

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей

**X Международной научно-технической
конференции**



**21-26 мая 2018 года
Иркутск**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВО «ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей
X Международной научно-технической конференции
«Авиамашиностроение и транспорт Сибири»

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета
2018**

УДК 629+656 (082)
ББК 39Я45

Печатается по решению редакционно-издательского совета ИРНИТУ

Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. статей X Международной научно-практической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 21–26 мая 2018 г.) – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 425 с.

Представлены статьи, посвященные актуальным вопросам развития авиамашиностроительных технологий и транспортного комплекса. Приводятся обобщения результатов научных исследований, обмена практическим опытом в интересах развития перспективных конструкций и технологий авиа- и машиностроения, повышения качества транспортного обслуживания.

Редакционная коллегия:

Ответственный редактор –

Бобарика И.О. – канд. техн. наук, доцент
Лыткина А.А – старший преподаватель

ISBN 978-5-8038-1277-7

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ..... 8

Методы исследования механического поведения листовых материалов в условиях газовой формовки С.А. Аксенов 8

Современные тенденции развития спортивных планёров Д. Д. Бейчук, С. В. Гуцин 15

Усовершенствование технологии ремонта панелей из композиционных материалов Вергин А.С., Зотов И.Н. 22

Тенденции модификации нефтяных фракций для современной авиации О.И. Дошлов, Е.В. Котельников, И.О. Дошлов, С.Д. Кузиванов, И.С. Ефименко..... 29

Оценка интерференции элементов летательного аппарата типа катамаран с частичной аэростатической разгрузкой А.П. Коваль, А.С. Груздев Руководитель: И.О. Бобарика 33

Обоснование критериев оценки качества проведения полетов и их обеспечения А.В. Климович, В.В. Меркурьев 38

Подбор радиопоглощающего покрытия для авиационного радиооборудования Я.В. Копытко, И.Н. Зотов..... 45

Оптимизация процесса «Обтяжки» и конструкции оснастки Е.В.Ледовских Научный руководитель: А.В. Колесников 50

Сравнение методов формообразования «Вытяжка» и «Обжим» на примере листовой детали Е.В.Ледовских, И.В. Польшинский Научный руководитель: А.В. Колесников 55

Комплекс автоматизированного тестирования структур тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов О.В. Максимова, П.В. Николаев 59

Построение математической вероятностной модели эксплуатации авиационной техники С.В. Молокова, В.Д. Фомина 67

Анализ качества горячештампованных днищ Г.А. Орлов¹, Ю.Д. Горбунова¹, В.В. Котов^{1,2} 73

Перспективы электрификации современных летательных аппаратов О.В. Пармонов, И.Н. Зотов..... 78

Применение промышленных роботов в авиастроении Н.В. Подрез, Т.В. Божеева..... 84

Определение зависимости параметров γ' -фазы жаропрочного никелевого сплава от значений величин напряжений и температур О.А. Ратенко.... 89

<i>Кинематический анализ движения элевона в конструкции крыла БПЛА</i> <i>А.Н. Смирнов, А.С. Говорков</i>	<i>95</i>
<i>Климатические факторы и их влияние на безопасность полетов</i> <i>Д.А. Соколов, А.П. Полонский.....</i>	<i>102</i>
<i>Транспорт XXI века</i> <i>В.В. Суржик.....</i>	<i>109</i>
<i>Применение алгоритма случайного леса для автоматизированной</i> <i>поузловой оценки технического состояния узлов маслосистемы</i> <i>авиационных двигателей Д30/КП/КУ/КУ-154 по результатам СВЧ</i> <i>плазменных измерений А.Ю. Ходунаев¹, Н.А. Иванов².....</i>	<i>115</i>
<i>Анализ влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок</i> <i>на усилие втягивания при выполнении болт-заклепочных соединений</i> <i>Е.В. Черных¹, С.А. Зайдес²</i>	<i>123</i>
<i>Выбор технологии изготовления обшивки БПЛА из углепластика</i> <i>Т.Л. Янчук, А.С. Говорков</i>	<i>132</i>
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРАЛЫ.....	137
<i>Технологическое обеспечение герметичности разъёмных соединений на</i> <i>основе многодискового шлифования</i> <i>С. Н. Гайсин, С. А. Зайдес, Лэ Хонг</i> <i>Куанг, И.А. Чевтаев</i>	<i>137</i>
<i>Исследование влияния методов ремонта полимерного композиционного</i> <i>материала на прочность</i> <i>А.А. Стуров, А.Е. Пашков</i>	<i>146</i>
<i>Теплоизоляционное энергопокрытие для выработки электроэнергии.</i> <i>SmartEnergyCoating</i> <i>И.Ю. Поспелова, А.С. Бондаренко, Д.А. Корнилов,</i> <i>М.Я.Поспелова.....</i>	<i>154</i>
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	163
<i>Анализ процесса врезания на операциях фрезерования кромок на</i> <i>робототехническом комплексе</i> <i>Е.Н. Бакшеева, А.С. Беломестных, Е.Н.</i> <i>Семенов.....</i>	<i>163</i>
<i>Исследование возможности подавления автоколебаний при точении с</i> <i>модуляцией скорости резания на токарном станке с ЧПУ</i> <i>К.С. Вагнер, В.М. Свинин, А.В. Савилов, С.А. Тимофеев</i>	<i>171</i>
<i>Подготовка инженерных кадров для машиностроительных производств</i> <i>П.В. Королев¹, ММ Ратинер².....</i>	<i>179</i>
<i>Оценка способности вертикально-фрезерного станка с ЧПУ к модуляции</i> <i>скорости резания для подавления автоколебаний</i> <i>Д.А. Лановой, А.В. Шутенков, В.М. Свинин, А.В. Савилов, А.С. Пярых.....</i>	<i>187</i>
<i>Разработка проекта установки для лазерного спекания металлических</i> <i>порошков на базе станка с ЧПУ 2206 ВМФ4</i> <i>В.Н. Москвитин, А.А. Карамышев, Д.С. Леонович.....</i>	<i>194</i>

<i>Подавление автоколебаний нежесткой технологической системы при режуще-выглаживающем торцовом фрезеровании</i>	М. А. Панин, Е. В. Кологреев, В. М. Свиинин, А. В. Савилов, Д. Б. Пайкин, Д. П. Алейников...	201
<i>Создание библиотеки режущего и вспомогательного инструмента на основе твердотельных моделей в среде NX</i>	Е.О. Репей, А.Б. Стрелков..	208
<i>Создание цифрового двойника 5-и осевого фрезерного обрабатывающего центра DMU 60 topoBLOCK в среде NX CAM</i>	Е.О. Репей, А.Б. Стрелков	215
<i>Проблемы повышения производительности при точении авиационных материалов</i>	А.Г. Серебренникова ¹ , С.А. Тимофеев ²	223
<i>Принципы автоматизации процесса принятия решений при разработке маршрута изготовления</i>	И.В. Фокин	229
<i>Технология прототипирования и конструкция антропоморфных манипуляционных устройств</i>	В.А. Фолomeев, А.С. Беломестных	236
<i>О проблемах пространственного размерного анализа на современном этапе развития машиностроения</i>	Л.Ф. Хващевская	241
МЕХАНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН		247
<i>Улучшение эргономической характеристики мотоциклов</i>	А.Г. Осипов, М.А. Савина	247
СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫЕ И ГОРНЫЕ МАШИНЫ		255
<i>Современные тенденции развития строительного объемного гидропривода</i>	Д.С. Бирюков, В.Г. Зедгенизов, С.Х. Файзов	255
<i>Динамика сыпучего материала на подовой платформе электрической печи</i>	Т.Б. Брянских, В.Н. Ляпина	259
<i>Стенд для диагностики состояния рабочей жидкости</i>	С.А. Решиков, В.М. Коротаи, А.Н. Стрельников	265
<i>Производственные процессы повышенной опасности, связанные с использованием грузоподъемных кранов и подъемников</i>	А.С. Худченко, К.А. Сериков	270
<i>Диагностирование аксиально-поршневого насоса виброакустическим методом</i>	С.Х. Файзов, М.Р. Багаутдинов А.Н. Стрельников, В.Н. Ляпина	274
МЕНЕДЖМЕНТ И ЛОГИСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ		280
<i>К вопросу о зарубежном опыте оценки качества работы пассажирского транспорта в городах</i>	В.С. Булдакова, А.М. Боброва, М.И. Шаров	280
<i>Транспортно - пересадочный узел как средство безопасного и комфортного обслуживания пассажиров</i>	А.Б. Бутузова., Н.А.Елфимова	287

<i>К вопросу о формировании транспортного спроса</i> А.Б. Бутузова, Е.А. Потылицын.....	292
<i>Анализ затрат на владение грузовым автотранспортом</i> И. А. Горнаков, С.А. Яценко.....	296
<i>Оценка влияния дорожных факторов на аварийность</i> Д.С. Джурук, А.В. Зедгенизов.....	303
<i>Проблемы качества транспортного обслуживания городских пассажирских перевозках г. Иркутск</i> К.С. Журавлева	310
<i>Прогнозирование транспортного спроса к субурбанизированным территориям по параметрам их расположения</i> А.В. Зедгенизов	316
<i>Оптимизация системы управления логистическими транспортными потоками</i> Е.М. Серкина, О.С. Прокофьева	324
<i>Использование данных системы автоматизированной системы оплаты проезда для обследования пассажирских потоков</i> А.И. Фадеев, С. Алхуссейни	329
<i>Транспортно-логистическая инфраструктура региона: проблемы управления</i> О.А. Фрейдман.....	334
<i>Матрица БКГ как инструмент стратегического анализа положения на рынке товаров, компаний и подразделений в логистике</i> М.В.Щавелева, О.С. Прокофьева.....	341
ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	347
<i>Повышение эффективности работы сервисной службы с использованием систем помощи принятия решений</i> К.Ю. Андреев, А.В. Камольцева.....	347
<i>Влияние геометрических размеров датчика на частоту собственных колебаний датчика для измерения нормальных и продольных касательных реакций, распределенных по длине пятна контакта колеса с эластичной шиной</i> А.В. Бойко, В.Б. Распопина.....	354
<i>Сети зарядных станций для электромобилей как эффективный элемент транспортной инфраструктуры</i> А.В. Камольцева, Г.А. Писарев.....	358
<i>Анализ методов определения скорости изнашивания агрегатов</i> И. С. Писарев, Д. А. Поцейко.....	363
<i>Современный подход к оценке экологической безопасности автотранспортных потоков на участках улично-дорожной сети</i> Л.Н. Третьяк, Е.В. Бондаренко, А.С. Вольнов.....	368
<i>Экспериментальное исследование влияния износа беговой дорожки шины на величину установившегося замедления АТС при торможении в блоковом режиме</i> А.И. Федотов, А.С.Марков, Э.С. Салчак.....	376

<i>Сравнительный анализ универсальных тормозных силовых стендов</i> О.С. Яньков Н.А. Демин.....	383

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ 390

<i>Проблемы и пути повышения качества транспортного обслуживания населения (железнодорожный транспорт)</i> Т.А. Булохова	390

<i>Усовершенствование конструкции натяжителя цепи КМ-87 локомотива</i> А.А. Герасимов, Н.Г. Филиппенко, Н.С. Дроздов, Д.Т. Кириенко	397

<i>Оборудование и технологии индукционного нагрева трубопроводов подвижного состава РЖД</i> Н.С. Дроздов, Н.Г. Филиппенко, Д.Т. Кириенко, А.А. Герасимов.....	400

<i>Усовершенствование мобильного оборудования ТВЧ для ремонта подвижного состава</i> Д.Т. Кириенко, Н.Г. Филиппенко, Н.С. Дроздов, А.А. Герасимов.....	406

<i>О погрешностях определения местоположения неподвижными одностотными GPS/ГЛОНАСС приемниками</i> Н. Н. Климов, Л. В. Козиенко, А. Б. Бадмаев.....	410

<i>Данные авторов.....</i>	416

АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 620.171.2

Методы исследования механического поведения листовых материалов в условиях газовой формовки

С.А. Аксенов

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Работа посвящена методам исследования механического поведения материала при горячей деформации в условиях двухосного растяжения. Предлагаются способы планирования, реализации и интерпретации результатов технологических испытаний по формовке листовых образцов, позволяющие характеризовать деформационное поведение исследуемых материалов. Приводятся математические модели, обосновывающие предлагаемый подход. Предложенные решения, в отличие от существующих методов, позволяют осуществлять контроль скорости деформации в ходе испытания, что имеет ключевое значение при исследовании сверхпластического поведения металлических сплавов.

Ключевые слова: *Сверхпластическая формовка, двухосное растяжение, механические испытания, математическое моделирование.*

Введение

Исследование механического поведения материалов в условиях горячей деформации является необходимым этапом проектирования технологических процессов газовой формовки оболочечных изделий, используемых, как правило, в авиационной отрасли. Цель подобных исследований заключается в определении наиболее приемлемых условий формоизменения материала, которые могут быть реализованы при производстве требуемого изделия. Этот процесс особенно важен при проектировании технологий сверхпластической формовки, требующих контроля скорости деформации материала в узком диапазоне. Разработка режимов давления, позволяющих при производстве конкретного изделия соблюсти требования по скорости деформации, осуществляется с помощью компьютерного моделирования, результаты которого существенно зависят от качества описания поведения материала. Таким образом, важную роль играет степень соответствия условий формоизменения, реализующихся на производстве с условиями, воспроизводимыми при испытании образцов.

Основными способами испытания материалов для исследования их деформационного поведения, соответствующего условиям газовой формовки являются испытания на растяжение плоских образцов с постоянной скоростью деформации и испытания по формовке листовой заготовки в цилиндрическую матрицу. Преимуществом испытаний на растяжение является простота интерпретации их результатов, позволяющая на основе измерений хода траверсы и силы сопротивления материала строить кривые напряжение-деформация, характеризующие поведение материала. В свою очередь, испытания по формовке позволяют в большей степени воспроизводить условия производства реального изделия. Это достигается за счет реализации в материале напряженного состояния, соответствующего двухосному растяжению, характерному для технологий газовой формовки. Развитие методов испытания материалов посредством газовой формовки листовых образцов и способов интерпретации их результатов является актуальной задачей.

Одна из первых попыток построения методики исследования поведения сверхпластичных материалов в условиях двухосного растяжения по результатам тестовых формовок плоских мембран была предложена в работе [1]. Предложенный в этой работе метод позволяет рассчитать значения констант уравнения Бэкофена на основе двух тестов по формовке плоских мембран в цилиндрическую матрицу, производимых при различных постоянных давлениях до достижения одинаковой высоты. Данная методика легла в основу работ зарубежных и российских авторов, исследовавших с её помощью свойства сверхпластичных сплавов на основе алюминия и титана [2-4]. Другим подходом к интерпретации результатов испытаний по формовке является обратный анализ [5-7], применение которого позволяет использовать более сложные уравнения состояния.

Для увеличения информативности испытаний по формовке может быть использована многоместная оснастка, допускающая одновременную формовку нескольких куполов различного диаметра [8-9]. Существенно повысить информативность испытания позволяет измерение высоты заготовки в реальном времени в результате чего удастся получить не только финальное значение высоты, но и данные о ее изменении в ходе формовки. Это позволяет повысить эффективность обратного анализа [7], кроме того, появляется возможность использования в испытаниях режимы переменного давления для исследования изменения коэффициента скоростной чувствительности в ходе деформации.

В работе представлена методика адаптивного контроля давления, позволяющая по текущему значению высоты купола при формовке листовой заготовки с неизвестными заранее свойствами, регулировать скорость деформации в его вершине.

Математическая модель

При реализации испытаний по формовке листовой заготовки в цилиндрическую матрицу, скорость деформации в образце распределена

существенно неравномерно. Для интерпретации результатов, необходимо построение математической модели, позволяющей связать измеряемые характеристики (высоту купола, толщину заготовки, время формовки и давление) с напряжением, деформацией и скоростью деформации в вершине купола. Построение такой модели будет основано на следующих гипотезах:

- Материал является изотропным и несжимаемым.
- Поверхность формируемого купола в любой момент времени является сферической.
- Процесс формовки является достаточно медленным, чтобы пренебречь динамическими эффектами.
- Скольжения заготовки по штампу в местах касания не происходит.

Задача интерпретации результатов механических испытаний заключается в построении зависимости напряжения течения материала (σ_e) от степени (ε_e) и скорости ($\dot{\varepsilon}_e$) деформации. Под σ_e , ε_e понимаются интенсивности напряжения и деформации. В вершине купола реализуется напряженное состояние, при котором первая и вторая главные оси лежат в горизонтальной плоскости, при этом главные напряжения по этим осям равны друг другу ($\sigma_1 = \sigma_2$). Соотношение между главными деформациями характерно для двухосного растяжения: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\varepsilon_3/2$. Значения интенсивностей напряжения и деформации можно рассчитать следующим образом:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = |\sigma_1 - \sigma_3| = \frac{P\rho}{2s} \quad (1)$$

$$\varepsilon_e = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} = |\varepsilon_3| = \ln\left(\frac{s_0}{s}\right) \quad (2)$$

где P – величина применяемого давления, ρ – радиус кривизны купола в вершине, s_0 и s – начальная и текущая толщина купола.

Дифференцируя соотношение (2) можно выразить скорость деформации через изменение толщины заготовки в вершине купола:

$$\dot{\varepsilon}_e = \frac{d}{dt} \ln\left(\frac{s_0}{s}\right) = -\frac{\dot{s}}{s} \quad (3)$$

Для получения модели процесса формовки радиус кривизны и толщину заготовки необходимо выразить через текущую высоту купола. Это может быть сделано следующим образом:

$$\rho = \frac{(H^2 + (R_0 + \rho_0)^2)}{2H} - \rho_0 \quad (4)$$

$$\frac{s}{s_0} = 1 - \frac{BH}{\rho + \rho_0} \quad (5)$$

где H – текущая высота купола, R_0 – внутренний радиус цилиндрической камеры, ρ_0 – радиус скругления ее кромки, B – константа, значение которой зависит от свойств материала. Уравнение (4) является математическим выражением гипотезы о сферичности формы купола. Уравнение (5) является эмпирическим и обобщает результаты множества вычислительных экспериментов, описанных в работе [10]. Значение константы B рассчитывается по результатам одного испытания по формовке:

$$B = \left(1 - \frac{s_f}{s_0}\right) \frac{H_f^2 + (R_0 + \rho_0)^2}{2H_f^2} \quad (6)$$

где H_f и s_f – измеренные значения высоты купола и толщины заготовки на момент окончания формовки. Формулы (4) и (5) могут быть использованы при всех значениях высоты меньших или равных $R_0 + \rho_0$, что соответствует формовке до получения полусферы.

Уравнения (1)-(6) позволяют проводить интерпретацию результатов испытаний по формовке с помощью обратного анализа, если известен вид функции, связывающей напряжение, скорость деформации и степень деформации:

$$\dot{\varepsilon}_e = \psi(\sigma_e, \varepsilon_e, C_1, \dots, C_n) \quad (7)$$

где $C_1, \dots, C_n$ – набор параметров, подлежащих определению. Тогда, прогноз изменения высоты заготовки в ходе формоизменения может быть получен при решении дифференциального уравнения:

$$\dot{H} = \frac{s(\rho + \rho_0)^2 H}{s_0 B (R_0 + \rho_0)^2} \psi\left(\frac{P\rho}{2s}, \ln\left(\frac{s_0}{s}\right), C_1, \dots, C_n\right) \quad (8)$$

При наличии достаточного количества экспериментальных данных, значения параметров $C_1, \dots, C_n$ определяются при минимизации целевой функции, составленной из квадратов отклонения измеренных значений высоты от прогнозов, построенных при решении уравнения (8).

Представленные соотношения могут быть использованы не только для обратного анализа результатов испытаний по формовке. При наличии оборудования, позволяющего вести мониторинг изменения высоты в реальном времени, их можно использовать для построения системы адаптивного контроля давления, позволяющей управлять скоростью деформации при реализации испытания.

Испытания по формовке с адаптивным контролем давления

Основным недостатком испытаний с постоянным давлением является существенное изменение скорости деформации, происходящее в процессе формовки. Использование оборудования, осуществляющего мониторинг высоты купола в ходе формовки, и разработанной математической модели

позволит, за счет регулировки давления в процессе испытания, управлять скоростью деформации, не имея информации о свойствах материала. Для поддержания скорости деформации на заданном уровне $\dot{\varepsilon}_{trg}$ должно выполняться следующее соотношение, которое может быть получено подстановкой (5) в (3) и разрешением результата относительно $\dot{H}$:

$$\dot{H} = \frac{(H^2(1-2B)+(R_0+\rho_0)^2)(H^2+(R_0+\rho_0)^2)}{4BH(R_0+\rho_0)^2} \dot{\varepsilon}_{trg} \quad (9)$$

Таким образом, задача контроля скорости деформации сведена к задаче контроля скорости изменения высоты купола, измеряемой в ходе испытания. Другой подход к задаче адаптивного контроля давления предполагает поддержание постоянного напряжения течения металла в вершине купола ($\sigma_e = \sigma_{trg}$). В этом случае, с помощью уравнений (1), (4) и (5) величина давления может быть выражена как функция высоты формуемого купола:

$$P = \frac{4\sigma_{trg}Hs_0((R_0+\rho_0)^2+H^2(1-2B))}{(H^2+(R_0+\rho_0)^2-2H^2\rho_0)((R_0+\rho_0)^2+H^2)} \quad (10)$$

Контроль давления согласно уравнению (10) позволит удерживать скорость деформации постоянной в случае, если деформационное упрочнение или разупрочнение материала незначительны. Если напряжение течения существенно зависит от накопленной деформации, скорость деформации в ходе таких испытаний может меняться. Однако эти изменения значительно меньше, чем те, что возникают в испытаниях с постоянным давлением.

Построение кривых напряжение–деформации предлагается производить по следующему алгоритму:

1. Проведение испытаний с адаптивным контролем давления согласно формуле (10) для двух различных значений напряжения (σ_{trg_1} , σ_{trg_2}).
2. Построение по результатам испытаний зависимостей $\dot{\varepsilon}_1(\varepsilon)$, $\dot{\varepsilon}_2(\varepsilon)$, $\sigma_1(\varepsilon)$ и $\sigma_2(\varepsilon)$.
3. Построение зависимости коэффициента скоростной чувствительности от деформации:

$$m(\varepsilon) = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_1(\varepsilon)}{\sigma_2(\varepsilon)}\right)}{\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}_1(\varepsilon)}{\dot{\varepsilon}_2(\varepsilon)}\right)} \quad (11)$$

4. Построение зависимости коэффициента K уравнения Бэкофена от интенсивности деформации:

$$K(\varepsilon) = \sigma_1(\varepsilon) / \dot{\varepsilon}_1(\varepsilon)^{m(\varepsilon)} \quad (12)$$

5. Выбор скорости деформации $\dot{\varepsilon}_{ref}$, и расчет для нее зависимости напряжения течения материала от деформации:

$$\sigma(\varepsilon) = K(\varepsilon) \dot{\varepsilon}_{ref}^{m(\varepsilon)} \quad (13)$$

Применение данной методики испытаний и построение кривых зависимости напряжения от деформации для алюминиевого сплава AL-NOVI-U при температуре 500°C описано в [11]. На рис. 1 представлены результаты проведенных испытаний. Рис. 1 (а) иллюстрирует режим давления, построенный с применением уравнения (10) при $\sigma_{trg} = 7.72$ МПа и соответствующее ему изменение высоты купола. На Рис. 1 (б) представлены полученные кривые напряжение-деформация для постоянных скоростей деформации и изменение коэффициента скоростной чувствительности материала.

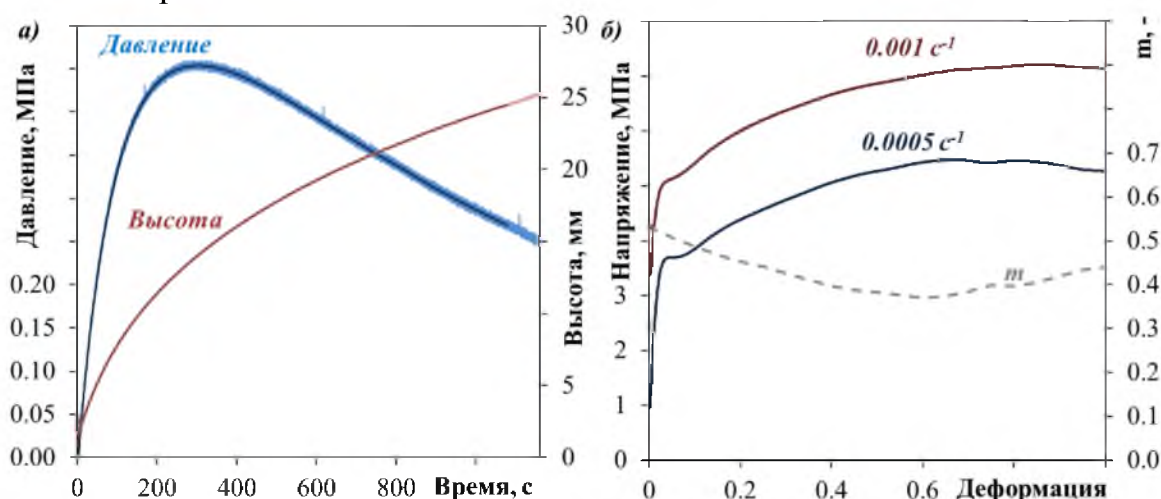


Рис. 1. Результаты испытаний по формовке с адаптивным режимом давления:

- а) – режим давления и измерение высоты купола, б) – зависимости напряжения и коэффициента скоростной чувствительности от деформации

Заключение

Предложенные методы исследования поведения листовых материалов при горячей формовки могут применяться при анализе деформационного поведения материалов в условиях двухосного растяжения. Использование режимов адаптивного контроля давления позволяет строить кривые напряжение-деформация по результатам тестовых формовок листовой заготовки в цилиндрическую матрицу, что существенно расширяет возможности использования таких испытаний. Полученная информация о поведении материала, в отличие от результатов классических те-

стов на растяжение, позволяет характеризовать его свойства в условиях двухосного растяжения, характерного для технологических процессов газовой формовки.

