРА-ГЛОНАСС» // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 2. N 12. С. 81-83.

15. Временный порядок ввоза на территорию Российской Федерации подержанных праворульных автомобилей жителями Дальневосточного федерального округа для собственных нужд [Электронный ресурс]: утв. Правительством РФ 21 нояб. 2018 г. N 9525п-П9. Доступ из справ.-правовой системы "КонсультантПлюс".