Список использованной литературы:

1. Enikeev, F.U., Kruglov, A.A., An analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm, International Journal of Mechanical Science 37(5), 1995, pp. 473–483.
2. Giuliano G., Constitutive Modelling of Superplastic AA-5083, Technische Mechanik 32(2-5), 2012, pp. 221-226.
3. Carrino L., Giuliano G., Palmieri C., On the optimization forming processes by the finite- element method, Jurnal of Meterials Processing Technology 143-144, 2003, pp. 373 – 377.
4. Еникеев Ф. У., Тулупова О. П., Ганиева В. Р., Шмаков А. К., Колесников А. В., Определение сверхпластических свойств алюминиевых сплавов по результатам тестовых формовок круглых мембран при постоянном давлении, КИП. ОМД № 11, 2015, с. 7-11.
5. Li, G.Y., Tan, M.J., Liew, K.M., 2004, Three-dimensional modeling and simulation of superplastic forming, Journal of Materials Processing Technology 150, 2004, pp. 76–83.
6. Sorgente D., Palumbo G., Tricarico L., Material Superplastic Parameters Evaluation by a Jump Pressure Blow Forming Test, Key Eng. Mater. 334, 2007, pp. 119–126.
7. Sorgente, D., Tricarico, L., Characterization of a superplastic aluminium alloy ALNOVI-U through free inflation tests and inverse analysis, International Journal of Material Forming 7, 2014, pp. 179–187.
8. El-Morsy A. et. al, Superplastic characteristics of Ti-alloy and Al-alloy sheets by multi-dome forming test. Mater. Trans., 42(11), 2001, pp. 2332–2338.
9. Kumaresan G., Kalaichelvan K., Multi-dome forming test for determining the strain rate sensitivity index of a superplastic 7075Al alloy sheet. Journal of Alloys and Compounds 583, 2014, pp. 226-230.
10. Zakhariev I.Y., Aksenov S.A. Influence of a material rheological characteristics on the dome thickness during free bulging test // Journal of Chemical Technology and Metallurgy 52(5), 2017, pp. 1002-1007.
11. Aksenov S. A., Sorgente D., Investigation of stress-strain behavior of a sheet material using free bulging test, Procedia Engineering 207, 2017, pp. 1892-1897

Современные тенденции развития спортивных планёров

Д. Д. Бейчук, С. В. Гуцин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведена классификация современных безмоторных летательных аппаратов- планёров, описаны особенности аэродинамической компоновки, материалов, используемых при их производстве, особенностях конструкции фюзеляжа, шасси, взлетно- долетных силовых установок, сделаны выводы о перспективах развития конструкции и технологии производства планёров в России и за рубежом.

Ключевые слова: *планёр, аэродинамика, конструкция, полимерные композиционные материалы, аэродинамические профили, конструктивно-силовая схема, шасси, взлетно- долетные силовые установки.*

В настоящее время во всем мире бурно развивается планерный спорт, на планёрах ставятся рекорды дальности и высоты безмоторного полета, проводится множество соревнований.

С точки зрения аэродинамики современные планёры являются совершенными летательными аппаратами, они оборудуются новейшими бортовыми приборами, средствами навигации, планёры имеют комфортабельные кабины, в которых во время полета летчик тратит минимум сил при пилотировании, что особенно важно во время длительных полетов. Во время полетов по маршруту летчики могут проводить в кабине планёра по несколько часов.

По правилам всемирной федерации авиационных видов спорта (ФАИ) спортивные планёры подразделяются на следующие чемпионатные классы:

- клубный (включает в себя все существующие планёры);
- стандартный (размах не более 15 м, механизация запрещена);
- 15 метров (размах не более 15 м, механизация разрешена);
- 18 метров (единственное ограничение – размах не более 18 м);
- открытый (не имеет ограничений);
- 20 метров двухместный (двухместные планёры размахом не более 20 м);
- мировой (состоит из одной модели строго одинаковых планеров PW-5, перед соревнованиями планеры участников доводятся до строго идентичного состояния);

– 13 метров (планируется как класс для начинающих спортсменов и для отдыха).

Рекордные классы ФАИ:

– открытый (планеры чемпионатных классов открытого и 18 метров, рекордный класс – планеры клубного и стандартного классов, а также чемпионатного класса 15 метров);

– 15 метров;

– сверхлёгкий (максимальный взлётный вес не превышает 220 кг);

– микролифтовый (сверхлёгкие планёры с максимальной нагрузкой на крыло не более 18 кг/м^2).



Рис. 1. Планёр Ventus 3

Все современные серийные планёры строятся по нормальной аэродинамической схеме. По расположению крыла планёры имеют схему среднеплан или схему, являющуюся чем-то средним между среднепланом и верхнепланом. Большинство планёров имеют Т-образную схему хвостового оперения, которая защищает горизонтальное оперение (ГО) от повреждения при посадке, а также позволяет уменьшить площадь вертикального оперения (ВО), ГО является концевой шайбой, повышающей эффективность ВО. Горизонтальное оперение обычно прямое, имеет трапециевидную форму в плане, иногда состоит из набора трапеций. Вертикальное оперение чаще всего имеет небольшую стреловидность, позволяющую увеличить плечо вертикального оперения.

Крылья современных планёров имеют большое удлинение λ , достигающее 40,9 и сложную форму в плане, состоящую из набора трапеций (см. рис. 2), данная форма крыла приближается к эллиптической, что обеспечивает эллиптический закон распределения циркуляции вдоль размаха крыла и как следствие минимизацию индуктивного сопротивления крыла. Крылья имеют переменную по размаху стреловидность, в некото-

рых случаях стреловидность бывает отрицательной, то есть используется небольшая обратная стреловидность, которая применяется для достижения необходимой центровки.

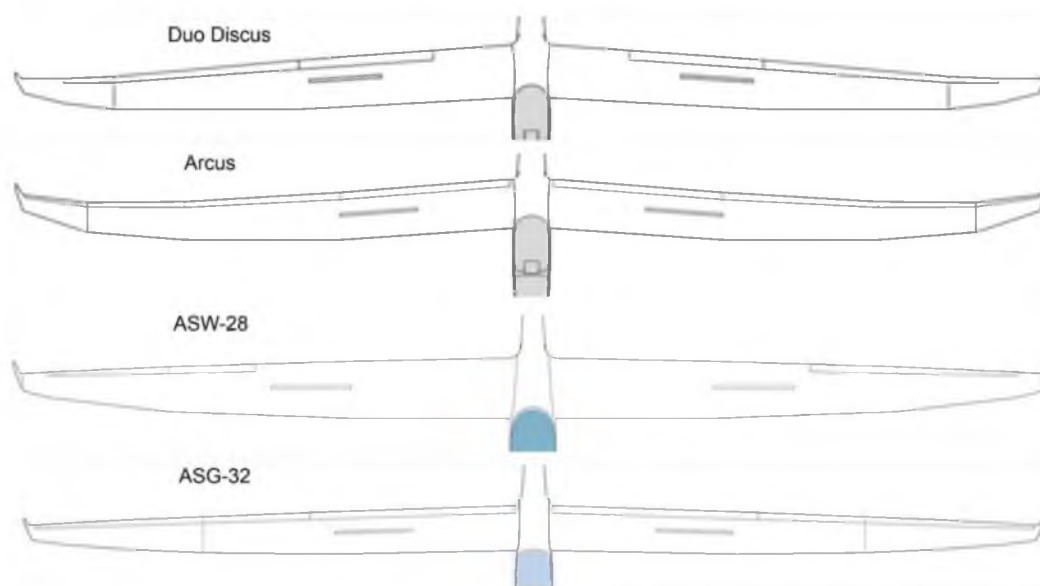


Рис. 2. Формы в плане крыльев современных планёров

Размах современных рекордных парителей может достигать 26,5 м. Крылья планёров зачастую снабжаются концевыми крылышками (винглетами), уменьшающими индуктивное сопротивление крыла (см. рис. 1). Для крыльев применяют высоконесущие ламинарные аэродинамические профили с поджатием хвостика, данные профили имеют высокое аэродинамическое качество (см. Рис. 3).

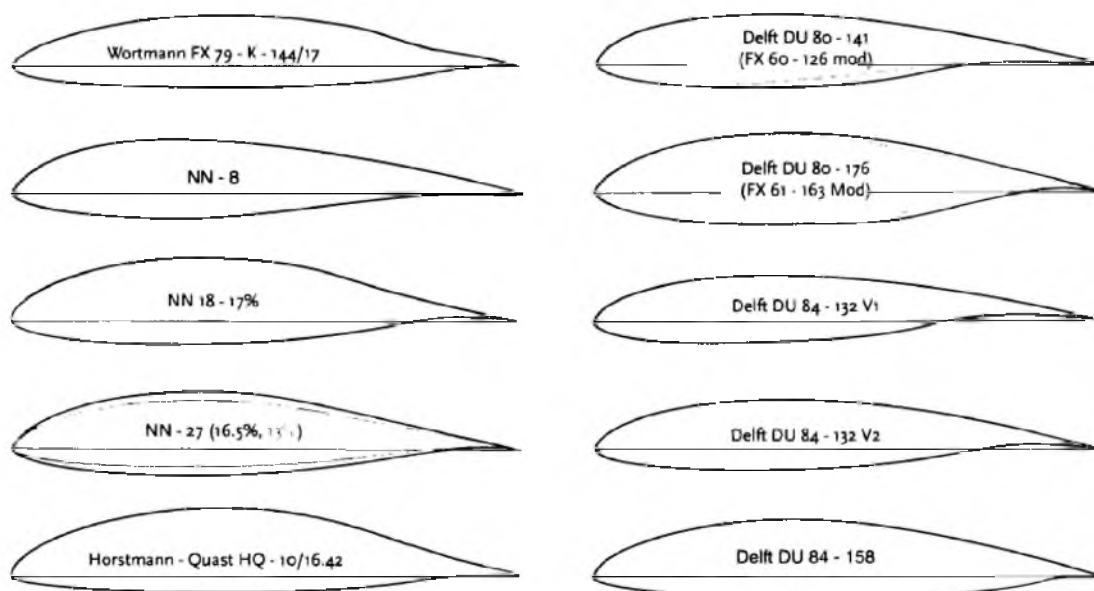


Рис. 3. Аэродинамические профили применяемые на современных планёрах

Крылья планеров снабжаются механизацией по задней кромке, обычно это простые закрылки. Щели между рулями и оперением, элеро-

нами и крылом, закрылками и крылом заклеиваются эластичными лентами, это позволяет снизить аэродинамическое сопротивление.

Фюзеляжи современных планёров имеют ламинизированную форму (см. рис. 4), и малую площадь миделевого сечения за счет лежачего расположения летчиков в кабине, что дает большое удлинение, достигающее $\lambda_{\phi} = 11,8$.

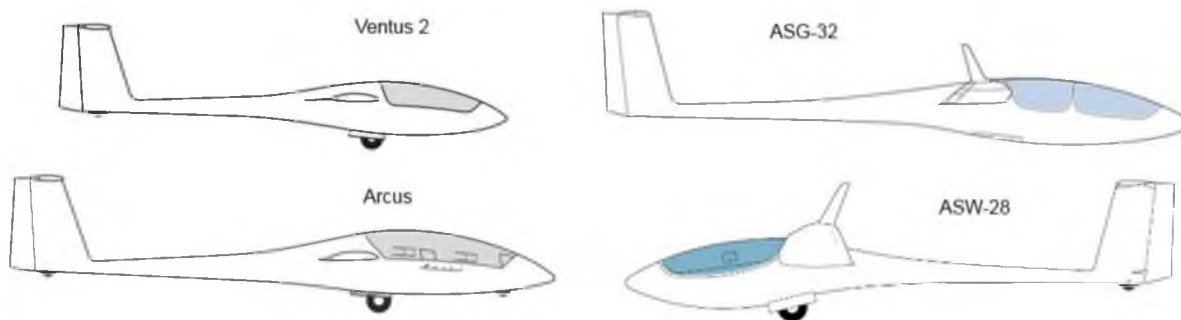
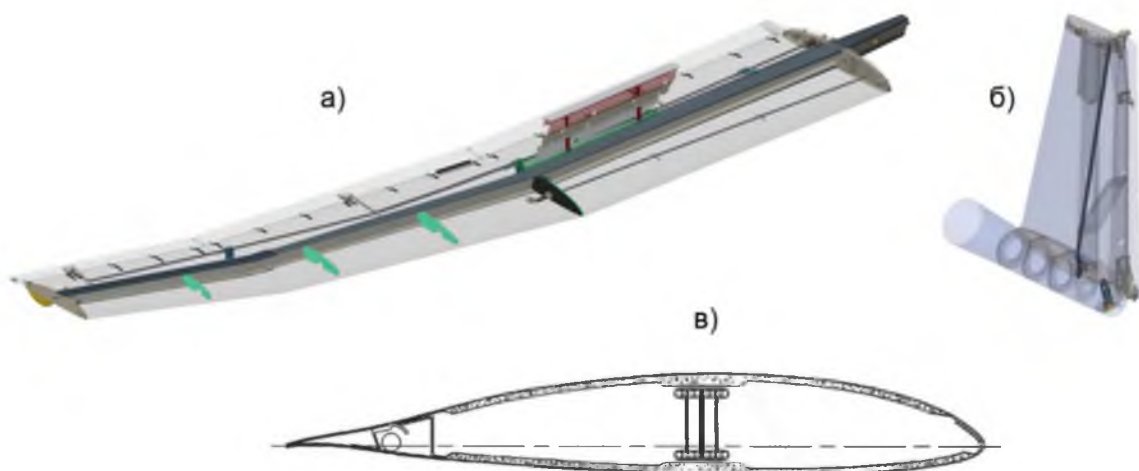


Рис. 4. Фюзеляжи современных планёров

Планёры снабжаются убирающимся в фюзеляж шасси. схема шасси большинства планёров – велосипедная с хвостовым колесом (на некоторых моделях планёров хвостовое колесо убирается в фюзеляж), иногда совместно с хвостовым колесом применяют переднее (см. рис. 4). На законцовках крыльев некоторых планеров устанавливают колесики для защиты крыла при посадке на бетонную взлетно-посадочную полосу (ВПП).

Конструктивно-силовая схема крыльев представляет собой однолонжеронное крыло с трехслойной работающей обшивкой (см. рис. 5), шаг нервюр очень большой, что объясняется большими критическими напряжениями потери устойчивости трехслойной обшивки крыла. Конструктивно-силовая схема фюзеляжа – монокок с трехслойной обшивкой подкрепленной редко стоящими шпангоутами.



а – конструкция средней части крыла планёра Arcus; б – конструкция ВО и части фюзеляжа планёра Arcus; в – сечение крыла современного планёра

Рис. 5. Конструкция крыла и вертикального оперения планёра

В качестве основного конструкционного материала применяются полимерные композиционные материалы: углепластики; стеклопластики. Благодаря применению в конструкции полимерных композиционных материалов удается создать чистые аэродинамические поверхности. Полки лонжеронов изготавливаются из однонаправленного углепластика, панели крыла изготавливаются из двух внешних несущих слоев углепластика или стеклопластика и среднего из пенопласта или сотового заполнителя.

Как уже говорилось выше, пилоты в кабине располагаются в полулежачем положении, угол спинки кресла может достигать 60° , кресла имеют мягкую обивку и ортопедическую форму, в таком кресле летчик не устает во время полета. Кабины планеров оборудуются системой кондиционирования воздуха, основанной на заборе набегающего потока воздуха извне и подаваемого в кабину. Кабина оснащена современным пилотажно-навигационным оборудованием информация с которого выводится на жидкокристаллический монитор (см. Рис. 6). Немецкие производители разработали систему управления и выпускают модели своих планёров, позволяющие пилотировать планёр лицами с ограниченными возможностями по движениям нижних конечностей.

Основными летными характеристиками планёров являются: максимальное аэродинамическое качество, горизонтальная скорость полета при максимальном аэродинамическом качестве и минимальная скорость снижения. Аэродинамическое качество современных планеров достигает 60 при скорости полета 80 км/ч, удельная нагрузка на крыло колеблется от $28,2 \text{ кг/м}^2$ до $59,6 \text{ кг/м}^2$.



Рис. 6. Кабина планёра Ventus 3

Основные летные характеристики планёров зависят от взлетной массы m_0 , площади крыла S , удлинения крыла λ и удельной нагрузки на кры-

ло $\bar{p}_0$. Максимальная взлетная масса современных планёров в зависимости от класса планёра колеблется от 525 кг до 750 кг. Площадь крыла варьируется от 9 м² до 18,3 м². Удлинение крыла находится в пределах от 15,9 до 40,9. Диапазоны основных геометрических параметров планёров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные геометрические параметры современных планёров

Параметр	Значение
Удлинение, λ	15,9...40,9
Сужение, η	1,82...4,3
Удлинение ГО, $\lambda_{ГО}$	4,9...8,3
Сужение ГО, $\eta_{ГО}$	1,3...2,5
Относительная площадь ГО, $\bar{S}_{ГО}$	0,07...0,144
Относительное плечо ГО, $\bar{L}_{ГО}$	4,1...8,21
Статический момент ГО, $\bar{A}_{ГО}$	0,44...0,74
Удлинение ВО, $\lambda_{ВО}$	1,4...1,93
Сужение ВО, $\eta_{ВО}$	1,4...2,4
Относительная площадь ВО, $\bar{S}_{ВО}$	0,08...0,124
Относительное плечо ВО, $\bar{L}_{ВО}$	0,176...0,29
Статический момент ВО, $\bar{A}_{ВО}$	0,015...0,033
Площадь миделя фюзеляжа, $S_{мф}$	0,33...0,622 м ²
Удлинение фюзеляжа, $\lambda_{ф}$	8,7...11,8

Для повышения горизонтальной скорости полета (это особенно важно на соревнованиях при полете по маршруту) применяют водобалласт, повышающий массу планёра. Водобалласт размещается в крыле и киле. Водобалласт в киле применяется для получения необходимой центровки планёра при наличии водобалласта в крыле.

В настоящее время для уменьшения стоимости летного часа и повышения автономности планёров, основные модели планёров оснащают взлетно-долетными силовыми установками (см. рис. 7), на планёрах применяют двигатели внутреннего сгорания (ДВС), турбореактивные двигатели и электрические двигатели.

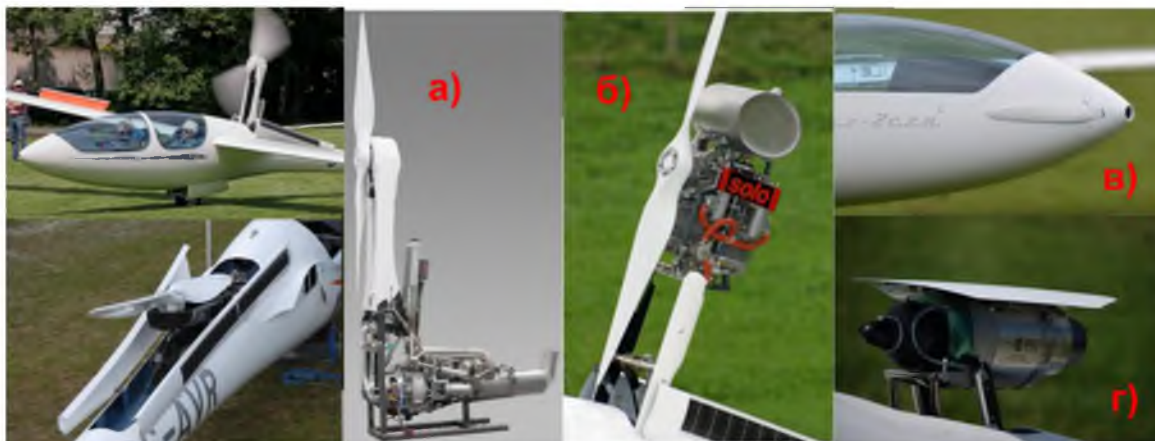
Такие двигатели позволяют взлетать планеру без использования самолета или лебедки и долететь до аэродрома в случае отсутствия восходящих потоков. Двигатели могут располагаться, как в средней части фюзеляжа и убираться в него, так и в носу (в основном это электрические двигатели с лопастями складывающимися вдоль носовой части фюзеляжа, но есть модели с ДВС с винтом убирающимся в носовой обтекатель).

Лидерами среди производителей планёров являются фирмы:

- Schempp-Hirth (Германия);
- Alexander Schleicher (Германия);

- DG Flugzeugbau;
- JSC Sportine Aviacija (Литва);
- PZL (Польша).

В России единственным производителем планёров и мотопланёров является фирма ООО «Авиастроитель», они выпускают планеры АС-4-115 и АС-7М.



а – роторно-поршневой двигатель убираемый в фюзеляж; б – 2-х цилиндровый ДВС SOLO 2350; в – электрический мотор устанавливаемый в носовой обтекатель; г – турбореактивный двигатель убираемый в фюзеляж
Рис. 7. Силовые установки современных мотопланёров и их размещение

В Европе все планёры сертифицируются по CS-22 «Certification Specifications for Sailplanes and Powered Sailplanes» (ранее JAR-22 «Sailplanes and Powered Sailplanes»), в России же нет авиационных правил определяющих нормы летной годности планёров и мотопланёров.

В Советском Союзе был очень развит планерный спорт, но в 90-х годах прошлого века интерес к нему упал, однако сейчас он снова развивается и появляется потребность в современных и недорогих планёрах. Иностранные планёры имеют высокую стоимость и в условиях импортозамещения необходимо активно заниматься разработкой отечественных спортивных планёров, для чего необходимо произвести комплексный анализ конструкции и технологии изготовления иностранных планёров, а также провести НИОКР для создания отечественных аппаратов, не уступающих иностранным аналогам по летным характеристикам и имеющих меньшую стоимость.

Список использованной литературы:

1. Simon M. Sailplanes 1965-2000. – EQIP, 2004
2. Официальный сайт Alexander Schleicher GmbH & Co. Segelflugzeugbau [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.alexander-schleicher.de>
3. Официальный сайт Schempp-Hirth Flugzeug-Vertriebs GmbH [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.schempp-hirth.com>

4. Официальный сайт JSC Sportine Aviacija ir Ko [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://lak.lt>
5. Официальный сайт DG Flugzeugbau GmbH [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.dg-flugzeugbau.de>
6. Официальный сайт Allstar PZL Glider company [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://szd.com.pzl>

УДК 678.01(075.8)(035)

***Усовершенствование технологии ремонта панелей из
композиционных материалов***

Вергин А.С., Зотов И.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Предложен крепежный элемент для пакетов из ПКМ, который по удельной прочности не уступает стальным заклепкам (типа ЗВСС) и исключает негативное влияние электрохимической коррозии, которая возникает при применении крепежных элементов из металлов

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, ремонт, клепка.

Современное самолетостроительное производство характеризуется сокращением сроков разработок новых изделий, их испытаний, а также внедрением новых технологических процессов, прогрессивной технологии в области перехода от клепано-сборочных конструкций к клеевым и композиционным материалам. Но не отработанная технология восстановления при производстве и эксплуатации приводит к большим затратам.

Физические процессы воздействия влаги на полимерные композиционные материалы (ПКМ) и клей изучены недостаточно хорошо. Однако необходимо учесть, что углепластик на основе графита, является крайним элементом в гальванической последовательности. Это означает, что он сам весьма устойчив против коррозии, но создаёт электрохимический потенциал, который приводит к коррозии всё менее инертные металлы, находящиеся с ним в непосредственном контакте.

В процессе эксплуатации летательных аппаратов, многочисленных лабораторных испытаний ПКМ показывают повышенную, по сравнению с алюминиевыми сплавами, чувствительность к воздействию внешней среды, поэтому прочностные характеристики ремонтных соединений при восстановлении агрегатов из ПКМ могут ухудшаться, если эти соедине-

ния подвергаются воздействию окружающей среды с высокой влажностью.

Выполнение технологических операций по сборке и ремонту агрегатов планера из ПКМ делают необходимыми сверление и зенкование отверстий для размещения крепёжных элементов, тем самым, обеспечивая вынужденный контакт разрезанных углеволокон с металлическими крепёжными элементами. Нетрудно предположить, что в условиях применения ЛА на морских ТВД и регионах с повышенной влажностью, явление электрохимической коррозии может оказаться существенной эксплуатационной проблемой. Поэтому для изучения физической картины возникновения электрохимической коррозии в клееклепанных ремонтных соединениях со стальными заклепками был проведен анализ воздействия на образцы этих соединений соленой воды, близкой по составу морской. Об активном протекании электрохимической коррозии говорит тот факт, что коррозионное покрытие на стальных заклепках выглядит в виде «шапок». Что, очевидно, должно приводить к снижению прочности ремонтных соединений в результате электрохимической коррозии.

Исследование технологических процессов сборки и ремонта агрегатов планера из ПКМ, а также визуальный и инструментальный контроль материала, в местах, где установлены традиционные крепежные элементы (гайкопистоны, заклёпки высокого сопротивления срезу (ЗВСС), болт-заклепки), показало, что вокруг них возникают внешние и подповерхностные повреждения в виде сколов и трещин. Даже безударное обжатие металлических крепежных элементов приводит к разрушениям ПКМ в районе отверстия, что не может не оказывать влияния на прочностные характеристики соединений в целом и является недопустимым согласно требованиям ОСТ. 1. 11200 - 73. Необходимо учесть, что кроме разрушения собственно материала наблюдаются растрескивания и сколы лакокрасочных покрытий.

На летательных аппаратах применяемых в морской авиации многие элементы обшивки планера выполнены из стеклопластика, крепятся к силовым элементам при помощи металлических заклепок с односторонним подходом типа ЗВСС и гайкопистонов (рисунок 1).

Таким образом, воздействие природно-климатических и технологических факторов на соединения в агрегатах планера из ПКМ приводит к снижению их прочностных характеристик. Что может негативно сказаться на безопасной эксплуатации ЛА.

В настоящее время в целях борьбы с электрохимической коррозией при сборке агрегатов из ПКМ в местах их соединений используются антикоррозионные покрытия, а также устанавливаются различные крепёжные элементы из нержавеющей стали и титана, что в свою очередь не может не сказаться на показателях массы и стоимости ЛА.

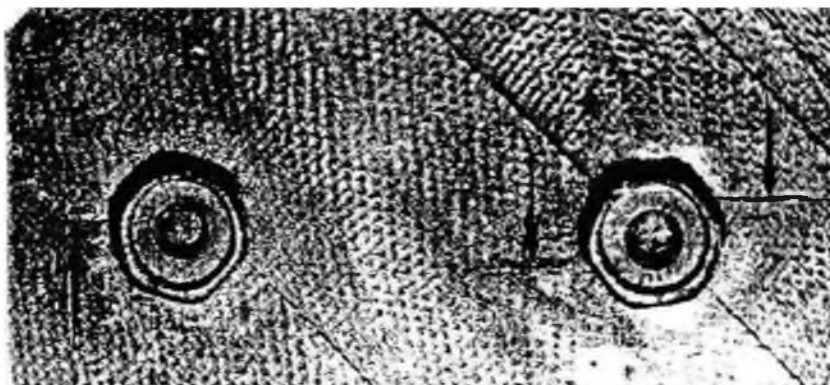


Рис. 1. Заклепка типа гайкопистон (материал Д18П) в авиационной конструкции из композита

В связи с этим возникают вопросы о необходимости принятия мер, уменьшающих или ослабляющих подобные явления, поскольку в противном случае это может привести к последствиям, связанным с ослаблением силовой схемы конструкции агрегатов планера из ПКМ.

Внешний вид эксплуатационных повреждений обшивки планера, выполненной из ПКМ показаны на рисунке 2



Рис. 2. Вид эксплуатационных повреждений обшивки планера

На рисунке 2 видна пробоина в агрегате из углепластика. Хорошо различимы волокна углеродных нитей. Обращает на себя внимание тот факт, что сам углепластик в отличие от металлической обшивки при повреждении образует вторичный поток осколков. Такой характер повреждений имеют агрегаты с подкрепляющими силовыми элементами, изготовленными из ПКМ и сотового заполнителя.

Чем сложнее форма агрегата, тем сложнее картина его повреждения. Исследования показали, что в отличие от металлов, которые поглощают энергию удара пластическими деформациями, композиты на полимерной основе в момент удара хрупко разрушаются. Причём, в зависимости от конструктивных особенностей и расположения в системе планера самолёта

та, для каждой конструкции характерны свои возможные виды разрушений.

Поэтому эксплуатационные повреждения от ударного воздействия в зависимости от степени разрушения ПКМ могут быть типизированы следующим образом:

- пробоины в агрегатах, не имеющих подкрепляющих элементов;
- агрегатах, имеющих криволинейные обводы обшивки и другие сложные формы;
- агрегатах, имеющих подкрепляющие элементы из металлов и сплавов;
- подповерхностные повреждения, сопровождающиеся растрескиванием и разрушением волокон, охватывающих внутренние слои пакета ПКМ, расположенные вокруг пробоины.

При осуществлении ремонта элементов обшивки первоначально проводится механическая обработка участка в зоне эксплуатационного повреждения. При этом удаляются заломы, загибы, трещины в обшивке и скругляются резкие переходы в углах. Для осуществления данных работ используют специальные приспособления обработки поверхности.

Для того, чтобы получить соответствующую прочность по линии крепления ремонтируемой детали и ремонтной накладки, их поверхности обрабатываются “внахлест” и после вклеивания ремонтной накладки последняя фиксируется заклепками. При этом очень важно чтобы соприкасающиеся поверхности были тщательно обработаны, с целью согласования друг с другом.

Установка заклепки приводит к понижению тенденции на отслаивание на конце линии крепления ремонтируемого соединения.

Для ремонта панелей из ПКМ с помощью патентного поиска найден подходящий способ. Данный способ получения неразъемного заклепочного соединения является запатентованным за № 2003109920/11 [1]. Для производства клепальных работ в местах, не имеющих двухстороннего подхода, разработаны и применяются следующие специальные типы заклепок из металлических сплавов, замыкающая головка которых может быть образована специальным инструментом или способом, это: заклепки с сердечником, штырьковые, гайкопистоны и взрывные двухкамерные заклепки. Недостатком всех этих заклепок из различных металлических материалов является то, что они сами по своей сути являются несовместимыми с соединяемыми деталями, если последние выполнены из полимерных композиционных материалов.

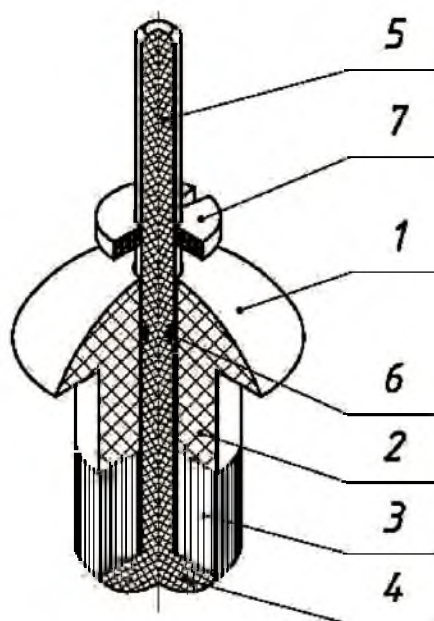
Но, несмотря на высокую надежность, у данного соединения есть недостаток. При постановке заклепки убирается фторопластовая прокладка, тем самым оставляется зазор. В данном методе мы не можем сказать уверенно, что клей способен заполнить всё высвобожденное пространство от прокладки, поэтому есть вероятность среза данной заклепки.

Кроме того, дополнительную сложность при установке заклёпки данной конструкции представляет отсутствие предварительно сформированной закладной головки. Её отсутствие не позволяет гарантированно контролировать глубину погружения заклёпки в склёпываемый пакет.

Исходя из этого, необходимо применять другой способ постановки заклепки, повышающий надёжность соединения и технологичность процесса клепания

Данная заклёпка (см. рисунок 3) и способ получения неразъемного заклепочного соединения являются запатентованными за № 2219390 [2].

Одним из недостатков металлических заклепок является то, что при соединении двух или нескольких деталей, выполненных не из металлов, а из полимерных композиционных материалов типа угле-боропластиков, в момент образования замыкающей головки происходит микрорастрескивание (разрушение связующего) соединяемых деталей из-за ударных или других механических воздействий, имеющих место при их постановке, а также под воздействием влаги они сильно коррелируют, вследствие того, что углерод, являясь крайним катодным элементом в гальванической последовательности во взаимодействии с металлами, создает электрический потенциал, который и приводит к коррозии менее инертных металлов, находящихся с ним в непосредственном контакте.



1 - закладная головка; 2 - тело заклёпки; 3 - волокна; 4 - прижимная головка; 5 - вытяжной стержень; 6 - проточка; 7 – фиксирующая шайба.

Рис. 3. Конструкция заклёпки из ПКМ

Рассматриваемая заклёпка из ПКМ выполнена следующим образом: закладная головка (1) и тело заклепки (2) выполнены из полимеризованного волокнистого композиционного материала, ориентированного вдоль оси стержня до величины, равной толщине соединяемого пакета, затем идут непolyмеризованные волокна (3), длина которых определяется из

условия формирования высоты и диаметра замыкающей головки. Концы волокон полимеризованы в общий пучок в прижимной головке (4) диаметром, равным диаметру тела заклёпки (2). В центре закладной головки (1) и тела заклёпки (2) по оси симметрии имеется отверстие, в котором свободно двигается вытяжной стержень из заполимеризованного материала (5), один конец которого заполимеризован в центре прижимной головки (4).

После введения тела заклёпки в крепежное отверстие вытяжной стержень (5) подтягивается в сторону закладной головки. Вследствие его движения происходит формирование замыкающей головки за счет изгиба неполимеризованных волокон (3) в радиальном направлении. Фиксация стержня в вытянутом положении осуществляется за счет проточки на его теле (6) и разрезной фиксирующей шайбы (7), которая расположена на вытяжном стержне (5) с натягом и перемещается по нему в сторону закладной головки (1) фиксируется в проточке (6) (рисунок 4 б).

Закладная и замыкающая головки выполняют функции анкеров, обеспечивая тем самым высокую прочность заклёпки на растяжение (на отрыв головок) (рисунок 4 в).

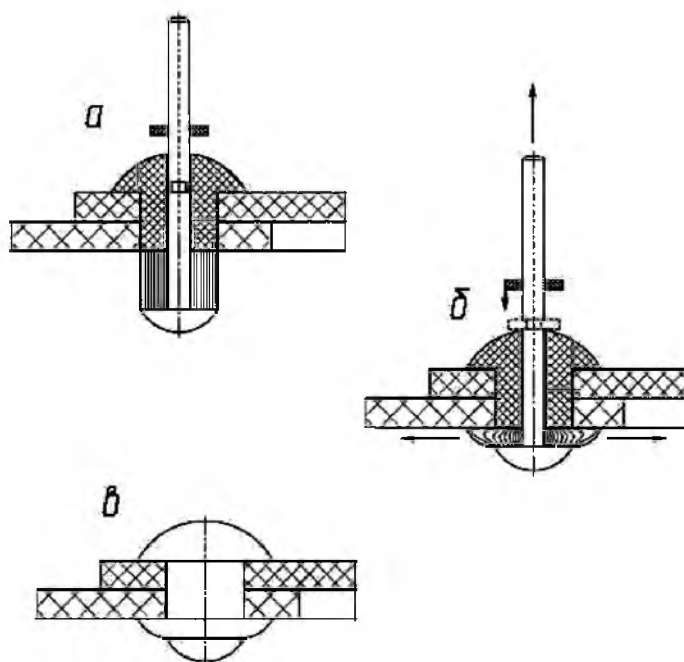


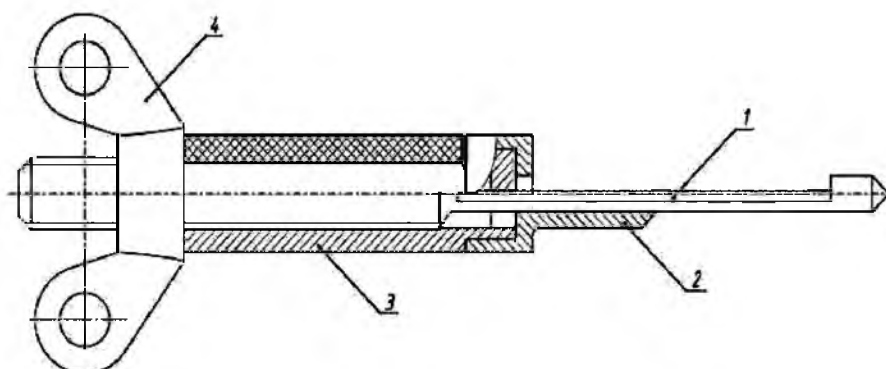
Рис. 4. Технология постановки заклёпки

Для фиксации пакета предлагается применять винтовой фиксатор, который позволяет жёстко зафиксировать пакет из нескольких слоёв до момента его окончательного соединения посредством заклёпок и/или клея [4]. Винтовой фиксатор устанавливается вручную в заранее подготовленные отверстия и надёжно фиксируется барашковой гайкой.

Гайка-барашек позволяет контролировать прижимное усилие, что даёт возможность применять зажим в работе с деталями из различных металлов и композиционных материалов. Затягивание зажима производится

руками. После окончательного соединения деталей, фиксатор легко снимается и может быть использован повторно.

Фиксатор состоит из четырёх деталей (рисунок 5)



1 - стержень; 2 - запор; 3 - корпус; 4 - барашковая гайка.

Рис. 5. Винтовой фиксатор

Таким образом, предложен новый крепежный элемент для пакетов из ПКМ, который по удельной прочности не уступает стальным заклепкам (типа ЗВСС) и исключает негативное влияние электрохимической коррозии, которая возникает при применении крепёжных элементов из металлов. Кроме того, данный крепёжный элемент может быть рекомендован к применению при ремонте панелей ЛА, к которым предъявляются особые требования пониженной радиолокационной заметности.

Список использованной литературы:

1. Пат. 2261374 Российская Федерация, МПК7 F 16 В 19/06, В 21 J 15/02. «Заклепка и способ получения неразъемного заклепочного соединения» / Сажин А. Н. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Иркутский военный авиационный инженерный институт. - № 2003109920/11 ; заявл. 07.04.2003 ; опубл. 27.09.2005, Бюл. № 27. -6с.: ил.
2. Пат. 2219390 Российская Федерация, МПК7 F 16 В 19/06, В 21 J 15/02. «Заклепка и способ получения неразъемного заклепочного соединения» / Алесковский С.Л. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Иркутский военный авиационный инженерный институт. - 2001103427/11 ; заявл. 05.02.2001; опубл. 20.12.2003, Бюл. № 27. -6с.: ил.
3. Подоляк М.П. «К вопросу о перспективных соединениях авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов» // Научный вестник МГТУ ГА. – 2008. – №130. – с. 172-180)
4. Алесковский С.Л, «Методика ремонта высоконагруженных авиационных конструкций из трехслойных полимерных композиционных материалов с боевыми повреждениями в войсковых условиях» : дис. канд. тех. наук: 20.02.17/ Алесковский Сергей Львович ; Иркутское высшее военное авиационное училище. Иркутск, 1994. - 213 с

Тенденции модификации нефтяных фракций для современной авиации

***О.И. Дошлов, Е.В. Котельников, И.О. Дошлов,
С.Д. Кузиванов, И.С. Ефименко***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Работа посвящена обзору существующих авиационных рабочих жидкостей, анализу их недостатков и тенденциям развития технологий создания авиационных рабочих жидкостей на основе модификации нефтепродуктов

Ключевые слова: *рабочая жидкость, нефтепродукт, композит, горюче-смазочный материал.*

Основные тенденции развития современной техники характеризуются интенсификацией использования применяемых нефтепродуктов: увеличением температур эксплуатации, качественным и количественным ростом удельных механических, электрических, энергетических, температурных, коррозионных, тепловых и других нагрузок (см. рисунок 1).

В создании новых материалов для указанных целей важное место занимают исследования и разработка композиций на основе химически чистых углеводородов и подготовленных углеводородных фракций.

Для этой цели, кроме углубленной первичной переработки нефти, требуется тщательный подбор исходных нефтей с определенным сбалансированным с химическим, групповым, элементным и фракционными составами. При этом, крайне желательно чтобы содержание гетероциклических соединений было минимальным. Необходимо чтобы содержание элементной и меркаптановой серы были также минимальными.

Набор технологических установок для вторичной переработки сырьевых компонентов включал в обязательном порядке процесс каталитического крекинга различных схем каталитического риформинга, алкилирования и в обязательном порядке набор гидрогенизационных процессов (углубленный гидрокрекинг, гидроочистку и тд). Суммарный набор этих процессов должен соответствовать современному критерию Нельсона, порядка 8-10 единиц.

Все процессы должны в обязательном порядке быть обеспечены современными методами контроля качества и количества разрабатываемых горючесмазочных материалов: хромато-массспектрометрами, хроматографами различной модификации, ЭПР и ЯМР спектрометрами, рентгеноспектральными и рентгеноструктурными приборами, большим количе-

ством наборов образцов выпускаемых нефтепродуктов, обслуживающий персонал должен быть высшей квалификации.



Рис. 1. Классификация горюче-смазочных материалов для авиации.

Новые отечественные синтетические авиационные рабочие жидкости.

В настоящее время большинство авиационных рабочих жидкостей (РЖ) вырабатывают на основе нефтяных масел, получаемых с использованием экстракционных и гидрокаталитических процессов.

Основной недостаток нефтяных РЖ - высокая пожаровзрывоопасность и склонность к механической деструкции. Из-за этого при эксплуатации воздушных судов ухудшаются вязкостно-температурные свойства, повышается пено- и шламообразование РЖ, а также снижается ресурс гидроагрегатов и гидросистем [4-5].

Для обеспечения современных воздушных судов конкурентоспособными отечественными РЖ разработана и изготовлена новая отечественная рабочая жидкость АСГИМ.

АСГИМ (авиационная синтетическая гидравлическое масло) - первое полностью синтетическое отечественное РЖ, её вязкость 9 мм²/с при 50 °С. Жидкость содержит усовершенствованный пакет функциональных присадок (загущающую, антиокислительную, противоизносную и антипенную присадки и др.) Разработанная РЖ АСГИМ имеет эксплуатационные свойства значительно выше, чем эти свойства у традиционно применяемых РЖ.

Полностью негорючую жидкость создать невозможно, поэтому требования негорючести были заменены требованиями пожаровзрывобезопасности. Перспективными базовыми компонентами пожаровзры-

вобезопасных РЖ являются эфиры фосфорной кислоты, так как они огнестойки, удовлетворительно сочетают термостабильность, вязкостно-температурные и смазывающие свойства. К недостаткам таких РЖ относятся высокая токсичность, химическая агрессивность и неудовлетворительная совместимость с углеводородными маслами [6]. В настоящее время эти РЖ применяют в большинстве гидравлических систем воздушных судов гражданской авиации (Ту-214, Ил-114, Бе-200).

Основными направлениями научно-исследовательских работ по совершенствованию фосфатных РЖ является повышение термоокислительной и термической стабильности; улучшение гидролитической стабильности; расширение диапазона рабочих температур.

Для повышения конкурентоспособности отечественных фосфатных жидкостей НИИСУ совместно с ЦИАМ, 25 ГосНИИ Минобороны, ВНИИ НИ и др. разработали новую отечественную рабочую жидкость ВГЖ. Опытно-промышленная партия ВГЖ изготовлена в ОАО «НК «Роснефть» - МЗ «Нефтепродукт».

ВГЖ (взрывопожаробезопасная гидравлическая жидкость) - это новейшая отечественная РЖ 9 мм²/с при 50 °С на основе смеси сложных эфиров фосфорной кислоты. Эта жидкость сохраняет термоокислительную и гидролитическую стабильность. В результате исследования, проведенных в ЦИАМ, установлено, что по этим показателям ВГЖ превосходит НГЖ-5у. Так, ВГЖ обладает меньшей вязкостью при -60 °С после окисления, кислотное число окисленных масел находится в пределах сходимости. По показателям гидролитической стабильности ВГЖ имеет лучшие показатели изменения кислотного числа, рН и коррозии меди. Достигнутые улучшения получены изменением состава базовой смеси эфиров и применением импортной присадки, противодействующей их деструкции. Но ВГЖ, в сравнении НГЖ-5у обладает меньшей температурой вспышки, повышенной вспениваемости, сниженной противоизносной способности и меньшей стабильности после озвучивания.

Углеродные волокна и композиты

Введение в полимерные материалы углеродных волокон позволило создать принципиально новый класс конструкционных материалов - углепластиков. Они представляют собой КМ на основе полимерной матрицы, армированной непрерывными или дискретными углеродными волокнами.

МС-21 задумывался как инновационный самолет. Главная из инноваций: впервые в России и, более того, ранее чем у многих ведущих авиационных производителей самолет будет иметь композитное крыло. Принципиально важно, что речь идет не просто о широком применении композитов, а о их использовании в высоконагруженных конструкциях (см. рисунок 2). Это в свою очередь оказывает существенное влияние на аэродинамическую компоновку и на аэродинамику самолета. Традиционно аэродинамики стараются увеличить удлинение крыла

(отношение размаха крыла к средней хорде крыла), поскольку это способствует уменьшению сопротивления. Однако это стремление упирается в увеличение массы конструкции, что заставляет искать оптимум, компромисс.

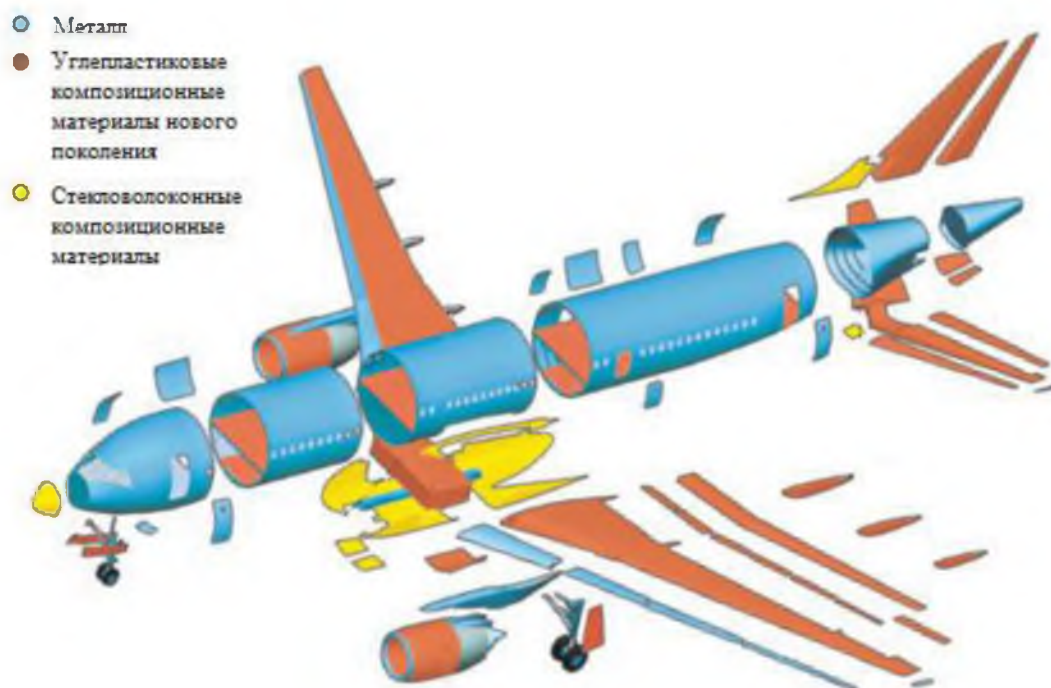


Рис. 2. Распределение углеродных материалов в МС 21

В зависимости от вида армирующего углеродного материала углепластики подразделяются на углеволокниты, углетекстолиты и углепрессволокниты.

Углеволокниты изготавливаются с применением непрерывных углеродных нитей и жгутов. Обладают низкими теплопроводностью и электрической проводимостью, но все же их теплопроводность в 1,5-2 раза выше, чем у стекловолокнитов. Они имеют малый и стабильный коэффициент трения и обладают хорошей износостойкостью. Температурный коэффициент линейного расширения углеволокнитов в интервале 20-120 °С близок к нулю

Несмотря на объективные трудности, имеющиеся в деле разработки и применения композиционных материалов в самолето- и вертолетостроении, современная наука с уверенностью смотрит в будущее. Прилагаются все усилия для того, чтобы применение и производство композиционных материалов было качественно расширено и улучшено. В России много делается на государственном уровне для воплощения в жизнь результатов научной деятельности.

Список использованной литературы:

1. Свищёв Г.П., Авиация. Энциклопедия. – Издательство: Большая Российская энциклопедия. – Москва, 1994

2. Школьников В.М. – Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. – М: Техин-форм, 1999 – 596с.
3. Коняев Е.А., Немчиков М.Л. – Авиационные горюче-смазочные Материалы. – Издательство: МГТУ ГА, 2013 80с.
4. Ёлшин А.И., Нефтеперерабатывающий завод АНХК. Они были первыми. Страницы истории, 1955 – 1975 годы. – Иркутск: ООО «Репроцентр А1», 2017. – 188с.:ил
5. Нечаев В.М., Ткачев Ф.И. – Горюче-смазочные материалы и специальные жидкости. – Издательство: ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» 2008 – 73с.
6. Папок К.К., СеминидоЕ.Г. – Моторные и реактивные масла и жидкости. – Издательство: «Химия», 1982 - 245с.
7. Барабанова Г. В., Рудавец Л. Н., Евстратова М. А. – Улучшение эксплуатационных характеристик авиационной рабочей жидкости НГЖ-5у. - Журнал: Мир нефтепродуктов, 2014 – 2 с. 20 – 22
8. Ершов М. А., Емельянов В. Е. – Возобновление производства авиационного бензина в России. Проблемы и перспективы. - Журнал: Мир нефтепродуктов, 2014 – 11 с. 17 – 22
9. Разработка и внедрение современных технологий производства и применения высокоэнергетических термостабильных топлив для ракетной и авиационной техники. Журнал: Мир нефтепродуктов, 2013 – 4 с. 46 – 47

УДК 629.7.022

Оценка интерференции элементов летательного аппарата типа катамаран с частичной аэростатической разгрузкой

***А.П. Коваль, А.С. Груздев
Руководитель: И.О. Бобарика***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье представлены исследование взаимного расположения элементов летательного аппарата, при котором для летательного аппарата схемы катамаран с частичной аэростатической разгрузкой с помощью баллонов дирижабля и крылом малого удлинения возможно получение как минимум отсутствия отрицательной интерференции, а как максимум положительной интерференции между элементами его конструкции для различных режимов полёта между баллонами и двигателями в режиме висения.

Ключевые слова: аэродинамика, обтекание, численный эксперимент, интерференция, катамаран, дирижабль, аэростатическая разгрузка, крыло.

Введение

В связи с разработкой в рамках гранта Учёного Совета ИРНТУ летательного аппарата оригинальной конструкции с частичной аэростатической разгрузкой, возникла необходимость оценки взаимовлияния элементов его конструкции. В результате ознакомления и анализа некоторых уже имеющихся исследований в данной области, был сделан вывод о достаточности информации касательно традиционных схем (как аэродинамическим, так и с аэростатическим принципами создания подъёмной силы). Однако для сложных схем, в том числе типа катамаран, а также использующих оба принципа создания подъёмной силы одновременно, данных оказалось недостаточно, поэтому было выполнено численное исследование в программном продукте FloEFD [1].

Основная идея

Известно, что у классических дирижаблей с нижним расположением гондолы и винтомоторных групп, винты при работе создают на участках нижней полусферы дирижабля области пониженного давления (отрицательная интерференция), что ведёт к появлению отрицательной подъёмной силы [5]. Особенно этот эффект заметен вблизи экрана. В статье [6] подробно описан численный эксперимент для классического дирижабля вблизи экрана.

В результате аэродинамической интерференции аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат, не являются обыкновенной суммой аэродинамических сил его частей, и в большинстве случаев это взаимовлияние отрицательно. В частности для дирижабля это наблюдается из-за изменения полей скоростей и давлений вблизи и на поверхности части баллона, обтекаемой потоком, индуцированным винтом. В результате изменяется распределение сил давления на баллон, а, следовательно, и результирующих аэродинамических сил.

Численный эксперимент

Для исключения описанного эффекта, а также для улучшения управляемости в ряде аппаратов применена схема с боковым расположением двигателей. Однако такие аппараты не обладают достаточной остойчивостью (например, дирижабль «Анюта», выполненный по схеме летающая тарелка).

Для уменьшения отрицательного эффекта необходимо расположить воздушный винт относительно баллона таким образом, чтобы подъёмная сила, возникающая из-за местного понижения давления на поверхности баллона была направлена вверх.

Предложена конструкция летательного аппарата такая, с таким взаимным расположением элементов конструкции, при котором по априор-

ным оценкам область пониженного давления будет создаваться на верхней полусфере баллона с несущим газом. При этом необходимая остойчивость реализуется схемой типа катамаран.

Для проектируемого аппарата была создана геометрическая модель, на базе которой была создана расчётная модель. Конечно-объёмная сетка с многоуровневым разбиением создавалась в автоматическом режиме с учётом особенностей характера течения. Граничные условия задавались для двух различных полётных режимов: висения и горизонтального полёта со скоростью 40 км/ч.

Так как в рамках данной задачи не оценивалось влияние расстояния между винтом и оболочкой, но априори известно, что чем меньше расстояние, тем больше влияние, то было принято минимально допустимое расстояние 200 мм из соображений возможного перемещения границы мягкой оболочки в процессе полёта под действием внешних нагрузок.

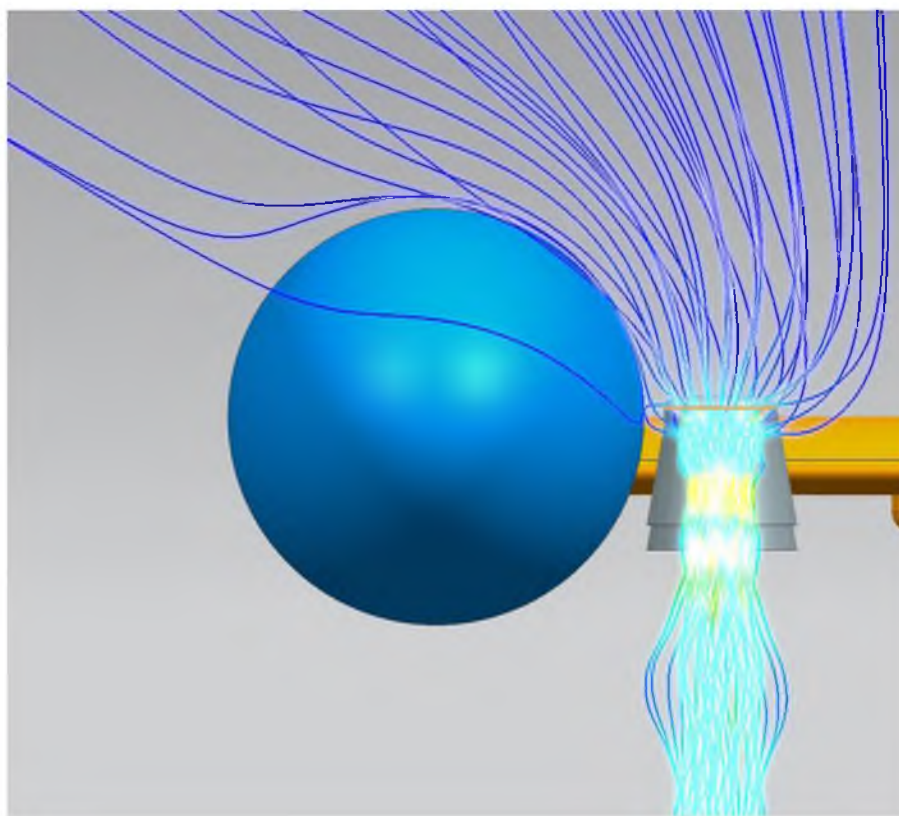


Рис. 1. Картина траекторий потока в режиме висения

На рисунке 2 видно, что на поверхности баллона, находящегося в непосредственной близости от воздушного винта присутствует зона пониженного давления по площади примерно равная зоне повышенного давления. Анализ распределения давления по поверхности баллона подтвердил, что в данной конструкции удалось избежать отрицательной интерференции между винтом и баллоном, характерной для дирижаблей классической компоновки.

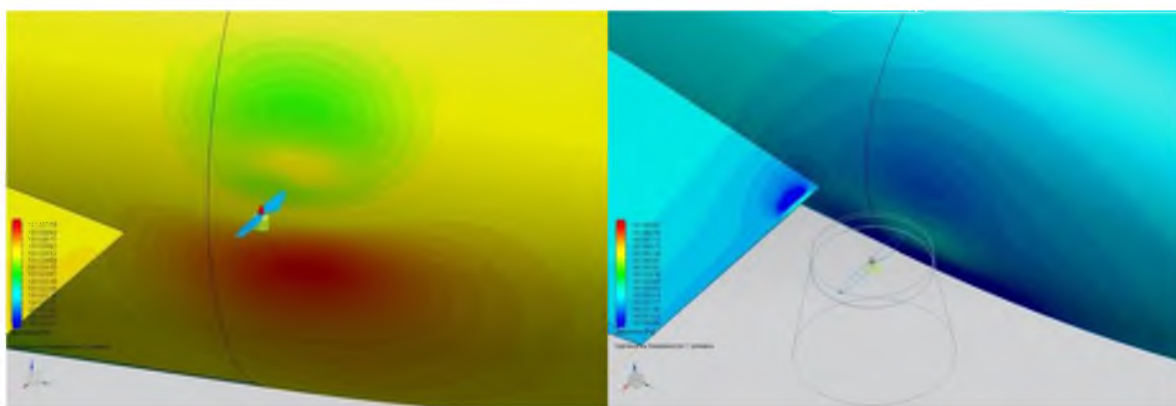


Рис. 2. Картина распределения давления по поверхности баллона в режиме висения

В таблице 1 представлены результаты расчёта для режима висения.

Таблица 1. Результат расчёта в режиме висения

Р, %	Кольцо	Y, Н	Y _{баллона} , Н	Y _{крыла} , Н	Р _{винтов} , Н
100	-	120,4	-7,2	-2,6	129,6
	+	119,2	-0,5	2,2	80 (Y _{кольца} =37,6)

Таким образом, для летательного аппарата данной схемы численным экспериментом подтверждена возможность исключения отрицательной аэродинамической интерференции.

Также отдельно был рассмотрен случай горизонтального полёта, при котором наблюдается положительная интерференция между воздушным винтом и крылом за счёт обдува верхней поверхности крыла (рис. 3), и возникновения области пониженного давления на ней и участке баллона над крылом (рис.4).

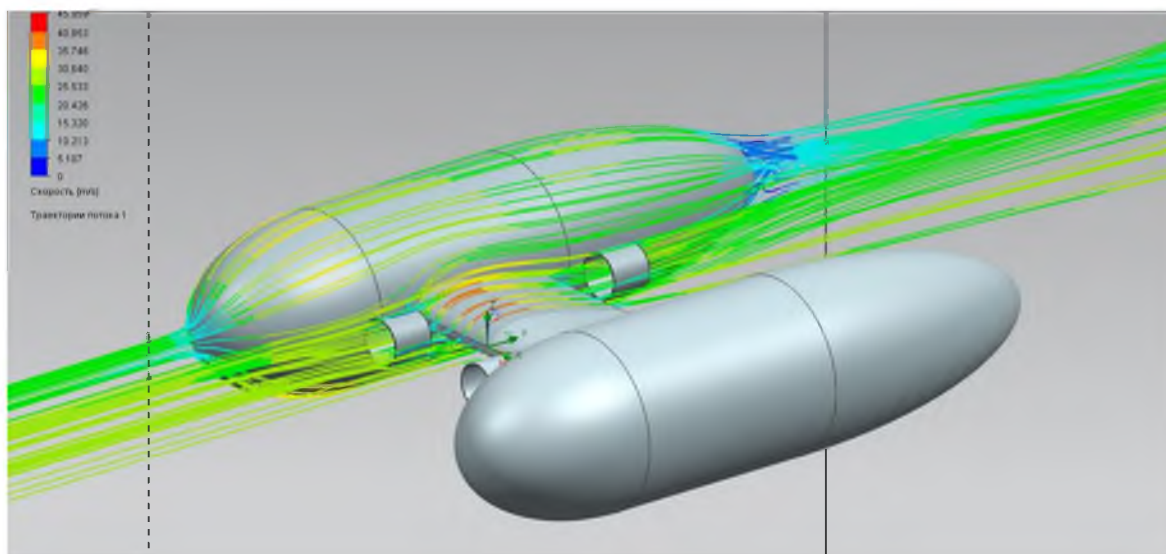


Рис. 3. Траектории потока в режиме горизонтального полёта.

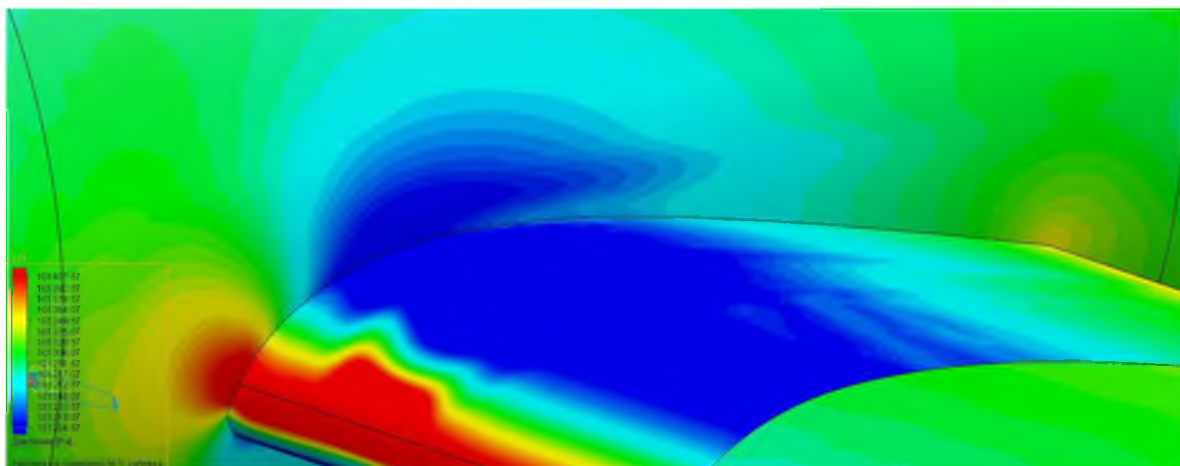


Рис. 4. Картина распределения давления по поверхности в режиме горизонтального полёта.

Повышение аэродинамического качества крыла в рассматриваемой конструкции по сравнению с крылом изолированным связано с уменьшением влияния концевых вихрей, вызванных перетеканием воздуха из зоны повышенного давления в зону давления пониженного.

В таблице 2 представлены результаты расчёта для режима горизонтального полёта на скорости $V=11,11$ м/с и 50% тяги и характеристики отдельных элементов конструкции.

Таблица 2. Результат расчёта в режиме горизонтального полёта

Конфигурация	$Y, И$	$Y_{\text{баллонов}}, Н$	$Y_{\text{крыла}}, Н$	$X, Н$	$X_{\text{баллонов}}, Н$	$X_{\text{крыла}}, Н$	$P_{\text{винтов}}, Н$
Конструкция в сборе	70,16	27,75	43,04	13,9	8,94	4,96	18,4
Элементы отдельно	-	-1,34	17,47	-	14	6,6	-

Наличие положительной интерференции позволяет создавать большую подъёмную силу при меньших площадях несущих поверхностей и меньших объёмах баллонов, что благоприятно сказывается на массогабаритных параметрах летательного аппарата, а так же позволяет увеличить полётное время.

Вывод

Для летательного аппарата типа катамаран с частичной аэростатической разгрузкой возможна реализация положительного аэродинамического взаимодействия элементов конструкции.

Список использованной литературы:

1. Бобарика И.О, Молокова С.В. Применение математических средств моделирования при аэродинамическом проектировании летательных ап-

паратов. Решетнёвские чтения: Материалы XVII междунар. науч. конф., посвящ. Памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнёва (нояб. 2013, г. Красноярск); / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2013. – С. 6 – 8.

2. Гусев И.Н, Бобарика И.О. Численное моделирование аэродинамики несущих элементов летательных аппаратов потоком несжимаемой жидкости при малых числах Маха. (Статья) Научные труды (Вестник МАТИ) № 21 (93). 2013. – С. 59 – 65.

3. Гусев И.Н, Бобарика И.О. Повышение адекватности численного моделирования аэродинамики элементов летательных аппаратов потоком несжимаемой жидкости при малых числах Маха. (Статья) Вестник ИрГТУ. №2 (85) – Иркутск, 2013. – С. 33 – 38.

4. Бобарика И.О, Бальзаминов В.В. Применение численного эксперимента для исследования пограничного слоя при моделировании аэродинамики элементов летательных аппаратов. (Статья) Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции Авиамашиностроение и транспорт Сибири. ИрГТУ – Иркутск, 2014. – С. 38 – 44.

5. Ле Куок Динь «Аэродинамическая интерференция винтовых движителей с оболочкой дирижабля» Москва, 2013 г..

6. Ле Куок Динь «Влияние струй от винтов на аэродинамические характеристики дирижабля вблизи экрана» Электронный журнал «Труды МАИ» выпуск № 52, Москва, 2012 г..

УДК 629.7.083

Обоснование критериев оценки качества проведения полетов и их обеспечения

А.В. Климович, В.В. Меркурьев

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье рассмотрен вопрос количественной оценки качества организации и проведения мероприятий инженерно-авиационного обеспечения полетов.

Ключевые слова: организация полётов, обеспечение полётов, инженерно-авиационная служба.

Современный этап реформирования Вооруженных Сил Российской Федерации обусловлен основными требованиями ряда нормативных документов, основными из которых являются Стратегия национальной безопасности и Военная доктрина, в которых определены основные за-

дачи личному составу воинских формирований, связанные с подготовкой и применением находящихся на эксплуатации, современных и модернизированных образцов вооружения и военной техники. Данные задачи характерны для Воздушно-космических сил. Кроме этого, повысились требования, связанные с увеличением налета и повышением уровня профессионального мастерства всего личного состава авиационных частей. В связи с этим, актуальной становится оценка выполнения мероприятий обеспечения боевой подготовки, основными задачами которой являются [1]:

- поддержание постоянной боевой готовности подразделений, воинских частей и соединений к выполнению задач по предназначению;

- развитие у офицеров, прапорщиков, сержантов твердых профессиональных знаний и умений, привитие им командирских качеств, педагогических и методических навыков;

- подготовка военнослужащих к выполнению своих должностных и специальных обязанностей в ходе решения боевых (специальных) задач, умелому применению штатного вооружения и военной техники по боевому предназначению самостоятельно и в составе экипажей, расчетов, подразделений;

- подготовка войск к ведению боевых действий в вооруженных конфликтах и действиям в составе объединенных группировок по поддержанию (восстановлению) международного мира и безопасности.

Для всего личного состава авиационных частей наиболее характерной, с точки зрения приобретения практических навыков при подготовке к выполнению задач по предназначению, является организация и проведение полетов по плану боевой подготовки части в текущем периоде обучения.

Организация полетов – комплекс мероприятий, проводимых должностными лицами авиационных частей и подразделений обеспечения по определению задач полетов (летной смены), порядка и последовательности их выполнения и приведения в готовность личного состава, воздушных судов, аэродрома, сил и средств управления, обеспечения полетов к их выполнению [2].

Обеспечение полетов – это деятельность руководящего и всего личного состава, участвующего в подготовке и проведении полетов, направленная на создание необходимых условий для выполнения задач летной смены с привлечением необходимых сил и средств и соблюдением требований безопасности полетов. Оно включает следующие виды (рисунок 1) [2].

Одним из основных видов обеспечения полетов является инженерно-авиационное обеспечение (ИАО), основной целью которого является подготовка авиационной техники к полетам с учетом особенностей предстоящей летной смены, обеспечение требуемого количества самолетов-вылетов в точном соответствии с плановой таблицей полетов, до-

стижение безотказности и высокой эффективности применения авиатехники в полете при соблюдении мер безопасности.

ИАО полетов организуется заместителем командира авиационной части по инженерно-авиационной службе (ИАС) и проводится в соответствии с решением командира авиационной части на проведение полетов и документами по (ИАО) государственной авиации в целях своевременной подготовки воздушных судов к полетам, достижения безотказной работы в полете и высокой эффективности их применения [3]. Оно осуществляется личным составом ИАС (инженерно-техническим составом), используя свои средства эксплуатации, ремонта и технического обслуживания авиационной техники, а также средства наземного обслуживания общего применения.



Рис. 1. Виды обеспечения полетов

Результаты ИАО полетов оцениваются после каждой летной смены командиром и руководящим составом ИАС. На сегодняшний день единой методики оценки качества организации ИАО подготовки и проведения полетов не существует. Есть отдельные показатели, по которым условно можно оценить работу личного состава ИАС.

Главным критерием оценки качества инженерно-авиационного обеспечения при производстве полетов является «полнота выполнения плановой таблицы полетов». Показатели критерия и их оценка представлены в таблице 1. На основании проведенной оценки частных показателей определяется общая оценка качества организации ИАО полетов.

Таблица 1 - Оценка показателей качества организации инженерно-авиационного обеспечения при производстве полетов

№ п/п	Наименование показателя	Оценка показателя				Примечание
		Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно	
1	Степень выполнения плановой таблицы полетов ($A_{\phi}/A_{пл}$), где A_{ϕ} – фактическое количество самолетов-вылетов за летную смену; $A_{пл}$ – планируемое количество самолетов-вылетов за летную смену;	Плановая таблица выполнена в полном объеме	Не выполнен один полет по вине ИТС	Не выполнено два полета по вине ИТС	Не выполнено более двух полетов по вине ИТС	
2	Количество серьезных инцидентов (инцидентов) и отказов ВС по вине ИАС	Не выявлено в ходе производства полетов САИ (АИ) по вине ИТС	-	-	Выявлен хотя бы один САИ (АИ) по вине ИТС	
3	Продолжительность устранения неисправностей (предотвращенных отказов) ВС и сроки восстановления неисправных ВС.	Все отказы и неисправности на ВС устранены в пределах нормативной продолжительности ремонтных работ	Отказы и неисправности устранены с превышением установленной нормативной продолжительности ремонтных работ по вине ИТС не более чем на 10%	Отказы и неисправности устранены с превышением установленной нормативной продолжительности ремонтных работ по вине ИТС не более чем на 20%	Отказы и неисправности устранены с превышением установленной нормативной продолжительности ремонтных работ по вине ИТС более 20%	
4	Нарушение правил эксплуатации и мер безопасности при работе ИТС на ВС	Нарушение правил эксплуатации или мер безопасности при работе ИТС на ВС не выявлено	Нарушения правил эксплуатации или мер безопасности не повлияли на выполнение полетных заданий при производстве полетов	Нарушения правил эксплуатации и мер безопасности не повлияли на выполнение полетных заданий при производстве полетов -	Нарушения правил эксплуатации или мер безопасности привели к невыполнению полетного задания	

5	Соответствие фактических технологических сроков выполнения предполетной подготовки и подготовки к повторному полету ВС их нормативным значениям	Все виды подготовок выполнены в соответствии с нормативными значениями технологических сроков подготовки ВС	-	-	Подготовка ВС выполнена с нарушением нормативных значений технологических сроков подготовки ВС по вине ИТС*	
6	Оперативность реагирования системы управления ИАС на вводные команды руководителя полетов (РП)	Все вводные команды (РП) отработаны в установленные сроки	Вводные команды РП отработаны с превышением выделенного лимита времени на 10% по вине ИТС	Вводные команды РП отработаны с превышением выделенного лимита времени на 20% по вине ИТС	Вводные команды РП отработаны с превышением выделенного лимита времени более чем на 20% по вине ИТС	

Примечание: * - с учетом 100% укомплектованности технологических расчетов подготовки ВС

Для количественной оценки качества работы личного состава ИАС при организации ИАО полетов, указанных в таблице 1 показателей, могут использоваться методы квалиметрии. При этом переход от оценок в баллах к количественным (вероятностным) оценкам определяется следующими показателями (таблица 2) [4].

Таблица 2 – Переход от оценок в баллах уровня подготовки специалистов ИАС к вероятностным показателям

Оценка в баллах	Вероятностный показатель (w)
Отлично	0,91 – 1
Хорошо	0,76 – 0,9
Удовлетворительно	0,51 – 0,75
Неудовлетворительно	< 0,51

Общая оценка качества организации ИАО полетов выставляется инженерно-авиационной службе по наименьшей оценке одного из частных показателей критерия «полнота выполнения плановой таблицы полетов» и может быть представлена следующим выражением:

$$W_{пол} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}, \quad (1)$$

где, $W_{пол}$ – числовой показатель критерия «полнота выполнения плановой таблицы полетов»;

w_i – числовой показатель i – го показателя качества организации и проведения полетов;

n – количество показателей, характеризующих качество организации и проведения полетов.

Используя результат расчета показателя ($W_{пол}$) и сведения из таблицы 2 получим следующие критерии оценки :

$W_{пол} = (0,91 - 1)$ – оценка «отлично»;

$W_{пол} = (0,76 - 0,9)$ – оценка «хорошо»;

$W_{пол} = (0,51 - 0,75)$ – оценка «удовлетворительно»;

$W_{пол} = (< 0,51)$ – оценка «неудовлетворительно»;

Кроме представленных выше показателей, качество работы личного состава ИАС может быть оценено и другими показателями (таблица 3).

Таблица 3 –Виды работ, выполняемых специалистами инженерно-авиационной службы в день полетов

№ п/п	Вид работ	Наименование критерия и оценка			
		«Полнота выполнения работ»	«Порядок выполнения работ»	«Порядок заполнения документации»	«Соблюдение мер безопасности»
1	Выполнение предполетной подготовки (по специальности)				
2	Выполнение подготовки к повторному вылету (по специальности)				
3	Выполнение послеполетной подготовки (по специальности)				
4	Выполнение демонтажно-монтажных работ				
5	Выполнение зарядно-заправочных работ				
6	Выполнение работ по снаряжению ВС АСП				
7	Выполнение работ на оборудовании ВС с применением КПА				

Оценки критериев работы, выполняемых специалистами инженерно-авиационной службы, указанных в таблице 3, представлены в таблице 4:

Таблица 4 – Наименование критериев при выполнении работ специалистами инженерно-авиационной службы и их оценка

Критерий	Критерии оценки			
	«Отлично»	«Хорошо»	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
Полнота выполнения работ	работа выполнена в полном объеме	работа выполнена в полном объеме	работа выполнена в полном объеме	не выполнены условия на оценку «удовлетворительно»
Порядок выполнения работ	порядок выполнения работ не нарушен	порядок выполнения работ не нарушен	нарушен порядок выполнения работ	не выполнены условия на оценку «удовлетворительно»
Порядок заполнения документации	документация заполнена полностью без ошибок	имеются нарушения в порядке оформления документации	имеются нарушения в порядке оформления документации	не выполнены условия на оценку «удовлетворительно»
Соблюдение мер безопасности	не нарушены меры безопасности	не нарушены меры безопасности	не нарушены меры безопасности	не выполнены условия на оценку «удовлетворительно»

Определение обобщенного критерия качества работы специалистов ИАС при выполнении мероприятий ИАО полетов может быть также рассчитана с помощью выражения (1).

Использование полученных оценок качества организации и осуществления мероприятий ИАО полетов может быть исходной информацией для определения эффективности работы личного состава ИАС в соответствующих периодах обучения. Выражение для определения эффективности работы ИАС, может быть представлено в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{\text{ИАО}} = \frac{W_{\text{пол. тек.}}}{W_{\text{пол. пред.}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где, $\mathcal{E}_{\text{ИАО}}$ – эффективность работы ИАС при осуществлении мероприятий ИАО полетов;

$W_{\text{пол. тек.}}$ – числовой показатель критерия «полнота выполнения плановой таблицы полетов» в текущем периоде обучения;

$W_{\text{пол. пред.}}$ – числовой показатель критерия «полнота выполнения плановой таблицы полетов» в предыдущем периоде обучения.

Используя данное выражение можно оценить работу личного состава ИАС за весь период обучения, а также с помощью полученных результатов сделать вывод, какие факторы оказали наиболее существенное влияние на организацию и выполнение мероприятий ИАО полетов.

Таким образом, количественная оценка качества и эффективности при организации и выполнении мероприятий ИАО полетов, при выполнении мероприятий боевой подготовки авиационных частей, имеет большое значение, так как дает наиболее полное представление и выполнении работ, осуществляемых личным составом ИАС. Значения, полученные с помощью выражений (1) и (2) дают возможность руководящему составу наиболее полно, проанализировать результат выполняемых работ и разработать рекомендации, направленные на повышение эффективности, решаемых задач. Кроме этого количественные критерии оценки наиболее удобны для восприятия руководящим составом, так как имеют четкие границы и могут быть использованы при выставлении оценок подразделениям ИАС, за организацию выполнения работ на авиационной техники в ходе подготовки и проведения полетов.

Список использованной литературы:

1. Руководство по боевой подготовке в Военно-воздушных силах. Приказ ГК ВВС от 19 ноября 2007 г. № 425. – 107 С.
2. Организация инженерно-авиационного обеспечения: Учебное пособие. – М: Монино, 2008 г. – 372 С.
3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 09.09.2004 г. № 044 «Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации» (Книга 1.М., 2005). – 252 С.
4. Военно-экономический анализ и исследование операций / Г.П. Жуков, С.Ф. Викулов. – М., 2001 г. – 390 С.
5. Перечень вопросов и критерии оценки при ежемесячной сдаче зачетов специалистами инженерно-авиационной службы (утвержден ГК ВКС 26.10.2015 г.) – 6 С.

УДК 621.369

Подбор радиопоглощающего покрытия для авиационного радиооборудования

Я.В. Копытко, И.Н. Зотов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Приведен пример подбора радиопоглощающего покрытия для авиационного радиооборудования. Рассмотрены современные типы радиопоглощающих покрытий, сделаны рекомендации по применению РПП при установке радиооборудования в процессе производства современных летательных аппаратов.

Ключевые слова: *радиооборудование, радиопоглощающего покрытия, радиопоглощающие свойства.*

Радиопоглощающие материалы (РПМ) и Радиопоглощающие покрытия (РПП) представляют класс материалов, применяемых в технологии снижения заметности («стелс-технология») для маскировки средств вооружения и военной техники от обнаружения радиолокационными средствами противника. Являются составной частью общего направления, связанного с разработкой средств и методов уменьшения демаскирующих признаков оружия и военной техники в основных физических полях. При взаимодействии электромагнитного излучения с РПМ происходят одновременные процессы поглощения, рассеяния (вследствие структурной и геометрической неоднородности материала) и интерференции радиоволн.

Различие между собственно материалами (РПМ) и покрытиями (РПП) до некоторой степени условно и предполагает, что первые входят в состав конструкции объекта, а вторые — как правило, наносятся на его поверхности. Условность разделения связана и с тем обстоятельством, что любой радиопоглощающий материал является не только материалом, но микроволновым устройством-поглотителем. Способность материала поглощать высокочастотное излучение зависит от его состава и структуры. РПМ и РПП не обеспечивают поглощения излучения любой частоты, напротив, материал определенного состава характеризуется лучшей поглощающей способностью при определенных частотах. Не существует универсального поглощающего материала, приспособленного для поглощения излучения радиолокационной станции (РЛС) во всем частотном диапазоне.

Существует распространенное заблуждение относительно того, что в результате применения РПМ объект становится невидимым для локаторов. В действительности, применение радиопоглощающих материалов способно лишь существенно снизить эффективную поверхность рассеяния объекта в конкретном диапазоне частот РЛС, что, однако не обеспечивает полную «невидимость» объекта при иных частотах излучения. РПМ являются лишь слагаемым обеспечения низкой заметности объекта, среди которых: конфигурация летательного аппарата (ЛА); конструктивно-компоновочные решения; широкое применение композиционных материалов, отсутствие собственных излучений и т. п.

Разработанная в Центральном конструкторском бюро автоматики (ЦКБА, г. Омск) в 1980-х годах. Изначально предназначалась для установки на новый противотанковый штурмовик Су-25Т который и стал первым самолетом получившим новую СПО. В упрощенных вариантах применялась и на палубном истребителе Су-33. Также планировалась установка на разрабатываемый тогда истребитель Як-141. Изначально на Су-33, Су-25Т и его усовершенствованном варианте Су-25ТМ данные от

станции выводились на индикаторах ИПВ-1, ИЛС-31 и ИТ-23М в кабине пилота которые дублировались речевыми сообщениями речевого информатора, в настоящее время такие станции установлены на всех современных самолетах марки Су.

Устройство определяет факт облучения радиолокационной станцией противника, производит определение направления и типа РЛС. Управляет комплексом РЭБ, дает целеуказание на пассивные радиолокационные головки самонаведения (ПРГС) противорадиолокационных ракет (ПРР).

Состоит из двух модулей. Основной модуль — ведет непосредственную радиотехническую разведку, выдает информацию об обнаруженных РЛС, классифицирует цели. Модуль наращиваемого устройства — аппаратура управления и целеуказания — отвечает за сопряжение с ПРГС ПРР (до 6 шт), проверку границ и зон возможного применения ПРР.

СВЧ-часть представлена 3 видами пеленгаторов, каждый из которых имеет СВЧ-блок и набор антенн (от 2 до 4):

- грубый пеленгатор;
- точный пеленгатор;
- угломерный пеленгатор (опциональный)

Сопряжение с системами самолета (вертолета) может выполняться по интерфейсам Ethernet, MIL-1553 (МКИО), ARINC-429 (ДПК), RS-232C или любому другому по требованию заказчика.

В рамках решения задачи поглощения радиоволн авиационной станции предупреждения об облучении предлагается использовать РПП РАН-67

В ИТПЭ РАН разработано многослойное широкополосное РПП марки РАН-67. РПП РАН-67 предназначено для снижения коэффициента отражения электромагнитной волны от элементов конструкции объектов в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц. Покрытие РАН-67 относится к группе силиконовых материалов и представляет собой многослойный композиционный материал на основе кремнийорганического связующего, наполненного мелкодисперсными порошками модифицированного железа. Нанесение покрытия производят послойно методом лакокрасочного напыления. Покрытие не токсично, трудно горюче. Типичная частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 при нормальном падении электромагнитной волны [2].

Результаты проведенных испытаний образцов РПП РАН-67 свидетельствуют о том, что покрытие имеет значительные вариации значений коэффициента отражения при изменении температуры. На рисунке 1 представлено несколько кривых частотной зависимости в диапазоне от 8 до 18 ГГц коэффициента отражения образца покрытия в интервале температур от минус 70 °С до +180 °С. Для удобства отображения на графике показаны кривые, записанные с шагом 10 °С [2].

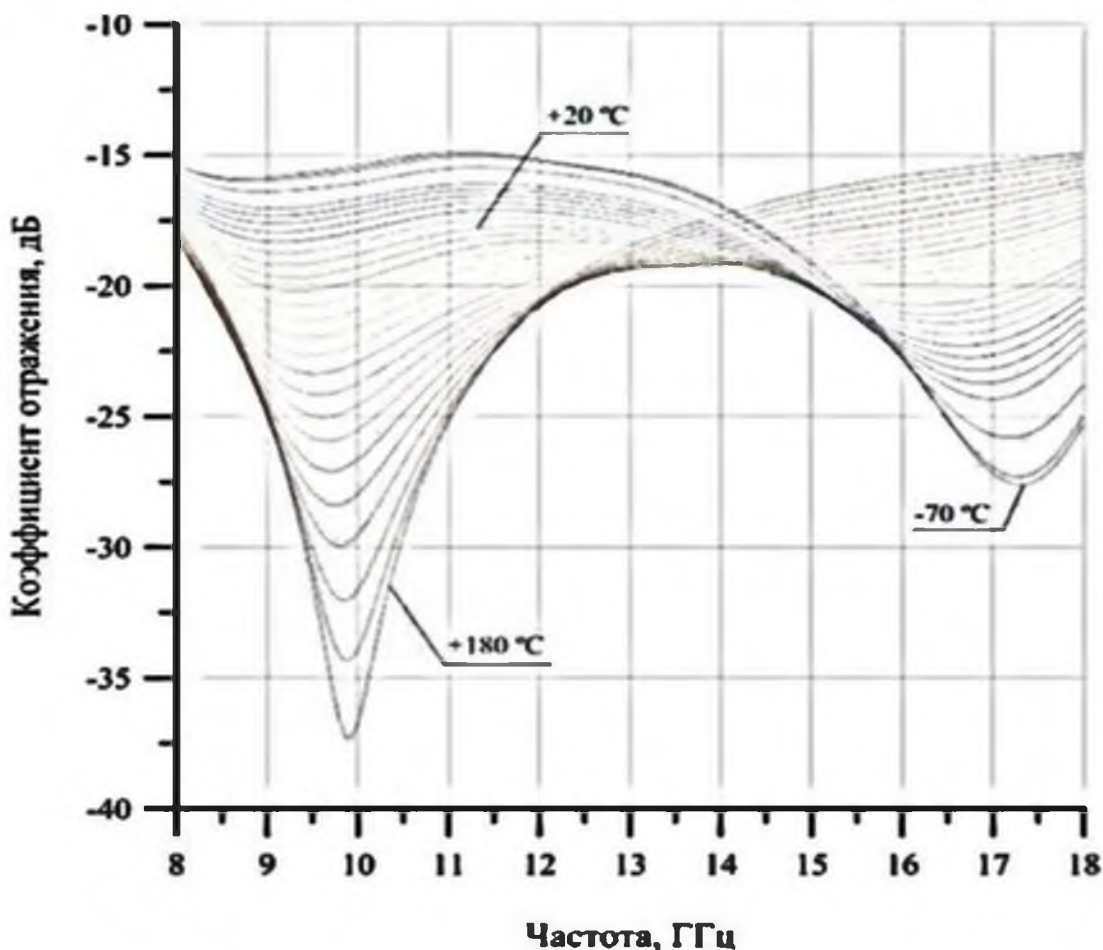


Рис. 1 - Частотная зависимость коэффициента отражения РПП РАН-67 в диапазоне температур от минус 70 °C до +180 °C

Выносными линиями изображены зависимости, полученные в исходном состоянии при комнатной температуре +20 °C, при минимальной температуре минус 70 °C и при максимальной +180 °C. Охлаждение образца покрытия приводит к смещению зависимости коэффициента отражения в область высоких частот с формированием одного выраженного локального минимума на частоте 17,3 ГГц. При термическом нагреве наоборот происходит смещение частотной зависимости коэффициента отражения в область более низких частот со снижением значения минимума отражения до уровня минус 37 дБ. При этом точно так же формируется единственный локальный минимум частотной зависимости коэффициента отражения в данном диапазоне на частоте 9,9 ГГц. Однако и при нагреве до максимальной температуры, и при охлаждении до минимальной РПП РАН-67 сохраняет свою работоспособность – значения коэффициента отражения удовлетворяют требованиям технических условий (не более минус 15 дБ в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц) на данное покрытие независимо от его рабочей температуры. Такие смещения обусловлены значительными изменениями диэлектрической и магнитной проницаемости материала покрытия в данном диапазоне температур. Данный график полностью удовлетворяет необходимые свойства материала [2].

В институте теоретической и прикладной электродинамики ИТПЭ РАН разработано многослойное широкополосное РПП марки РАН-43. РПП РАН-43 предназначено для снижения коэффициента отражения электромагнитной волны от элементов конструкции. Покрытие наносят на поверхность методом пневматического нанесения. Покрытие не токсично, трудногорюче. Покрытие РАН-43 относится к группе силоксановых материалов и представляет собой трехслойный композиционный материал на основе блоксополимера, модифицированного карбонального железа, окси цинка и реологических добавок.

Результаты проведенных испытаний образцов РПП РАН-43 свидетельствуют о том, что покрытие сохраняет характеристики в диапазоне температур от минус 60°C до +200°C (при температуре 200°C не более 200 часов) [1]. Покрытие выдерживает облив маслами, керосином и гидравлическими жидкостями, но не является стойкими при длительном контакте с ними. РПП РАН-43 наносят толщиной 2,2-2,5мм.

Вывод. Стойкость РПП РАН-67 и РАН-43 к воздействию повышенных и пониженных температур, термоциклированию, термостарению, повышенной влажности демонстрирует высокую эксплуатационную надежность данных покрытий.

Высокие радиопоглощающие свойства РПП РАН-67 в необходимом частотном диапазоне, в сочетании с хорошими физико-механическими характеристиками, а также сравнительно небольшой толщиной (порядка 4 мм) и, как следствие, массой позволяют рекомендовать данное покрытие для применения для авиационного радиооборудования.

РАН-43 так же не уступает по своим характеристикам покрытию РАН-67, но данный материал работает другом в частотном диапазоне. Все же допускается использование РАН-43 при зазоре между станцией и обводом от 6мм и менее, так как РАН-67 имеет толщину 4мм.

РПП РАН-67 предлагается наносить на каркасные детали самолета в местах установки радиооборудования.

Список использованной литературы:

1. Кибец С.Г., Политико А.А., Семененко В.Н., Чистяев В.А. Измерение коэффициента отражения радиопоглощающих покрытий в широком диапазоне температур // Шестнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН, Москва, 18-21 мая 2015 г., с. 44-45.
2. Иванова В.И., Кибец С.Г., Краснолобов И.И., Лагарьков А.Н., Политико А.А., Семененко В.Н., Чистяев В.А. Разработка широкополосного радиопоглощающего покрытия с высокими эксплуатационными свойствами // Шестая общероссийская научно-практическая конференция «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем» («СВЧ-2016») – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016, с.180-195.

Оптимизация процесса «Обтяжки» и конструкции оснастки

Е.В.Ледовских

Научный руководитель: А.В. Колесников

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

На примере листовой обводообразующей детали, изготовленной методом «обтяжки» произведено моделирование, и показана возможность ее изготовления на обтяжном прессе с заданным силовым воздействием. Произведена оптимизация конструкции оснастки.

Ключевые слова: CAD, CAE, обтяжка, листовая заготовка, производство, моделирование.

В современном самолетостроении остался ряд проблем связанных с изготовлением листовых обводообразующих деталей. На производстве, для их изготовления используют метод «Обтяжки».

Обтяжка это процесс деформирования заготовки, закрепленной по концам зажимами (губками) и дальнейшим обтягиванием до окончательного прилегания всей поверхности заготовки к поверхности оснастки. Процесс осуществляется за счет возникновения растягивающих напряжений, превосходящих предел текучести материала.

На сегодняшний день в самолетостроении все больше возникает необходимость использования методов численного моделирования, Которые, помогают в значительной степени сократить время нахождения оптимального метода изготовления детали, что позволяет сократить стоимость и время. В работе использовались такие программные продукты как: RAM-STAMP 2G для моделирования процесса обтяжки и S3F для формирования траектории движения губок

Моделирование процесса обтяжки произведено на примере детали «Окантовка» (рисунок 1), изготовленной из алюминиевого сплава и имеющей толщину 8 мм. При изготовлении деталей большой толщины, превышающей значение в 4 мм возникают сложности с их формообразованием.

Для данной детали было необходимо:

- оценить возможность обтяжки толстостенной детали на прессе с силовым воздействием 6585 кН и силой сжатия губок 2.1 кН на погонный мм;
- определить степень пружинения после формообразования;
- определить количество переходов;

- получить скомпенсированную по пружинению рабочую поверхность оснастки;
- оптимизировать конструкцию оснастки.

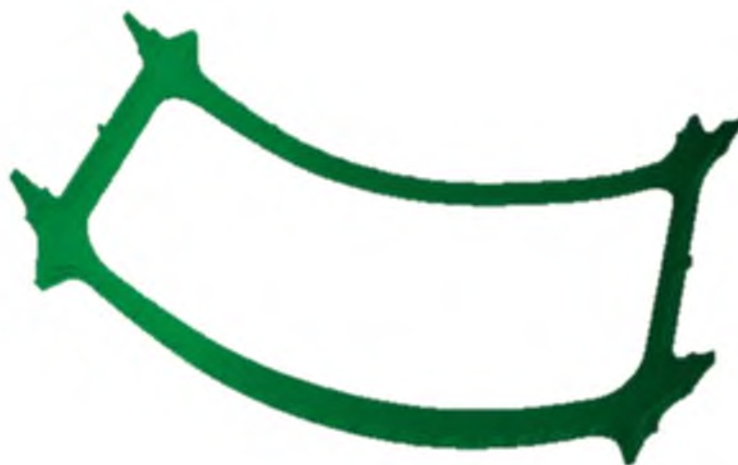


Рис. 1. Исследуемая деталь

На первом этапе было проведено моделирование в S3F для получения управляющей программы для обтяжного пресса. Далее, производится конечно – элементный анализ. Для его реализации потребовалась конечно – элементная сетка заготовки, оснастки и губок (см. рисунок 2).

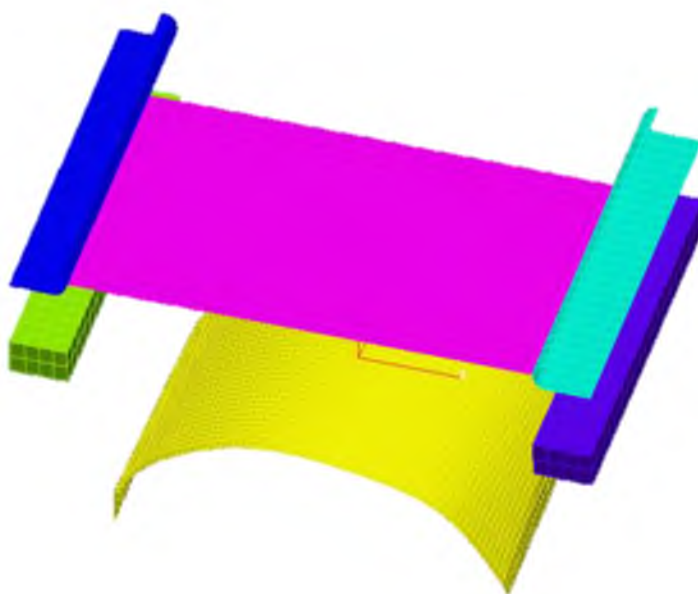


Рис. 2. Конечно – элементная модель

По полученным результатам моделирования можно судить, что сил сжатия губками достаточно для того, чтобы заготовка не вышла из них. Но в ходе процесса возникло частичное проскальзывание заготовки которое не ведет к полной потери контакта заготовки с губками.

Результатами данного варианта моделирования являются:

- Возможность изготовления детали данным методом, с заданными параметрами;
- Значение максимальной растягивающей силы 1612 кН;
- Пружинение составило 292 мм.

Второй вариант формообразования данной детали заключался в предварительной прокатке листовой заготовки на гладких валах. Это позволило получить деталь с меньшим углом пружинения. Данный вариант позволяет варьировать угол проката и количество переходов до получения нужной формы заготовки.

Проведя анализ был подобран самый оптимальный вариант. Заготовка детали должна иметь начальный угол оборачивания 26° . Для уменьшения пружинения процесс разделен на 4 перехода по степени деформации с промежуточными отжигами. В результате максимальное пружинение составило 3,54 мм (рисунок 3).

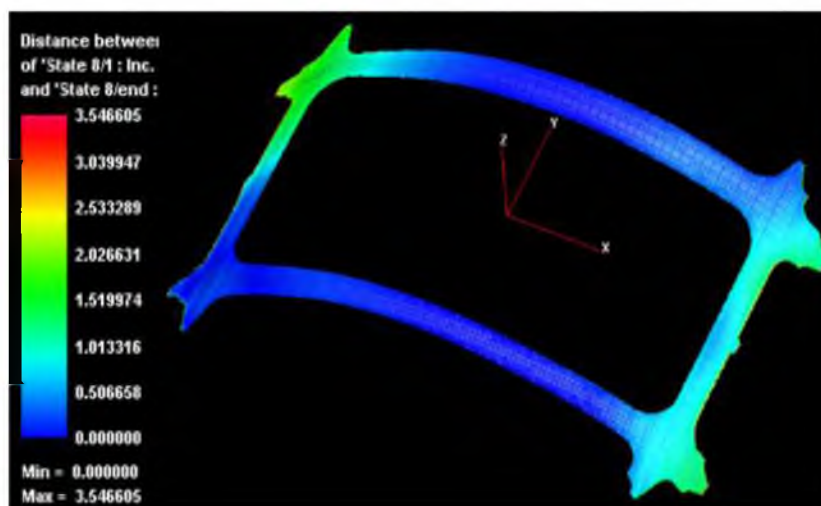


Рис. 3. Результаты моделирования

Возможности PAM-STAMP 2G позволяют произвести расчет компенсации рабочей поверхности оснастки по пружинению. Для этого был использован метод последовательных итераций, и в результате расчета получена скомпенсированная по пружинению поверхность оснастки.

Далее проведена оптимизация конструкции оснастки, рассмотрено 3 варианта конструкции и произведено сравнение по массовым характеристикам (рисунок 4).

Оптимизация конструкции осуществлялась на основе совмещения расчета деформаций, возникающих в оснастке и процесса обтяжки заготовки (рисунок 5). Видно, что в первом варианте, где облегчение конструкции достигается за счет прямоугольных карманов, расположенных по всей длине, напряжения максимальны и располагаются по краям оснастки, где сосредоточена максимальная растягивающая сила. Данный вариант не подходит, так как распределение деформаций составило 64 мм. Но конструкция при этом имеет наименьшую массу 2300 кг.

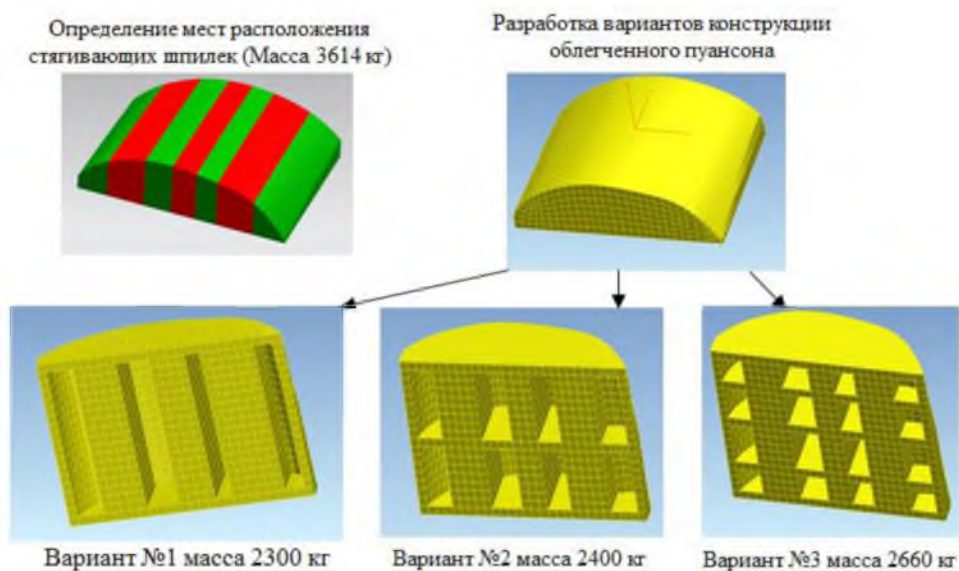


Рис. 4. Оптимизация конструкции пуансона

Так как грузоподъемность балки при переносе оснастки составляет 3000 кг, необходимо добиться массы не превышающей данное значение. Во втором варианте добавлены поперечные ребра, масса составит 2400 кг. Деформации, возникающие в пуансоне значительно уменьшились и составили 15 мм. Рассмотрим третий вариант, конструкция утяжелена до 2660 кг и добавлены два дополнительных ряда ребер. Напряжения составило 44 МПа. Значение деформаций возникающих в пуансоне составляет 1,26 мм, что при данных массовых условиях является самым оптимальным вариантом, обеспечивающим необходимую жесткость.

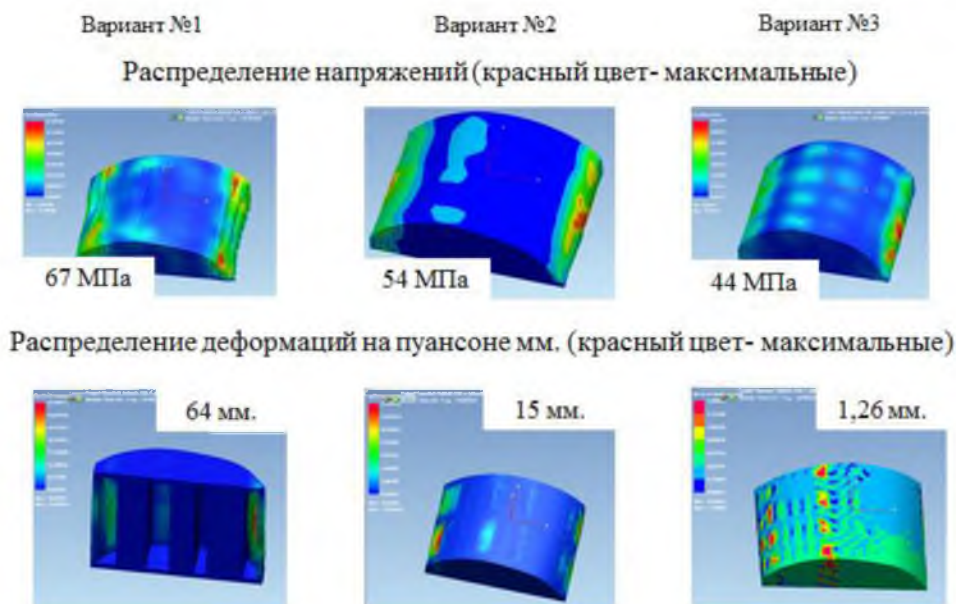


Рис. 5. Результаты расчета напряжений и деформаций в оснастке

Полученные в ходе моделирования результаты, показали актуальность применения систем конечно-элементного моделирования для решения сложных задач:

- Выбора рационального метода изготовления листовых деталей в зависимости от сложности форм, размеров и толщины;
- Возможность использования выбранного оборудования с заданными параметрами;
- Оптимизации оснастки для формообразования деталей, с возможностью уменьшения массовых характеристик.

Можно сделать вывод что использование данных систем в производстве дает возможность уменьшить ряд проблем связанных с изготовлением листовых деталей, полученных методом «Обтяжки».

Список использованной литературы:

1. Осипов С.А., Мироненко В.В., Максименко Н.В., Котов В.В. Управление разнотолщинностью при пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности // Металлург. - 2013. - №2. - С. 26-29
2. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Колесников А.В., Максименко Н.В., Котов В.В. Выбор рационального метода формообразования детали средствами инженерного анализа с применением САЕ-систем // Металлург. - 2014. - №12. - С. 24-31.
3. Cheslavskaya A.A., Mironenko V.V., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Kotov V.V. Choosing an efficient method for forming parts by means of an engineering analysis performed with the use of a cae system // Metallurgist. - 2015. - Т. 58. № 11-12. - С. 1051-1059.
4. Белых С.В., Кривенок А.А., Мироненко В.В., Мишагин В.А. Определение положения пуансона в рабочем пространстве обтяжного пресса fet в процессе технологической подготовки производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2013. - №12 (83). - С. 36-41
5. Марьин С.Б., Колыхалов Д.Г., Мироненко В.В., Маценко В.В. Моделирование процессов гибки листовых заготовок эластичными и эластосыпучими средами // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2014. - №4. - С. 42-45.
6. Mironenko V.V., Polyakova O.E., Sechkarenko D.A. accounting for the technological history of the formation of a part in strength calculations//Metallurgist. -2016. -№Т. 59. № 9-10. -С. 871-876.
7. Мироненко В.В., Колесников А.В., Максименко Н.В., Станиславчик А.С., Котов В.В. Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности рифтовых конструкций из листа // Металлург. - 2013. - №9. - С. 18-22
8. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Берсенов С.А., Котов В.В. Формовка деталей типа «тройник» с использованием совмещенного процесса пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности и диффузионной сварки // Металлург. - 2012. - №12. - С. 32-34.

Сравнение методов формообразования «Вытяжка» и «Обжим» на примере листовой детали

Е.В.Ледовских, И.В. Полинский
Научный руководитель: А.В. Колесников

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Основной задачей при изготовлении авиационных листовых деталей является выбор наиболее оптимального метода формообразования, позволяющего сократить ручные доводочные работы, а так же снизить стоимость получаемых деталей.

Ключевые слова: *эластоформование, вытяжка, обжим, моделирование.*

В настоящее время в заготовительно - штамповочном производстве все больше набирает оборот использование методов виртуального моделирования процессов изготовления листовых деталей.

В данной статье будут рассмотрены два варианта формообразования детали сложной пространственной формы имеющей ряд «рифтов» на бортах.

Для выбора метода формообразования рассмотрена деталь (рисунок 1):



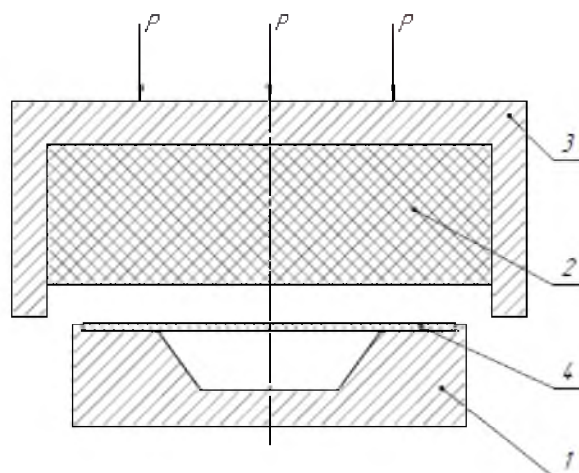
Рис. 1. Электронная модель детали

Характеристики выбранной детали:

- сложная пространственная форма;
- имеет два борта двойной кривизны;
- усложнена конструктивными элементами типа «рифт»;

- толщина детали 1,2 мм;
- материал Д19ЧАМ.

Первым вариантом формообразования выбран процесс вытяжки, так как является самым распространенным при изготовлении листовых деталей сложной пространственной формы. Схема процесса представлена на рисунке 2. Вытяжка заготовки осуществляется эластичной средой (эластичным пуансоном) в жесткую матрицу.



1 – матрица, 2 – эластичная среда, 3 – контейнер, 4 – заготовка

Рис. 2. схема процесса «вытяжки» эластичной средой

Первоначально была получена развертка детали с помощью метода обратного подхода Inverse. Далее была получена, конечно - элементная сетка.

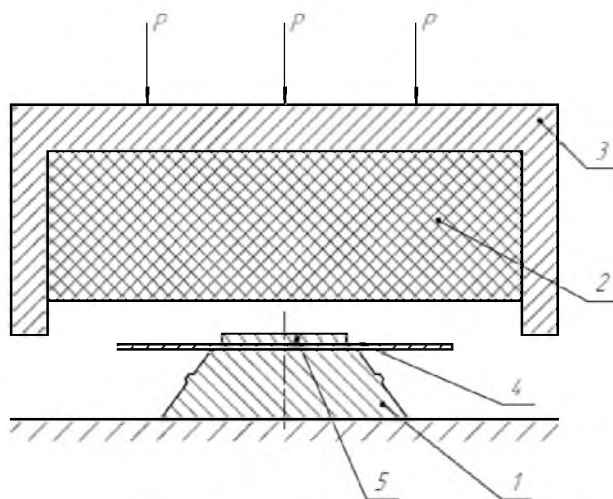
Параметры материала для детали изготовленной из Д19ЧАМ:

- Модуль Юнга – $0,7 \cdot 10^{-5}$ МПа;
- Коэффициент Пуассона – 0,3 ;
- Плотность материала – $2,76 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³;
- Утонение не более 20%.

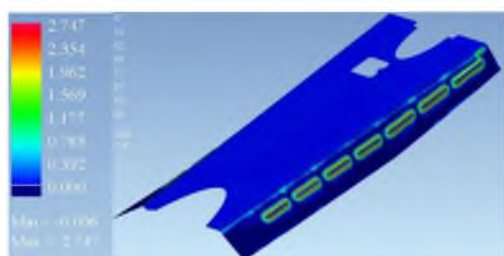
В работе использованы CAD CAE системы, такие как комплексах NX 10, PAM-STAMP 2G.

В результате формообразования выявлены зоны недоформовки расположенные на рифтах. Так же возник значительный недостаток данного метода. Матрица имеет значительные габариты, что увеличивает стоимость и металлоемкость ее изготовления. Проанализируем второй вариант формообразования, «Обжим». Схема процесса представлена на рисунке 3.

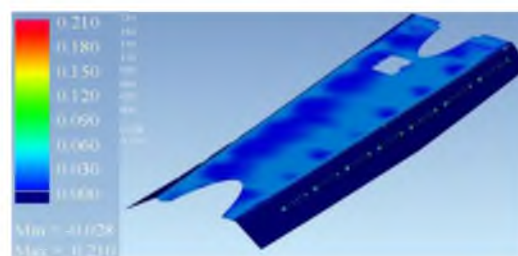
Формообразование осуществляется под давлением в 80 Мпа, в виду того что при меньшем давлении образуются зоны недоформовки. Результаты моделирования процесса представлены на рисунке 4



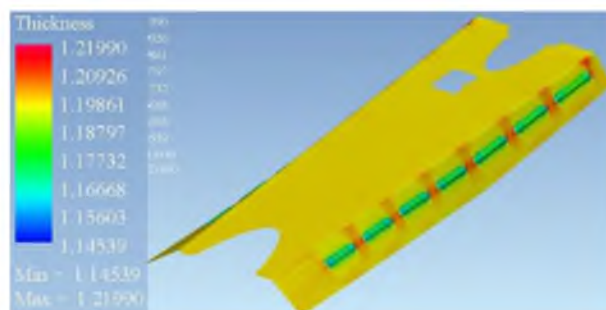
1 – матрица, 2 – эластичная среда, 3 – контейнер, 4 – заготовка, 5 – крышка
Рис.3. Схема процесса «Обжим» эластичной средой



а)



б)



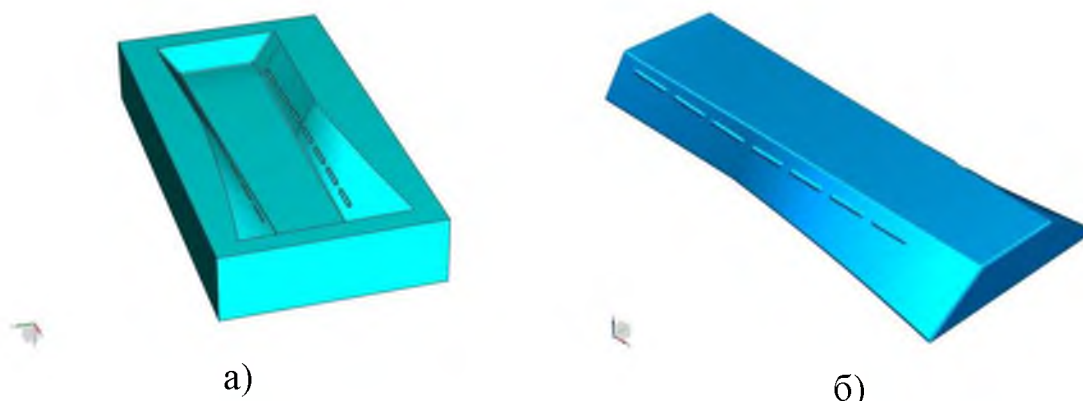
в)

- а) Распределение пружинения по поверхности детали. Максимальное пружинение – 2,7 мм (66 секунда);
- б) Распределение пружинения по поверхности детали. Максимальное пружинение – 0,028 мм (75 секунда);
- в) Распределение толщины по поверхности детали. Максимальная толщина – 1,21 мм. Минимальная толщина – 1,14 мм

Рис.4. Результаты моделирования

При обжиме детали эластичной средой после снятия давления происходит пружинение со стороны борта детали от матрицы. При ее моделировании был учтен угол упругого отклика материала.

Оба результата моделирования дали положительный эффект, деталь была получена без дефектов, таких как гофры, разрывы и др. Проведем сравнение матрицы.



а) Оснастка для «Вытяжки» детали. Масса 3404,5 кг.
б) Оснастка для «Обжима» детали. Масса 2066,3 кг.

Рис.5. Оснастка

Сравнение показало, что масса оснастки для «обжима» детали имеет значительно меньшую массу (меньше на 1338,2 кг) по сравнению с первым вариантом формообразования. Уменьшая металлоемкость оснастки, значительно снижается стоимость производства данной детали.

На примере листовой детали была показана важность применения CAD и CAE систем при технологической подготовке процессов эластоформования. Данный подход позволяет оценить и проанализировать ход процесса и еще на стадии технологической отработки определить возможные дефекты в детали. Так же позволяет выбрать наименее материалоемкий и низкий по себестоимости метод формообразования детали.

Список использованной литературы:

1. Осипов С.А., Мироненко В.В., Максименко Н.В., Котов В.В. Управление разнотолщиностью при пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности // Металлург. - 2013. - №2. - С. 26-29
2. Белых С.В., Кривенок А.А., Мироненко В.В., Мишагин В.А. Определение положения пуансона в рабочем пространстве обтяжного пресса *fet* в процессе технологической подготовки производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2013. - №12 (83). - С. 36-41
3. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Колесников А.В., Максименко Н.В., Котов В.В. Выбор рационального метода формообразования детали средствами инженерного анализа с применением CAE-систем // Металлург. - 2014. - №12. - С. 24-31.
4. Марьин С.Б., Колыхалов Д.Г., Мироненко В.В., Маценко В.В. Моделирование процессов гибки листовых заготовок эластичными и эла-

стосыпучими средами // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2014. - №4. - С. 42-45.

5. Cheslavskaya A.A., Mironenko V.V., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Kotov V.V. Choosing an efficient method for forming parts by means of an engineering analysis performed with the use of a cae system // Metallurgist. - 2015. - Т. 58. № 11-12. - С. 1051-1059.

6. Мироненко В.В., Колесников А.В., Максименко Н.В., Станиславчик А.С., Котов В.В. Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности рифтовых конструкций из листа // Metallurg. - 2013. - №9. - С. 18-22

7. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Берсенев С.А., Котов В.В. Формовка деталей типа «тройник» с использованием совмещенного процесса пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности и диффузионной сварки // Metallurg. - 2012. - №12. - С. 32-34.

8. Mironenko V.V., Polyakova O.E., Sechkarenko D.A. accounting for the technological history of the formation of a part in strength calculations//Metallurgist. -2016. -№Т. 59. № 9-10. -С. 871-876.

УДК: 681.883.7

Комплекс автоматизированного тестирования структур тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов

О.В. Максимова, П.В. Николаев

Элементы индикации являются неотъемлемой частью информационных комплексов. Для контроля параметров при производстве, а также для разработки новых образцов индикаторной техники необходимо изучать новые материалы, конструкции, их характеристики и параметры. Данная задача требует комплексного подхода. Сотрудниками Ульяновского государственного технического университета совместно с коллегами из Ульяновского института гражданской авиации были исследованы алгоритмы, методы и средства измерения параметров структур тонкоплёночных электролюминесцентных устройств. Результатом проделанной работы стал проект комплекса автоматизированного тестирования тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов.

Ключевые слова: *тонкоплёночный индикатор, яркость, автоматизация, измерения, электролюминесценция, тонкие плёнки.*

Введение

Повышение качества передаваемого через дисплеи изображения, оптимизация пользовательских, технологических и экономических параметров индикаторов является неотъемлемой частью прогресса. В целом

индикаторные устройства делятся на два вида – дисплеи широкого применения и специального назначения. В области устройств широкого применения лидируют жидкокристаллические дисплеи, которые постепенно вытесняются OLED моделями. К конструкциям специального назначения предъявляются жёсткие требования по параметрам и эксплуатационным характеристикам. В этом плане особый интерес представляют тонкоплёночные электролюминесцентные индикаторы (ТПЭЛИ).

ТПЭЛИ обладают высокими электрическими и светотехническими показателями, а также имеют необходимую радиационную стойкость и надёжность. Но они имеют низкую разрешающую способность, что делает ТПЭЛИ устройствами сугубо специализированного применения на сегодняшний день. Также существенным недостатком тонкоплёночных индикаторов является необходимость использования переменного напряжения с большой амплитудой для люминесценции, но это частично компенсируется тем, что на сегодняшний день разработаны инверторы переменного напряжения, превращающие низковольтный постоянный сигнал в переменный с большой амплитудой [1], [2].

Основные аспекты их развития связаны с решением проблемы низкой резوليционной способности, а также с понижением амплитуды питающего напряжения. Процесс изучения параметров материалов и структур тонкоплёночных устройств является комплексным, трудоёмким, требующим больших временных затрат. Следовательно, разработка автоматизированных систем контроля и диагностики функционирования тонкоплёночных электролюминесцентных элементов в индикаторных устройствах является актуальной задачей, т.к. позволяет значительно ускорить поиск лучших материалов, создание оптимальных вариантов конструкций с необходимыми параметрами.

1 Основные аспекты комплексного подхода к решению задач автоматизации процесса тестирования структур тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов

Разработка системы автоматизированного измерения параметров ТПЭЛИ призвана решить следующие задачи:

1. Снижение трудоёмкости
2. Уменьшение временных затрат
3. Обеспечение высокой точности измерений
4. Достижение необходимого качества эксперимента
5. Универсальность, гибкость процесса измерения с возможностью быстрой адаптации к новым задачам по контролю параметров ТПЭЛИ
6. Создание наиболее полных моделей индикаторных устройств
7. Достижение научных результатов, которые невозможно получить без автоматизированной системы измерений
8. Максимальное исключение человеческого фактора и сопутствующих ему проблем из процесса измерения

Ранее были созданы системы автоматизированного проектирования средств индикации, программы расчёта параметров конструкций ТПЭЛИ и установлены основные требования к системам технологического контроля в производстве [3].

В результате научно-исследовательских работ в области проектирования тонкоплёночных индикаторов были определены основные этапы этого процесса:

1. Составление технического задания
2. Выбор состава и организации структуры индикатора
3. Определение и расчёт электрических и конструктивных параметров элементов
4. Внесение необходимых поправок и конечная оценка проекта

Учитывая всё вышеизложенное можно определить основные требования к создаваемой системе автоматизированного измерения:

1. Простота в использовании и обучении пользователей
2. Высокая точность результатов и возможность их представления в любом формате (график, таблица, т.д.)
3. Высокая скорость проведения эксперимента
4. Возможность проведения эксперимента с использованием натуральных образцов ТПЭЛИ
5. Гибкость, универсальность системы измерения с возможностью быстрой адаптации к новым задачам
6. Надёжность
7. Возможность формирования и обмена базами данных (БД) результатов и параметров экспериментов
8. Способность работы в кооперативном режиме по сети Internet
9. Прямое взаимодействие с системами автоматизированного проектирования ТПЭЛИ
10. Возможность дальнейшего расширения функционала системы для работы не только с тонкоплёночными, но и с другими видами индикаторов
11. Модульность конструкции системы, возможность расширения/уменьшения функционала системы путём добавления/изъятия модулей и взаимозаменяемость самих модулей

2 Параметры тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов как основа формирования состава комплекса автоматизированного тестирования

Для создания программно-аппаратного комплекса тестирования ТПЭЛИ необходимо определить основные параметры индикаторов, создать алгоритм их измерения, обеспечить реализацию принципов автоматизации.

Тонкоплёночная электролюминесцентная конструкция представлена на рисунке 1, где 1 – стеклянная подложка, 2 – прозрачный электрод, 3 – диэлектрический слой, 4 – люминофор, 5 – диэлектрический слой, 6 – металл.

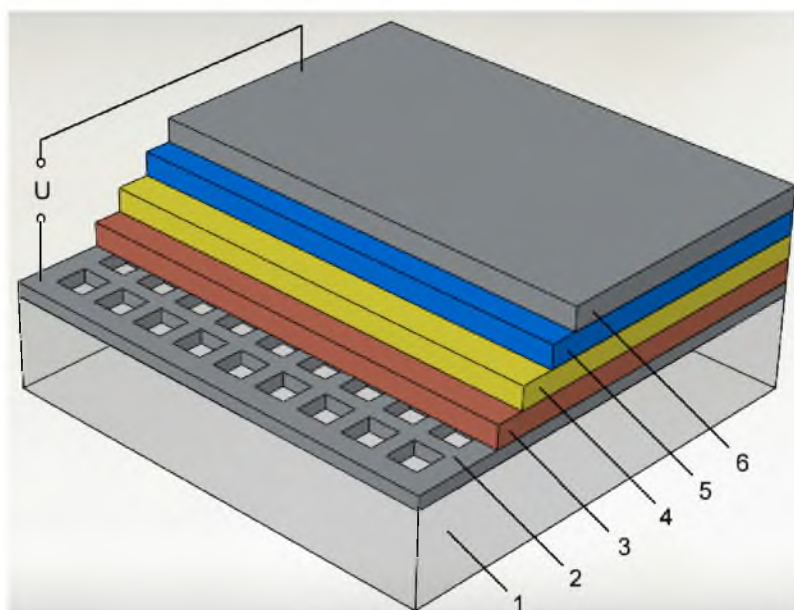


Рис.1. Структура ТПЭЛИ

Диэлектрики ограничивают заряд, проходящий через люминофор в рабочих режимах индикаторного устройства. Изоляционные слои необходимы ввиду того, что электролюминесценция в тонких слоях сульфидов цинка и иных материалов связана с электрическим пробоем полупроводников.

Люминофор отделён от электродов двумя слоями диэлектриков, что позволяет представлять ТПЭЛИ как электролюминесцентный конденсатор.

Вольт – яркостная характеристика имеет пороговый характер, при достижении питающим напряжением определённого (порогового) значения происходит резкое возрастание яркости ТПЭЛИ.

Значение порогового напряжения зависит в основном от свойств материала люминофора: пороговой напряженности электрического поля, величины и соотношения ёмкостей люминесцентного и диэлектрического слоев[5], [6], [7].

Основными параметрами структур ТПЭЛИ являются: рабочее, пороговое и максимально допустимое напряжение, ток, рассеиваемая мощность, яркость и цвет свечения, длительность послесвечения, эффективность выхода излучения, контрастность изображения, сочетание цветов свечения, световая отдача, время возрастания яркости и её спада, ёмкости диэлектрических слоёв и структуры в целом, электрическая прочность диэлектриков и структуры в целом [4], [8], [9].

На рисунке 2 представлен состав комплекса автоматизированного измерения параметров. Ядром комплекса является персональный компьютер. Это позволяет обеспечить выполнение требований рассмотренных в пункте 1 данной статьи. Для удобства управления и наиболее полного обеспечения автоматизации источником питания тонкоплёночного электролюминесцентного элемента выбран генератор, управляемый через

USB – интерфейс с персонального компьютера. В случае нехватки значе- ний величин выходных параметров к генератору может быть подключён усилитель сигнала. Тонкоплёночный электролюминесцентный элемент устанавливается в специальное крепление, которое помещается в затем- нённый короб. Таким образом, персональный компьютер и генератор яв- ляются основой комплекса автоматизированного измерения.

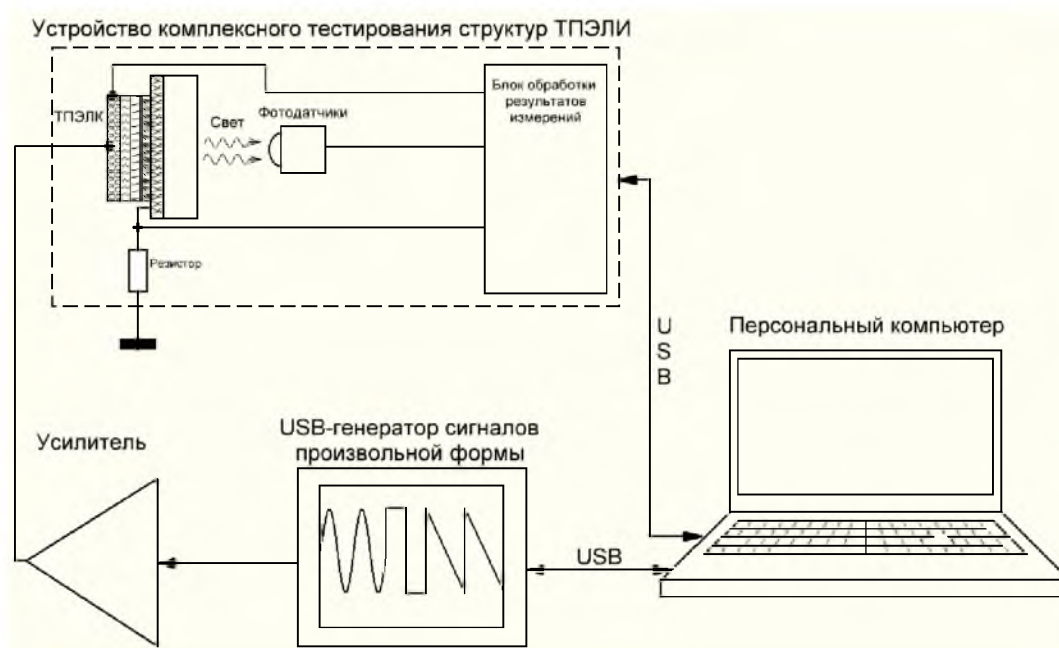


Рис.2. Структура измерительного комплекса

Устройство обработки результатов представляет собой неосновной, сменяемый модуль. Его выбор зависит от требований того какие парамет- ры требуется контролировать, ограничений на них и стоимости измери- тельного комплекса.

3 Автоматизация обработки результатов эксперимента на уровне программного обеспечения

Для создания программно-аппаратного комплекса автоматизирован- ного измерения параметров тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов необходимо определить методы обработки, хранения и пре- образования информации о результатах эксперимента на уровне про- граммного обеспечения.

Был проведён анализ методики измерения светотехнических пара- метров ТПЭЛИ и определены основные аспекты автоматизации процесса измерения, которые реализуются посредством программного обеспечения (ПО):

1. Адаптация ПО к аппаратному обеспечению системы измерений, рассмотренному в пункте 2
2. Интуитивно понятный интерфейс для взаимодействия с пользова- телем
3. Надёжность

4. Высокая точность результатов и возможность их представления в любом формате (график, таблица, т.д.)
5. Высокая скорость процесса измерения
6. Универсальность и быстрая адаптация к новым задачам
7. Возможность формирования и обмена базами данных результатов и параметров экспериментов
8. Способность работы в кооперативном режиме по сети Internet
9. Прямое взаимодействие с ПО систем автоматизированного проектирования ТПЭЛИ [10]
10. Возможность дальнейшего расширения функционала для экспериментов не только с тонкоплёночными, но и с другими видами индикаторов
11. Способность работы с различными измерительными и генерирующими устройствами через редактируемую базу данных драйверов устройств, а также возможность загрузки драйверов с сайта производителя через Internet.

Структура программного обеспечения комплекса автоматизированного измерения параметров ТПЭЛИ представлена на рисунке 3.

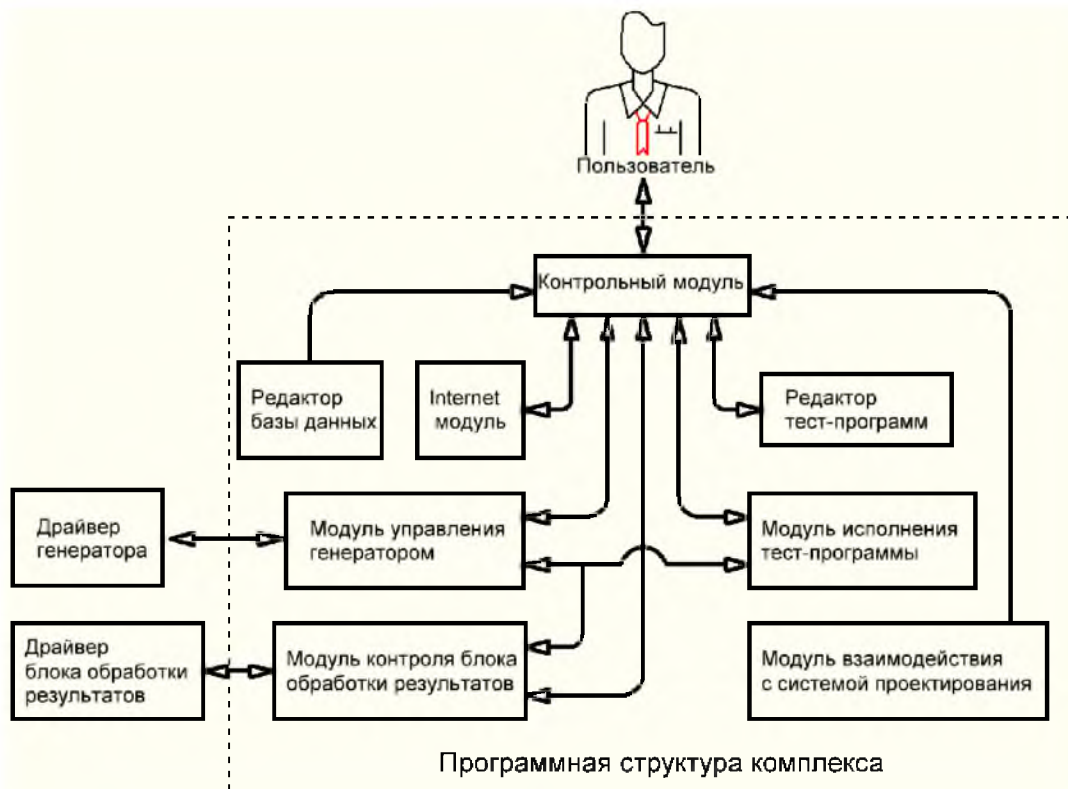


Рис.3. Структура ПО

Принцип работы ПО системы измерения основан на использовании тест-программ. Она представляет собой набор команд управления и взаимодействия с генератором, блоком обработки результатов. Тест-программа выполняется с помощью одноимённого модуля. Каждый тест направлен на решение определённых задач, например, определение ярко-

сти индикатора, нахождение порогового напряжения и т.д. Тест-программа считывает данные с блока обработки результатов и отправляет их на контрольный модуль. Для выполнения требования к быстрой адаптации к новым решаемым задачам программа тестирования может быть отредактирована, скомпилирована и вновь отправлена на исполнительный модуль.

Пользователь управляет измерительным комплексом через модуль контроля. С его помощью оператор может редактировать и создавать тест-программы, пользоваться генератором и блоком обработки результатов, формировать БД, выходить в Internet и взаимодействовать с системами автоматизированного проектирования ТПЭЛИ.

Редактор тест-программ позволяет, как править уже имеющиеся тесты, так и создавать новые. В его функции также входит проверка программы на наличие ошибок, компиляция в исполняемый файл, который пользователь передаёт на исполнение в соответствующий модуль.

Блоки управления устройством обработки результатов и генератором представляют собой интерфейс для взаимодействия этих устройств с оператором, являются промежуточным звеном между драйвером устройства и пользователем.

Редактор баз данных отвечает за формирование, хранение, редактирование БД с результатами и условиями эксперимента по измерению параметров ТПЭЛИ.

Internet-модуль предназначен для кооперации комплекса автоматизированного измерения параметров тонкоплёночных индикаторов с аналогичным ПО через сетевые протоколы. Это необходимо для построения измерительной сети из нескольких комплексов измерения, а также систем автоматизированного проектирования (через соответствующий модуль). Данное решение позволяет значительно оптимизировать процесс создания и исследования индикаторов от стадии теоретических расчётов до проведения экспериментов с конкретной физической моделью. Этот принцип особенно важен, если производство ТПЭЛИ географически удалено от разработчиков.

Заключение

Проведённые исследования в области автоматизации процессов измерения параметров тонкоплёночных электролюминесцентных элементов позволяют выделить следующие результаты:

1. Определены основные задачи для системы автоматизированного измерения
2. Обозначены этапы процесса проектирования тонкоплёночных индикаторов
3. Выявлены основные аспекты создания автоматизированного комплекса измерения
4. Выработаны подходы к разработке программного обеспечения для данной системы

Изложенные в данной статье идеи позволяют сформулировать техническое задание на разработку комплекса автоматизированного измерения параметров тонкоплёночных электролюминесцентных элементов, а также его составных частей и программного обеспечения.

Список использованной литературы:

1. Самохвалов М.К. Элементы и устройства оптоэлектроники - Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 125 с.
2. Гурин Н.Т., Сабитов О.Ю. Физика и техника пленочных электролюминесцентных излучателей переменного тока – М.: Лань, 2017 – 434 с.
3. Николаев П.В., Максимова О.В., Евсевичев Д.А. Разработка методики автоматизации проектирования технологических процессов производства тонкоплёночных электролюминесцентных индикаторов. // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014. Материалы международной научно-технической конференции. Т.2 – 2014 – С. 63 – 65.
4. Гусев А.И., Самохвалов М.К. Электрические характеристики тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов – Ульяновск: УлГТУ, 2006 – 125 с.
5. Samokhvalov M.K., Davydov R.R., Khadiullin É.I. Determination of the impact excitation cross section for luminophor activators using voltage - luminance characteristics of thin-film electroluminescent structures // Technical Physics Letters. 2001. T. 27. № 4. С. 341-343.
6. Samokhvalov M.K., Davydov R.R. Determination of the parameters of phosphor activators in thin-film electroluminescent capacitor structures // Technical Physics Letters. 2002. T. 28. № 12. С. 1049-1051.
7. Samokhvalov M.K., Takhtenkova M.O. Brightness-voltage characteristics of ZNS:MN luminescent films // Semiconductors. 2010. T. 44. № 13. С. 1634-1636.
8. Zabudskiĭ E.E., Samokhvalov M.K. Simulation of electrical characteristics of thin-film electroluminescent displays // Russian Microelectronics. 1999. T. 28. № 2. С. 97-104.
9. Zabudskiĭ E.E., Samokhvalov M.K. Modeling of the time characteristics of luminance in thin-film electroluminescent structures // Technical Physics Letters. 2000. T. 26. № 1. С. 29-30.
10. Evsevicev D.A., Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. The automated system of technological preparation of production of thin-film electroluminescent indicator devices – TFEL DDS // Automation and Remote Control. 2016. T. 77. № 6. С. 1093-1098.

Построение математической вероятностной модели эксплуатации авиационной техники

С.В. Молокова, В.Д. Фомина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье приводится построение математической вероятностной модели эксплуатации авиационной техники, позволяющей определить вероятность нахождения изделия авиационной техники, как сложной технической системы, в состоянии устранения неисправностей с различной степенью сложности отказов.

Ключевые слова: эксплуатация авиационной техники, отказ авиационной техники; интенсивность потока заявок, надежность изделий авиационной техники, уравнения Колмогорова.

Актуальность темы и постановка задачи

На стадии эксплуатации авиационной техники проявляются технико-экономические последствия низкой надежности, приводящие к материальным потерям от ущерба и простоя изделий авиационной техники, затратам на устранение отказов и приобретение запасных частей. Для поддержания надежности изделий авиационной техники на требуемом уровне необходимо проводить прогнозирование надежности на всех этапах жизненного цикла. В связи с этим актуальной является задача построения математической вероятностной модели эксплуатации авиационной техники, позволяющей определить вероятность нахождения изделия авиационной техники, как сложной технической системы, в состоянии устранения неисправностей с различной степенью сложности отказов.

Современную авиационную технику можно представить как сложную техническую систему, состоящую из определенного множества подсистем. Каждая и подсистем может находиться в одном из определенных фиксированных состояний:

- S_0 – система исправна;
- S_i – система находится в нерабочем состоянии, из-за отказа одной из i подсистем;
- S_d – система находится в нерабочем состоянии диагностирования и устранения неисправностей.

Нахождение подсистемы в том или ином состоянии количественно оценивается соответствующей вероятностью. Переходы сложной технической системы из одного состояния в другие можно рассматриваться в виде процесса с фиксированными дискретными положениями и непре-

рывным временем переходов [1]. Нахождение вероятностей различных состояний системы [2], обусловленных интенсивностью потока заявок λ на ремонт и

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{01}(t)p_0(t) - \mu_{1д}p_1(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= \lambda_{02}(t)p_0(t) - \mu_{2д}p_2(t) \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dp_m(t)}{dt} &= \lambda_{0m}(t)p_0(t) - \mu_{mд}p_m(t) \\ \frac{dp_0(t)}{dt} &= \mu_{10}(t)p_1(t) + \mu_{20}(t)p_2(t) + \mu_{m0}(t)p_m(t) - \sum_{i=0}^m \lambda_{0i}(t)p_0(t) \\ \frac{dp_I(t)}{dt} &= \mu_{дI}(t)p_д(t) + \mu_{I0}(t)p_I(t) \\ \frac{dp_{II}(t)}{dt} &= \mu_{дII}(t)p_д(t) + \mu_{II0}(t)p_{II}(t) \\ \frac{dp_{III}(t)}{dt} &= \mu_{дIII}(t)p_д(t) + \mu_{III0}(t)p_{III}(t) \\ \frac{dp_д(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^m \lambda_{ид}(t)p_i(t) + \mu_{дI}(t)p_I(t) - \mu_{дII}p_д(t) - \mu_{дIII}p_д(t) \end{aligned} \right.$$

устранение отказов μ , определено для установившегося режима, близкого к стационарному.

Цель и задачи исследования: построить математическую модель эксплуатации авиационной техники как сложной технической системы для режима эксплуатации близкого к стационарному, т.е. характеристики системы не зависят от времени.

Методы и результаты исследований

Для решения поставленной задачи исследуемую техническую систему представим как m подсистем (узлы, агрегаты, механизмы, детали).

Все отказы разделим на три группы сложности, на каждую из которых установлены нормы затрат времени и труда на устранение отказов.

I группа сложности – отказы, устранение которых не требуют разборки агрегата.

II группа – более сложные отказы, устранение которых требует разборку или замену агрегата.

III группа отказы, устранение которых требует демонтаж агрегатов или полную замену агрегата (отказы базовых деталей).

Для расчета интенсивностей переходов μ_{ij} используем соотношение [1] $\mu_{ij} = (T_i)^{-1}$, где T_i – среднее время проведения i -й операции по восстановлению системы после отказа. Примем $\mu_{ij} = const$.

Составим систему уравнений Колмогорова из $m+5$ уравнений, следуя правилам составления уравнений для блуждающего множества состояний [2]:

Так возможные состояния изделия авиационной техники статистически независимые события, то для полной группы таких событий в любой момент времени существует нормировочное условие в виде суммы:

$$\sum_{i=0}^m p_i(t) + p_D(t) + p_I(t) + p_{II}(t) + p_{III}(t) = 1 \quad (2)$$

где $p_0(t)$ – вероятность, что система исправна и работает;

$p_1(t), p_2(t), \dots, p_m(t)$ – вероятность, что система неисправна по причине отказа $1, 2, \dots, m$ подсистемы соответственно;

$p_D(t)$ – вероятность нахождения системы в состоянии диагностирования группы сложности отказа;

$p_I(t), p_{II}(t), p_{III}(t)$ – вероятность нахождения системы в состоянии устранения I, II, III группы сложности отказов соответственно;

$\lambda_{ij}(t)$ – интенсивности переходов системы в различные состояния, связанные с отказами подсистем;

$\mu_{ij}(t)$ – параметр обслуживания, характеризующий потоки событий связанные с диагностированием и устранением отказов.

Описание случайного процесса перехода в различные состояния может быть осуществлено на основе определения вероятностей состояния, которые в общем случае являются функциями времени:

$$p_1(t), p_2(t), \dots, p_m(t), p_I(t), p_{II}(t), p_{III}(t).$$

Для решения системы линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (1), весь период времени T разобьем на элементарные промежутки времени Δt и принимаем, что для каждого участка времени t_i интенсивность переходов $\lambda_{ij}(t)$ будет постоянна.

Тогда решение системы дифференциальных уравнений для элементарного промежутка времени может быть заменено решением системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{01} p_0 = \mu_{1D} p_1 \\ \lambda_{02} p_0 = \mu_{2D} p_2 \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_{0m} p_0 = \mu_{mD} + I p_m \\ \mu_{I0} p_I + \mu_{III0} p_{III} = \sum_{i=1}^m \lambda_{0i} p_0 \\ \mu_{DI} p_D = \mu_{I0} p_I \\ \mu_{DII} p_D = \mu_{II0} p_I \\ \mu_{DIII} p_D = \mu_{III0} p_I \\ \mu_{DI} p_D + \mu_{DII} p_D + \mu_{DIII} p_D = \sum_{i=1}^m \lambda_{iD} p_I \end{array} \right.$$

Эти уравнения системы могут быть дополнены нормировочным условием (2). Решение системы выполним методом подстановок. Для этого вероятности всех состояний выразим через p_0 :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= p_0 \frac{\lambda_{01}}{\mu_{1Д}}; \quad p_2 = p_0 \frac{\lambda_{02}}{\mu_{2Д}}; \dots; \quad p_m = p_0 \frac{\lambda_{0m}}{\mu_{mД}} \\
 p_{Д} &= p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \\
 p_{I} &= p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \frac{\mu_{ДI}}{\mu_{I0}} \\
 p_{II} &= p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \frac{\mu_{ДII}}{\mu_{II0}} \\
 p_{III} &= p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \frac{\mu_{ДIII}}{\mu_{III0}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Решим систему подставляя в нормировочное условие значение всех вероятностей выраженных через p_0 :

$$\begin{aligned}
 p_0 + p_0 \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{1Д}} + p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} + p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \cdot \frac{\mu_{ДI}}{\mu_{I0}} + \\
 p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \cdot \frac{\mu_{ДII}}{\mu_{II0}} + p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \cdot \frac{\mu_{ДIII}}{\mu_{III0}} = 1.
 \end{aligned}$$

Или:

$$p_0 + p_0 \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{1Д}} + p_0 \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \cdot \left(\frac{\mu_{ДI}}{\mu_{I0}} + \frac{\mu_{ДII}}{\mu_{II0}} + \frac{\mu_{ДIII}}{\mu_{III0}} \right) = 1.$$

Решая полученное уравнение относительно p_0 получим:

$$p_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{1Д}} + \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{iД} \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{iД}}}{\mu_{ДI} + \mu_{ДII} + \mu_{ДIII}} \cdot \left(\frac{\mu_{ДI}}{\mu_{I0}} + \frac{\mu_{ДII}}{\mu_{II0}} + \frac{\mu_{ДIII}}{\mu_{III0}} \right) \right]^{-1}.$$

Оценка параметров потоков отказов и восстановления производится по опытным данным. По ним же определяется, какому закону распределения соответствуют эти данные.

Соответственно отыскав p_0 , по формулам (3) определяем остальные вероятности для любого фиксированного момента времени $t_1 \ t_2 \dots t_n$. В результате получаем матрицу размером $n \times (m+5)$ определенных вероятностей состояний для сложной технической системы разбитой на m подсистем в определенные моменты времени.

$$|t_1 \ t_2 \dots t_n| \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \\ p_{01} & p_{02} & \dots & p_{0n} \\ p_{I1} & p_{I2} & \dots & p_{In} \\ p_{II1} & p_{II1} & \dots & p_{II1} \\ p_{III1} & p_{III1} & \dots & p_{III1} \\ p_{Д1} & p_{Д2} & \dots & p_{Д3} \\ & & \dots & \end{vmatrix}$$

Для определения вероятности для промежутка времени, которое входит в отрезок $t_1 \ t_2 \dots t_n$ необходимо построить приближающую функцию по исходной информации в таблице. Для этого производим интерполяцию с помощью многочлена Лагранжа [3]:

Получаем математическую модель различных состояний системы в общем случае состоящей из m подсистем изменяющуюся во времени путем решения системы дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. При решении конкретных задач, для исчерпывающего представления о точности окончательного результата необходим полный анализ погрешностей. Обычно в практике используются согласия Колмогорова или Пирсона, широко используемые при анализе надежности [5].

Анализ качества горячештампованных днищ

Г.А. Орлов¹, Ю.Д. Горбунова¹, В.В. Котов^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

² Представительство компании ESI Group в Российской Федерации

В статье развивается подход к оценке качества продукции с использованием комплексных показателей качества. Рассматриваемый подход применен к оценке качества горячештампованных эллиптических днищ. Выделены и нормированы 17 единичных свойств этой продукции. Проведено сравнение средневзвешенных арифметических и геометрических комплексных показателей. Показано, что эти показатели имеют близкие значения, а в целом данная продукция имеет высокое качество.

Ключевые слова: горячая листовая штамповка, эллиптические днища, квалитетрия, комплексная оценка качества, показатели качества.

Перспективным является применение комплексного подхода к оценке качества металлопродукции, основанного на принципах квалитетрии [1]. Применение комплексных показателей качества позволяет более объективно оценивать и сравнивать качество продукции по совокупности показателей. Комплексная оценка качества металлопроката проведена, например, в работах [2, 3] и многих других. Комплексная оценка качества продукции по средневзвешенным показателям особо эффективна в тех случаях, когда затруднительно или невозможно определить определяющий показатель качества (по ГОСТ 15467-79) и его функциональную зависимость от исходных показателей качества. Обычно используют средневзвешенный арифметический или средневзвешенный геометрический показатель качества. В настоящей статье рассматриваемые подходы применены к оценке качества горячештампованных эллиптических днищ, изготовленных на АО «Уралхиммаш».

Объектом данного исследования является горячештампованное эллиптическое днище с базовыми размерами $\varnothing 4000 \times 22$ мм (см. рисунок 1), выпускаемое по ГОСТ 6533-78, марка стали 20К-18-200-Н-УЗК по ГОСТ 5520-79. Днище изготовлено из проката листового ПН-0-22 по ГОСТ 19903-2015, назначение – применяться в сосудах и аппаратах стальных сварных, изготавливаемых по ГОСТ Р 52630-2012 [4-7].

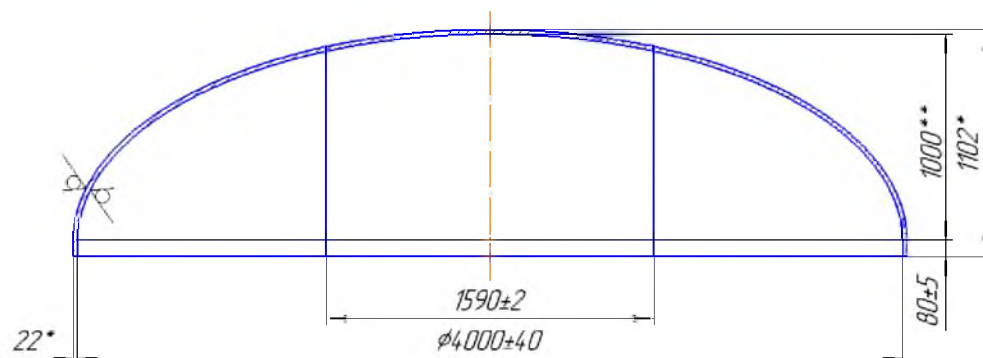


Рис. 1. Эллиптическое днище $\phi 4000 \times 22$ мм

В соответствии с процедурой комплексной оценки качества [1] по ГОСТ 22851-77 выбрали номенклатуру показателей качества: показатели назначения и технологичности. Далее в соответствии с методологией комплексной оценки качества построили иерархическую структуру показателей качества («дерево свойств») и определили 17 единичных показателей качества.

Нормирование единичных показателей качества провели в интервале (0...1), соответствующем разбросу допускаемых значений свойств [2]. При этом значение «0» соответствует браку, а «1» – отличному качеству. Затем по определенным правилам вычисляется значение комплексного показателя качества, по которому производится оценка качества продукции, полученной, например, по альтернативным технологическим процессам.

Для выбранных единичных показателей качества по соответствующим ГОСТам определены минимальные x_{min} и максимальные x_{max} их значения; относительно них определили эталонные $x_э$ и браковочные $x_{бр}$ значения свойств в натуральном выражении (табл. 1).

Нормирование показателей качества провели по следующим формулам:

- Если увеличение значения свойства приводит к повышению качества (например, коэффициент использования металла), $x_э > x_{бр}$:

$$k = \frac{x_{факт} - x_{бр}}{x_э - x_{бр}}. \quad (1)$$

- При расчете показателей точности по величине допускаемых отклонений (например, точность диаметра днища, высота цилиндрической части днища - борта) можно принять $x_э = 0$, и формулу (1) использовать в виде:

$$k = 1 - \frac{x_{факт}}{x_{бр}}. \quad (2)$$

- Если увеличение значения свойства приводит к понижению качества (например, глубина поверхностных дефектов, все показатели точности кроме диаметра днища, утонение стенки днища), $x_э < x_{бр}$:

$$k = \frac{x_{бр} - x_{факт}}{x_{бр} - x_э}. \quad (3)$$

Коэффициент использования металла (согласно ГОСТ 18970-84): $K_{и} = \frac{M_{д}}{H}$, где $M_{д}$ - масса детали, H - норма расхода металла на одну деталь. Коэффициент использования металла для данного днища, исходя из размеров листа, закупленного для изготовления днища, равен 0,81, и соответственно данное значение является эталонным. Браковочное значение принимаем 0,5, нормированное значение вычисляем по формуле (1).

Допускаемые интервалы изменения выбранных свойств, их эталонные и браковочные значения, а также формулы для их нормирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Перечень единичных свойств для оценки качества горячештампованного эллиптического днища $\varnothing 4000 \times 22$ мм

N	Свойство	x_{min}	x_{max}	$x_э$	$x_{бр}$	Формула для расчета k_i
1	Отклонение внутреннего диаметра $\Delta D_{в}$, мм	0	40	0	41	$k_1 = 1 - \frac{x_{факт}}{41}$
2	Относительная овальность, %	0	1	0	1,1	$k_2 = 1 - \frac{x_{факт}}{1,1}$
3	Отклонение высоты борта Δh , мм	0	5	0	6	$k_3 = 1 - \frac{x_{факт}}{6}$
4	Высота гофры на цилиндрической части, мм	0	2	0	3	$k_4 = 1 - \frac{x_{факт}}{3}$
5	Высота отдельной вогнутости или выпуклости на эллипсоидной части T , мм	0	4	0	5	$k_5 = 1 - \frac{x_{факт}}{5}$
6	Наклон цилиндрической части Δm , мм	0	5	0	6	$k_6 = 1 - \frac{x_{факт}}{6}$
7	Зазор между шаблоном и эллипсоидной частью Δr , мм	0	16	0	17	$k_7 = 1 - \frac{x_{факт}}{17}$
8	Зазор между шаблоном и эллипсоидной частью ΔR , мм	0	41	0	42	$k_8 = 1 - \frac{x_{факт}}{42}$
9	Утонение в зоне отбортовки, % от исходной толщины заготовки	0	15	0	15,1	$k_9 = 1 - \frac{x_{факт}}{15,1}$
10	Предел текучести σ_T при температуре +20°C, Н/мм ²	235	-	-	230	Если $x_{факт} \leq x_{бр}$, то $k_{10} = 0$; Если $x_{факт} > x_{бр}$, то $k_{10} = 1$

Продолжение таблицы 1

11	Временное сопротивление σ_B при температуре +20°C, Н/мм ²	400	510	-	$x_{бр1} = 395$ $x_{бр2} = 515$	Если $x_{факт} \leq x_{бр1}$ или $x_{факт} \geq x_{бр2}$, то $k_{11} = 0$; если $x_{факт} > x_{бр1}$ или $x_{факт} < x_{бр2}$, то $k_{11} = 1$
12	Относительное удлинение δ_5 , при температуре +20°C, %	24	-	-	23,5	Если $x_{факт} \leq x_{бр}$, то $k_{12} = 0$; если $x_{факт} > x_{бр}$, то $k_{12} = 1$
13	Ударная вязкость KCU при температуре +20°C, Дж/см ²	54	-	-	53	Если $x_{факт} \leq x_{бр}$, то $k_{13} = 0$; Если $x_{факт} > x_{бр}$, то $k_{13} = 1$
14	Ударная вязкость KCU после механического старения при температуре +20°C, Дж/см ²	24	-	-	23	Если $x_{факт} \leq x_{бр}$, то $k_{14} = 0$; Если $x_{факт} > x_{бр}$, то $k_{14} = 1$
15	Предел текучести σ_T при температуре +200°C, Н/мм ²	216	-	-	211	Если $x_{факт} \leq x_{бр}$, то $k_{15} = 0$; Если $x_{факт} > x_{бр}$, то $k_{15} = 1$
16	Глубина поверхностных дефектов, мм	0,8	0	0	0,9	$k_{16} = 1 - \frac{x_{факт}}{0,9}$
17	Коэффициент использования металла	-	0,81	0,81	0,5	$k_{17} = \frac{x_{факт} - 0,5}{0,31}$

Далее для вычисления комплексного показателя качества определили коэффициенты значимости (важности) единичных свойств экспертным методом по опросу 12 экспертов – специалистов в данной области по 10-балльной оценке важности выбранных свойств. Коэффициент значимости i -го свойства определили по формуле [1] $a_i = \frac{B_i}{\sum B_i}$, где B_i – средний балл для значимости i -го свойства; $\sum B_i$ – сумма средних баллов всех экспертов.

Для оценки качества двух представленных днищ рассчитали комплексный показатель качества продукции k_0 по формулам средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического для среднеарифметических значений единичных свойств [1].

Средневзвешенный арифметический комплексный показатель качества рассчитывается по известной формуле:

$$k_0 = \sum_{i=1}^{17} k_i \times a_i. \quad (5)$$

Средневзвешенный геометрический комплексный показатель качества рассчитывается по формуле:

$$k_0 = \prod_{i=1}^{17} k_i^{a_i}. \quad (6)$$

Расчеты по формулам (5), (6) показали, что средневзвешенный арифметический комплексный показатель качества днища №1 составляет $k_0 = 0,893$, днища №2 - $k_0 = 0,905$. Средневзвешенный геометрический комплексный показатель качества днища №1 составляет $k_0 = 0,883$, днища №2 - $k_0 = 0,896$.

Таким образом, оба подхода дали примерно одинаковые результаты, что говорит об их работоспособности и взаимозаменяемости. Рассчитанные комплексные показатели k_0 могут быть оценены по шкале Харрингтона [8], по которой значение показателя более 0,8 соответствует отличному качеству. Это свидетельствует о высоком технологическом уровне предприятия АО «Уралхиммаш».

Выводы.

Таким образом, примененный подход к оценке качества горячештампованных эллиптических днищ с помощью комплексных показателей качества позволил сделать вывод об отличном качестве данной продукции на АО «Уралхиммаш». Из анализа единичных свойств днищ выявлены определенные резервы повышения качества за счет совершенствования технологических режимов обработки днищ на всех стадиях.

Список использованной литературы:

1. Квалиметрия для всех: Учеб.пособие / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов. — М.: ИД ИнформЗнание, 2012. — 165 с.
2. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Металлургия, 1984. 152 с.
3. Стеблов А.Б. Комплексный показатель качества металлопроката и его применение // Литье и металлургия. 2017, № 1 (86). с. 97-102.
4. Любченко А.А. Горячая штамповка толстолистовых полых изделий. - Л.: Лениздат, 1967. 304 с.
5. Демин В.А. Горячая листовая штамповка днищ. //Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2002, №8. С. 16-19.
6. Степанов В.Г., Брук М.Б., Панкратов В.П., Клестов М.И. Штамповка элементов корпусных конструкций. – Ленинград.: Судостроение, 1972. 279 с.
7. Северденко В.П., Овчинников П.С., Розенберг С.Э. Брак в листовой штамповке. - Минск.: Наука и техника, 1973. 168 с.
8. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение, 1980. 304 с.

Перспективы электрификации современных летательных аппаратов

О.В. Парамонов, И.Н. Зотов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Приведены принципы реализации концепции полностью электрического самолёта и перспективы развития этого перспективного направления. Приведен обзор электрифицированных летательных аппаратов

Ключевые слова: *летательный аппарат, полностью электрический самолёт (ПЭС), более электрический самолет (БЭС), система электропитания, гидравлическая система.*

Развитие авиационной отрасли диктует не только разработку новых, но также постоянное улучшение и доработку уже имеющихся летательных аппаратов. В данной статье анализируется концепция полностью электрического летательного аппарата на основе зарубежных аналогов, перспективы его использования в будущем, а также опыт внедрения подобных технологий в нашей стране.

На данный момент в самолётах используют три вторичных энергетические системы: система электропитания, гидравлическая система, пневматическая система. Однако данный комплект бортовой системы не является эффективным в полной мере и требует затрат на его эксплуатацию. В этой связи одной из перспективных разработок является концепция самолёта с полностью электрифицированным оборудованием и с единой централизованной системой электропитания.

В концепции полностью электрического самолёта (ПЭС) предусмотрено, что для питания наиболее энергоёмких систем будет применяться мощный источник энергии для систем, которые ранее использовали для функционирования гидравлическую и пневматическую энергию. К таким системам можно отнести: систему управления аэродинамическими поверхностями и взлётно-посадочными устройствами самолёта, система кондиционирования воздуха, противообледенительную систему самолёта, систему запуска авиадвигателя.

Еще одним направлением разработки в концепции ПЭС, является создание малогабаритных, экономичных электроустановок для замены топливных двигателей а также прогрессивных средств вырабатывания электроэнергии (солнечных батарей, генераторов, химических или других эффективных и малогабаритных источников тока).

Причины создания самолётов с полностью электрифицированным оборудованием в настоящее время обусловлены:

- развитием силовой электроники и разработкой на их базе мощных полупроводниковых преобразовательных устройств и бесконтактной твердотельной коммутационной и защитной аппаратуры;
- разработкой новых магнитных материалов и созданием на их основе мощных источников электрической энергии и двигателей электромеханических приводов систем управления полётом, не уступающим по своим основным характеристикам гидро- и пневмоприводам;
- значительными успехами в области микроэлектроники и микропроцессорной техники, открывшими реальные перспективы внедрения цифровых систем управления электроэнергетическим комплексом [1].

Разработки ПЭС за рубежом начались в конце 1970-х годов по программе энергетически эффективного самолёта. [1]

В нашей стране так же проводились исследования концепции ПЭС и концепции более электрического самолёта. Данная работа показала, что наибольший эффект от повышения уровня электрификации следует ожидать на крупных пассажирских и транспортных самолётах, что хорошо согласовывалось с выводами аналогичных работ за рубежом. Ниже на рисунке 1 представлены основные системы электрифицированного гражданского самолёта [1].

Необходимо отметить, что в настоящее время наша страна активно работает в направлении «более электрифицированного самолёта». Замена всех видов энергии на борту самолёта на электрическую энергию должна, в конечном итоге, обеспечить улучшение аэродинамических характеристик самолёта, увеличение дальности полёта, снижение массы авиадвигателя и самолёта, улучшение режимов работы силовой установки, уменьшение расхода топлива и т.д.

При реализации ПЭС возможно получить:

- снижение потребления топлива – 8-12 %;
- снижение полной взлётной массы – 6-10 %;
- снижение прямых эксплуатационных расходов – 5-10 %;
- снижение стоимости жизненного цикла – 3-5 %;
- увеличение среднего налёта на отказ – 5-6 %;
- снижение времени технического обслуживания - 4-4,5 %.

В нашей стране с началом 1990-х годов работы по развитию концепции были практически свёрнуты. Это было связано, прежде всего, с переходным периодом и почти с отсутствием финансирования в научной сфере. Однако, после большого перерыва стали возобновляться работы по усовершенствованию концепции ПЭС. Исследования проводились в ЦАГИ, ОКБ «Родина», где был создан опытный образец автономного рулевого привода объёмного регулирования.

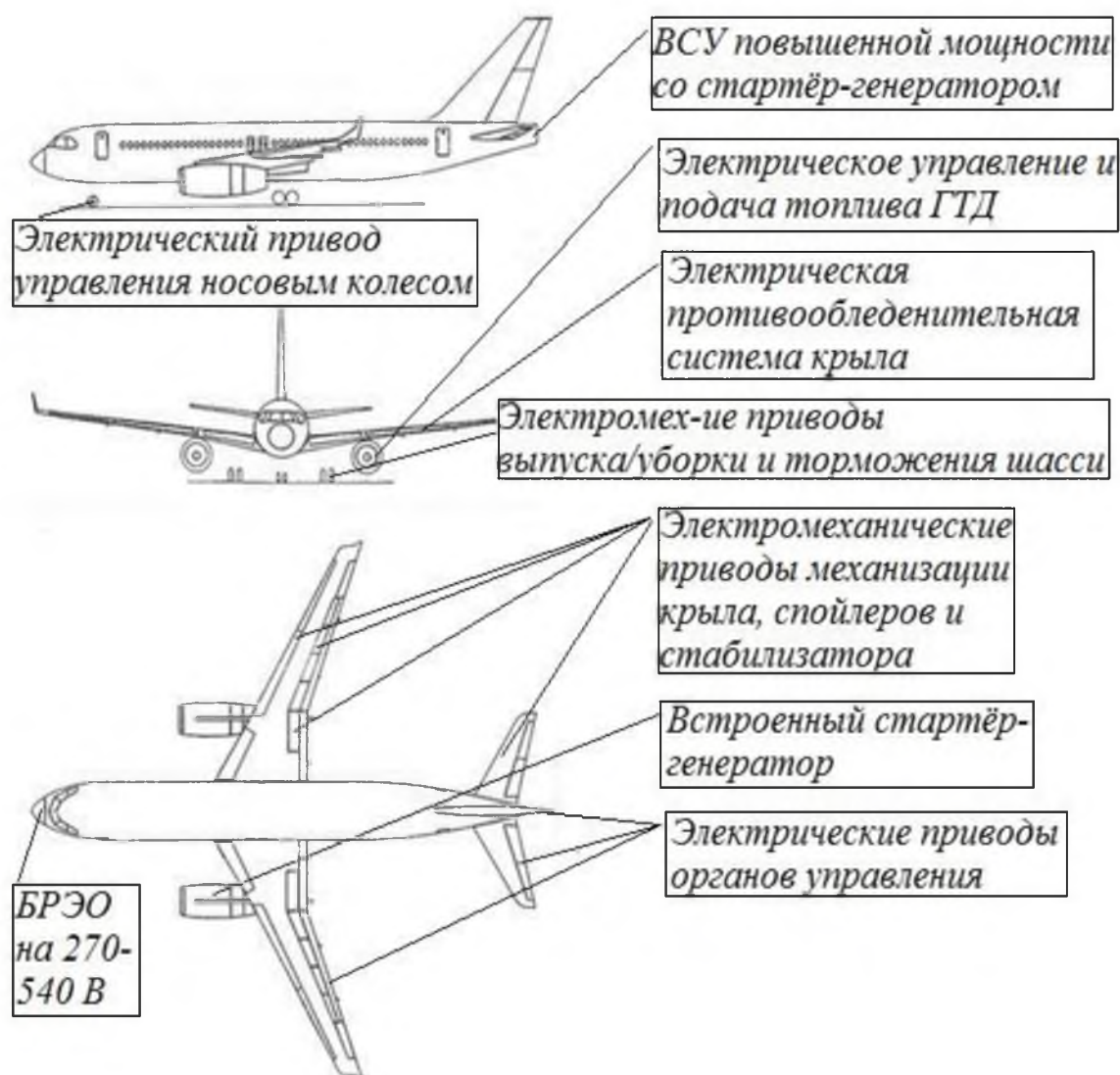


Рис. 1. Основные системы электрифицированного гражданского самолёта

В Центральном институте авиационного моторостроения был проведён комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание ГТД для «электрического» самолёта, в СНТК имени Н.Д. Кузнецова разрабатывается трёхвальный «электрический» ГТД, в ОАО «Авиадвигатель» проведена проработка конструкции электрифицированного ТРДД.

Преимущества «электрического» ГТД:

- не будет иметь коробки приводов. В электрической системе запуска авиадвигателя предполагается применение встроенного стартёр-генератора. Вспомогательная силовая установка при этом будет использоваться только для генерации электрической энергии:
- электрификация ГТД позволит уменьшить массу и мидель двигателя на 10-15 %, снизить теплонапряжённость топливной системы на 10-20⁰С:
- улучшение тактико-технических характеристик самолётов.

Недостатком электрификации ПЭС можно считать увеличение мощности источников энергии и системы электроснабжения и как следствие потребность в более мощных генераторах. Одной из энергоёмких самолётных систем является система кондиционирования воздуха (СКВ).

Однако исследования показали, что электрификация СКВ позволит обеспечить:

- снижение потерь мощности до 30 %;
- сокращение расхода топлива на 1-2 %.

Важным моментом в реализации концепции ПЭС является создание электромеханических приводов систем управления полётом. На данный момент в системах управления полётом повсеместно используются гидравлические приводы, получающие энергию для своего функционирования от централизованных гидросистем.

За счёт реализации ПЭС в ближайшее 5-7 лет вес силовой части системы управления полётом может быть снижен на 20 %, а через 10-15 лет на 40 %.

Однако внедрение электромеханических приводов для органов управления основными рулевыми поверхностями самолёта (руль высоты, руль направления, элероны) в настоящее время преждевременно. Это объясняется, прежде всего, относительно невысокой надёжностью механического редуктора привода, преобразующего вращательное движение вала электродвигателя в поступательное перемещение выходного звена привода.

Кроме того, пока ещё электромеханический привод с планетарным редуктором и шарико-винтовой передачей уступает обычному электрогидравлическому приводу по динамическим характеристикам.

Более высокими динамическими характеристиками, достаточными для использования в первичной системе управления полётом, обладают электрогидростатические приводы, являющиеся, по существу, электроприводами с «гидравлическим» редуктором.

Электрогидростатический привод представляет собой совокупность регулируемого бесконтактного двигателя постоянного тока и гидростатической передачи, выполненной на основе гидроцилиндра и нерегулируемого реверсивного насоса

Реализация концепций создания полностью электрических самолётов планомерно осуществляется в европейских странах. Как пример успешного проекта, который удалось разработать, можно привести Solar Impulse (Рис 2) – детище швейцарской компании. Данный самолёт использует исключительно энергию солнца. Солнечные батареи вырабатывают электроэнергию, которая используется для питания 4 электродвигателей и зарядки аккумуляторов. Принцип работы самолёта на солнечных батареях состоит в том, что днём он поднимается со скоростью в 35 км/час на максимальную высоту 9500 метров, получая энергию от 12000 фотогальванических элементов, которые расположены на крыльях самолёта размахом

65 метров. Это необходимо для того, чтобы солнечные батареи полностью зарядились, а затем самолёт опускается до высоты 1500 метров и совершает ночной полёт на этой высоте. [3]



Рис. 3. ПЭС «Solar Impulse»

Из ещё не реализованных проектов стоит выделить Electro E6. Инженеры из компаний EADCO GmbH и PC Aero объединили свои усилия для создания самого большого в мире электрического самолёта с солнечными батареями на крыльях. Данный самолёт рассчитан на 6 человек. По предварительным расчётам, Electro E6 на аккумуляторах сможет пролететь около 700 км. Инженеры планируют установить на крылья самолёта солнечные батареи, что должно значительно увеличить длительность полёта.



Рис. 2. Electro E6

Важная особенность данного самолёта – его абсолютная бесшумность, что стало возможным благодаря электродвигателю. Предполагаемая эксплуатационная скорость самолёта – около 220 км/ч, а максимальная – около 300 км/ч. Размах крыльев Electro E6 составит около 10 мет-

ров. Чтобы повысить КПД и снизить нагрузку на двигатель, планируется установить на крылья самолёта два дополнительных двигателя [4].

Из отечественных разработок можно выделить проект полностью электрического самолёта АВФ-32НС от компании «НаукаСофт». Данный самолёт предназначен для перевозки пассажиров 5 человек и груза с суммарной массой до 400 кг. Время автономного полёта без дозаправки 5 часов. Основным источником энергии на борту ПЭС будет батарея топливных элементов, работающих на запасенном на борту ПЭС водороде и кислороде, получаемом из окружающего воздуха. В качестве дополнительных источников энергии на борту также планируется использовать литиевые аккумуляторные батареи и солнечные батареи.



Рис.4. ПЭС «АВФ-32НС»

Предполагается, что данный самолёт станет первым российским пассажирским полностью электрическим самолётом [5].

Анализ разработок, проводимых ведущими мировыми компаниями в области создания электрических самолётов выявил ряд проблем, которые необходимо решить в процессе их проектирования:

- 1) Отсутствие методик комплексной сравнительной оценки ЛА (планер и силовая установка) вместе с оборудованием.
- 2) Отсутствие номенклатуры необходимых серийно выпускаемых устройств и агрегатов.
- 3) Отсутствие возможности комплексной оценки энергосистемы электрического самолёта. [2]

Закключение. На сегодняшний день электрификация летательных аппаратов не только существует в теории, но и успешно реализуется на практике. Решаются задачи связанные с комплексным подходом к проектированию энергосистем, применению компьютерных технологий для моделирования и проектирования новых летательных аппаратов, которые в конечном итоге приведут к появлению ПЭС.

Список использованной литературы:

1. «Полностью электрический самолёт: современное состояние и перспективы развития» статья, Сергей Воронович, Владимир Каргопольцев, Владимир Кутахов, «Авиа Панорама» 2009 г.

2. «Электрический самолёт: прошлое настоящее, будущее» статья, Сергей Халютин, «Авиа панорама» 2016 г.
3. Электронный ресурс: <http://www.aerokzn.ru/gl/batar.html>
4. Электронный ресурс: <https://novate.ru/blogs/220613/23267>
5. Электронный ресурс: <https://naukasoft.ru/dejatelnost/polnostju-ehlektricheskii-samolet-avf-32ns/>

УДК 629.7

Применение промышленных роботов в авиастроении

Н.В. Подрез, Т.В. Божеева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Данная статья посвящена обзору роботов в промышленности, авиастроении, а также использованию промышленных роботов при точной сборке узлов типа нервюра, панель, шпангоут и т.д.

Ключевые слова: *промышленный робот, робот-манипулятор, Airbus, технологический процесс, сверление, клепка, покраска, поточная линия.*

В эру высоких технологий роботы очень сильно влились в нашу жизнь. Они используются в кинематографе (например, фильм о Джеймсе Бонде «Умри, но не сейчас»), в развлекательных целях (парк развлечений и т.п.) и других областях. Но всю большую роль они играют во всех сферах промышленности.

Одна из причин, по которой роботы стали внедряться в производство – это то, что при выпуске крупной серии качественной продукции повышается качество продукции, снижаются издержки производства, а также уменьшается влияние вредных факторов на человека. Многие работы, такие как литье, сварка, покраска и др., вредны для здоровья человека, а промышленные роботы вполне способны выполнять данные функции, причем с высокой точностью. Поэтому гораздо выгоднее наличие высокоэффективных автоматических линий, чем содержание достаточно большого количества квалифицированного персонала.

Применение таких «умных» машин способствует эффективному решению трех важнейших проблем производства: повышение производительности труда; улучшение условий труда людей; оптимизация использования человеческих ресурсов.

Промышленные роботы стали активно внедряться в автомобильное производство из-за больших объемов типовых деталей, невысокой точно-

сти, по сравнению с самолетостроением, а также широкими возможностями применения (сварка, передача изделий, контроль и т.д.)



Рис. 1. Сверлильный робот Mtorres

Причины, из-за которых внедрение промышленных роботов в авиастроение затруднено, связано с тем, что эта сфера промышленности довольно консервативна как в России, так и за рубежом. Большая часть самолетов изготовлена более 10 лет назад с использованием устаревших технологий. Модернизация требует одобрения разработчиков, которое в свою очередь сопровождается большими проблемами. Но, тем не менее, промышленные роботы в данное время заняли определенную нишу в авиастроении. Например, при сверлении и клепке. Благодаря промышленным роботам теряется нужда в применении кондукторов, использовании многооперационных технологических процессов и большого количества высококвалифицированных рабочих, так как робот может выполнять множество операций (сверление, развертывание, зенковка) в один заход. Примером может служить промышленный робот Mtorres, выполняющий сверление и клепку при производстве Airbus A380 (см. рисунок 1).



Рис. 2. Покраска панели крыла Боинг 777

Также роботы применяются при контроле качества продукции. Например, они могут выполнять ультразвуковой контроль на наличие трещин в материале, либо проверять герметичность (см. рисунок 3).



Рис. 3. Проверка композитной носовой части фюзеляжа B787 Spirit Aero-Systems

Иркутский Авиационный завод (филиал ПАО «Корпорация «Иркут») с конца 90-х годов активно применяет цифровые технологии в конструировании и технологической подготовке производства. При запуске изделий Як-130 и МС-21 цифровизация всего жизненного цикла изделия была выполнена на 100%. Это позволило значительно сократить период выпуска изделия от идеи до первого опытного образца.

Современные цифровые технологии в авиастроении применяются на разных этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Например, на вышеупомянутом заводе используется промышленный робот, который может производить технологические операции «сверление отверстий» и «клепка поперечных швов». Он использует следующую технологию: в сборочном приспособлении собирается панель с помощью специальных болт-заклепок черного цвета (в дальнейшем эти болт-заклепки используются как база для ориентации робота). Затем собранную панель отправляют на участок робота, который выполняет операции «сверление» и «клепка». С помощью данной технологии значительно сокращается цикл производства, повышается точность, и уменьшаются затраты на изготовление.

В ИРНИТУ используется промышленный робот KUKA KR AGILUS SIXX (см. рисунок 4) для выполнения работ по роботизированному монтажу базово-фиксирующих элементов сборочной оснастки. Данный робот позволяет монтировать кронштейны рубильников и ложементов для небольших сборочных приспособлений (примерно 2х3 метра). Данный ме-

тод существенно сокращает цикл подготовки производства, а также выполнения ППР.



Рис. 4. Комплекс автоматизированного монтажа сборочной оснастки с использованием промышленного робота KUKA KR AGILUS SIXX

Также в ИРНИТУ используется промышленный KUKA R-2700 для обрезания кромки у деталей (см. рисунок 5). В качестве инструмента применяется электрический шпиндель COLOMBO серии RS300. Данный инструмент развивает большую частоту вращения, имеет малый вес (18 кг) и прост в управлении.



Рис. 5. Робот KUKA R-2700

По мнению авторов, если использовать робот KUKA KR AGILUS SIXX, инструмент COLOMBO серии RS300, то можно создать автоматизированную линию по разделке отверстий для узлов типа нервюра, панель, шпангоут и т.д. (см. рисунок 6).

Суть автоматизированной линии в следующем: робот будет перемещаться вдоль направляющих рельс от сборочного приспособления к сборочному приспособлению, выполняя сверление отверстий. По мере того как робот удаляется от своей первоначальной позиции вдоль оси X на обработанных узлах выполняются следующие операции согласно технологическому процессу.



Рис. 6. Схема автоматизированной линии

При внедрении данной технологии возможен ряд преимуществ:

- существенное сокращение цикла производства;
- повышение эффективности операции «сверления»;
- снижение себестоимости;
- отсутствие направляющих отверстий в деталях, так как робот будет использовать координаты расположения осей отверстий с электронной модели изделия.

Список использованной литературы:

1. Cheslavskaya A.A., Mironenko V.V., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Kotov V.V. Choosing an efficient method for forming parts by means of an engineering analysis performed with the use of a CAE system / Metallurgist. 2015. Т. 58. № 11-12. С. 1051-1059.
2. Lavrentyieva M., Govorkov A. Using a discrete product model to determine the design element junctures. MATEC Web of Conferences Сер. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017" 2017. С. 03003
3. Semyonov E.N., Sidorova A.V., Pashkov A.E., Belomestnykh A.S. Accuracy assessment of kuka kr210 r2700 extra industrial robot. International Journal of Engineering and Technology. 2015. Т. 16. № 1. С. 19.
4. Абибов А. Л. Технология самолетостроения/ А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов.—1982.— 551 с.
5. Бартухин А.Г., Иванов Ю.Л., Марьин Б.Н. и др.; Под ред. А.Г. Бартухина, Ю.Л. Иванова-М. Современные технологии авиастроения / Машиностроение, 1999.-832 с.
6. Беломестных А.С., Савилов А.В. Управление в автоматизированном производстве. Методические указания по выполнению лабораторных работ / Иркутск, 1997.

7. Гибкое автоматическое производство / под. ред. С.А. Майорова. М.: Машиностроение, 1985.
8. Лаврентьева М.В., Говорков А.С., Карлина Ю.И. Сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки высокоточного производства с использованием экспертной системы. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 4 (56). С. 50-56.
9. Лаврентьева М.В., Чимитов П.Е., Карлина Ю.И. Применение дискретной модели изделия при технологической подготовке производства / Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 43-47.
10. Однокурцев К.А. Разработка дискретной модели изделия при выборе состава баз сборочной оснастки в машиностроении. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иркутский государственный технический университет. Иркутск, 2010
11. Однокурцев К.А., Власевский А.А., Лукин П.А. Расчет перемещений приводов манипуляторов при использовании различных методов позиционирования. Труды МАИ. 2013. № 66. С. 15.
12. Однокурцев К.А., Лукин П.А. Средства автоматизированного монтажа сборочной оснастки в самолетостроении //Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор: А.В. Зедгенизов. 2013. С. 102-108.
13. Однокурцев К.А., Матвеев А.А. Монтаж сборочной оснастки с помощью РТК // Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 71-79.
14. Однокурцев К.А., Шудыкин К.Н. Выбор захватных устройств при автоматизированном монтаже сборочной оснастки. Молодежный вестник ИрГТУ. 2014. № 4. С. 1.
15. Основы автоматизации машиностроительного производства: / Е.Р. Ковальчук и др. М.: Высш. шк.,1999. 312 с.

УДК 629

Определение зависимости параметров γ' -фазы жаропрочного никелевого сплава от значений величин напряжений и температур

О.А. Ратенко

Московский государственный технический университет гражданской авиации, 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Проведен анализ факторов, влияющих на долговечность лопаток турбин газотурбинных двигателей. Определено влияние микроструктуры жаропрочных никелевых сплавов на механические свойства лопаток. Вы-

полнен анализ микроструктуры сплава лопатки, проработавшей в составе газотурбинного двигателя в течение 600 часов. Выявлено, что параметры частиц γ' -фазы жаропрочных никелевых сплавов напрямую зависят от значений напряжений и температур, действующих на материал во время эксплуатации. При этом величина среднего диаметра γ' -фазы повышается с увеличением значений температур и напряжений в то время, как объемная доля частиц γ' -фазы уменьшается.

Ключевые слова: жаропрочный никелевый сплав; γ' -фаза; интерметаллид, микроструктура, упрочняющая фаза.

Введение

Газотурбинные двигатели являются одним из главных элементов самолета, который представляет собой сложный агрегат, состоящий из большого числа высокоответственных деталей, подверженных различным видам нагрузок (статические, динамические, термические и др.) [1].

Лопатки турбины газотурбинного двигателя наиболее сильно подвержены всему комплексу нагрузок, поэтому особое внимание на всех стадиях жизненного цикла двигателя необходимо уделять именно им.

В настоящее время хорошо изучены вопросы влияния напряжений, возникающих в лопатках от действия центробежных сил, от действия на лопатку газового потока, от температурного фактора на прочность и, как следствие, на долговечность лопатки. Однако малое количество работ посвящено поиску первоисточников возникновения дефектов, приводящих к последующему разрушению – микроструктурным изменениям в жаропрочных сплавах.

Данная работа посвящена изучению влияния напряжений от различного рода нагрузок и температуры на поверхности лопатки на микроструктуру сплавов лопаток турбин газотурбинных двигателей.

Подготовка эксперимента

Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования была взята лопатка турбины газотурбинного двигателя, изготовленная методом направленной кристаллизации из жаропрочного сплава DZ4. Состав сплава представлен в таблице 1. Исследования микроструктуры проводили на электронном микроскопе JSM7500 SEM.

Таблица 1 – Состав сплава DZ4

C	Cr	Co	Al	W	Mo	Ti	Ni
0,12	11,21	6,8	3,91	6,36	4,45	1,94	Bal.

Современные жаропрочные никелевые сплавы представляют собой твердый раствор, основой которого является Ni с неупорядоченной матрицей (γ -фаза), упрочненный выделениями γ' -фазы [2, 3]. Эта упрочняющая фаза образуется при распаде пересыщенного твердого раствора γ -

фазы в процессе охлаждения с температуры ниже γ' - сольвуса. Основой γ' - фазы является интерметаллид Ni_3Al [4] с упорядоченной ГЦК кристаллической структурой.

Механические свойства сплавов напрямую зависят от объема γ - γ' фаз. Объемная доля γ' -фазы непосредственно определяется химическим составом, температурой эксплуатации, действующими напряжениями и временем эксплуатации [5]

Исследовалась микроструктура лопатки первой ступени турбины из сплава DZ4, проработавшая в составе газотурбинного двигателя 600 часов. С целью исследования микроструктуры, лопатка была разрезана на образцы в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1, из которых были изготовлены шлифы.

Известно, что рабочая лопатка неодинаково нагружена температурным полем и полем напряжений как по высоте, так и по профилю, поэтому изменение микроструктуры сплава в процессе эксплуатации проводили по всему профилю лопатки.

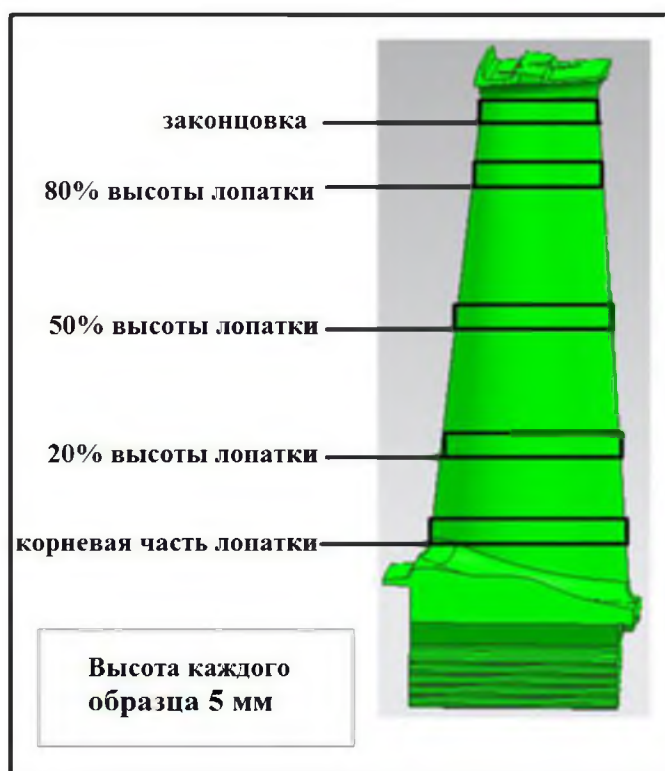


Рис.1. Схема вырезки образцов для микроструктурного анализа

Результаты исследования

На рисунке 2 представлена микроструктура образца, исследуемого жаропрочного никелевого сплава DZ4 в корневой части лопатки турбины.

Как видно, частицы γ' -фазы на входной кромке за период эксплуатации практически не изменили своей первоначальной формы. В то же время частицы γ' -фазы на спинке лопатки в значительной степени укрупнены. В микроструктуре сплава на выходной кромке и корытце лопатки

видно небольшое количество скоагулированных частиц γ' -фазы, при этом большая их часть значительно деформирована. Зная, что напряжения во входной кромке ниже, чем таковые в выходной кромке лопатки [6], а распределение поля температур примерно одинаковое [7], можно сделать вывод о том, что параметр формы частиц γ' -фазы главным образом зависит от абсолютного значения напряжений. Соответствующие данные по параметрам γ' -фазы сведены в таблицу 2. Из таблицы видно, что объемная доля γ' -фазы в различных частях образца варьирует в пределах 43-50%; разброс в размере γ' -фазы от 0,45 мкм до 0,75 мкм; средний диаметр упрочняющей фазы во входной кромке немного больше, чем в выходной.

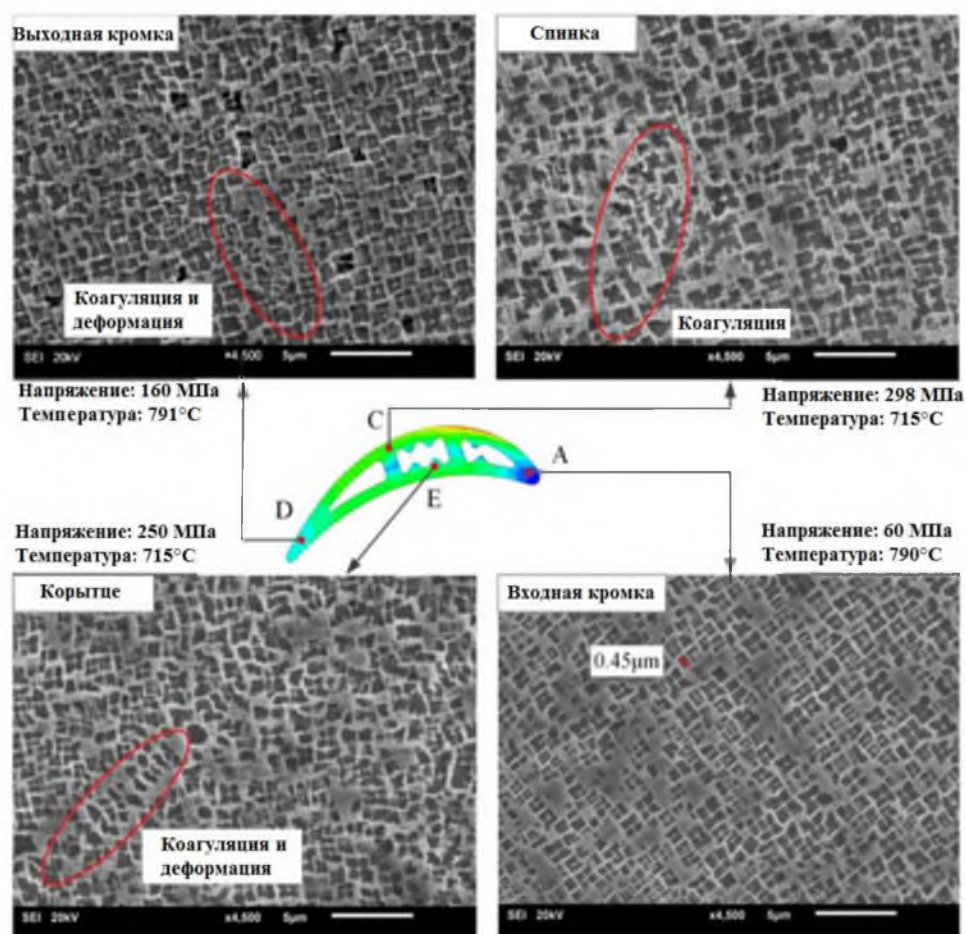


Рис.2. Микроструктура различных частей лопатки в корневом сечении

Таблица 2 – Данные по параметрам γ' -фазы в корневой части лопатки

Позиция	Объемная доля	Средний диаметр
A	43,38%	0,43
C	48,72%	0,72
D	42,82%	0,60
E	47,19%	0,69

Микроструктура образца, вырезанного на высоте 80% от корня лопатки представлена на рисунке 3.

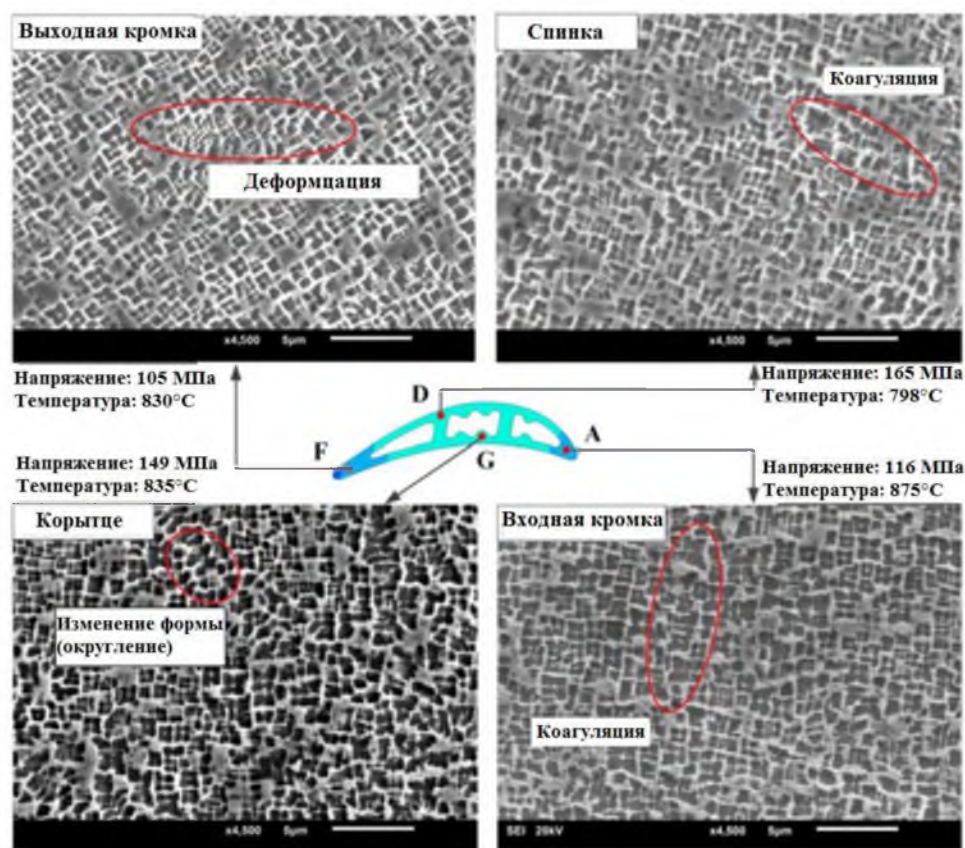


Рис.3. Микроструктура различных частей лопатки на высоте 80% от основания лопатки

Видно, что небольшое количество частиц γ' -фазы скоагулированы, образуют направленную структуру на входной кромке и на спинке лопатки, где значения температур и напряжений выше, чем на других частях лопатки. Тем временем, некоторые частицы γ' -фазы значительно деформированы в выходной кромке, однако, большая их часть сохранила свою первоначальную форму. Соответствующие данные по параметрам γ' -фазы сведены в таблицу 3. Объемная доля частиц γ' -фазы в различных частях профиля лопатки варьирует от 35% до 45%, что по значению меньше, чем в образце, вырезанном из корневой части лопатки. Средний диаметр частиц γ' -фазы во входной кромке немного больше, чем в выходной кромке, что обусловлено различием в значениях действующих температур и напряжений.

Таблица 3 – Данные по параметрам γ' -фазы на высоте 80% от основания лопатки

Позиция	Объемная доля	Средний диаметр
A	36,70%	0,53
D	45,64%	0,64
F	43,62%	0,51
G	41,31%	0,56

Для выявления влияния значений напряжений и температур на конкретные параметры микроструктуры сплава были построены соответствующие графические зависимости (рисунок 4). С целью анализа сравнивалась микроструктура частей профиля лопатки:

1. С различными значениями напряжений и одинаковыми значениями температур;
2. С различными значениями температур и одинаковыми значениями напряжений.

Здесь точки F-выходная кромка лопатки, В-спинка лопатки, Н-корытце лопатки образца, вырезанного на высоте 80% от основания лопатки (значения температур в указанных точках одинаковы). Точки С-спинка лопатки, D-выходная кромка лопатки на образце, вырезанном с законцовки, а точка А- входная кромка на образце, вырезанном в корневой части лопатки (значения напряжений в указанных точках одинаковые).

Из рисунка 4 очевидно, что величина среднего диаметра γ' -фазы повышается с увеличением значений температур и напряжений, в то время, как объемная доля частиц γ' -фазы уменьшается.

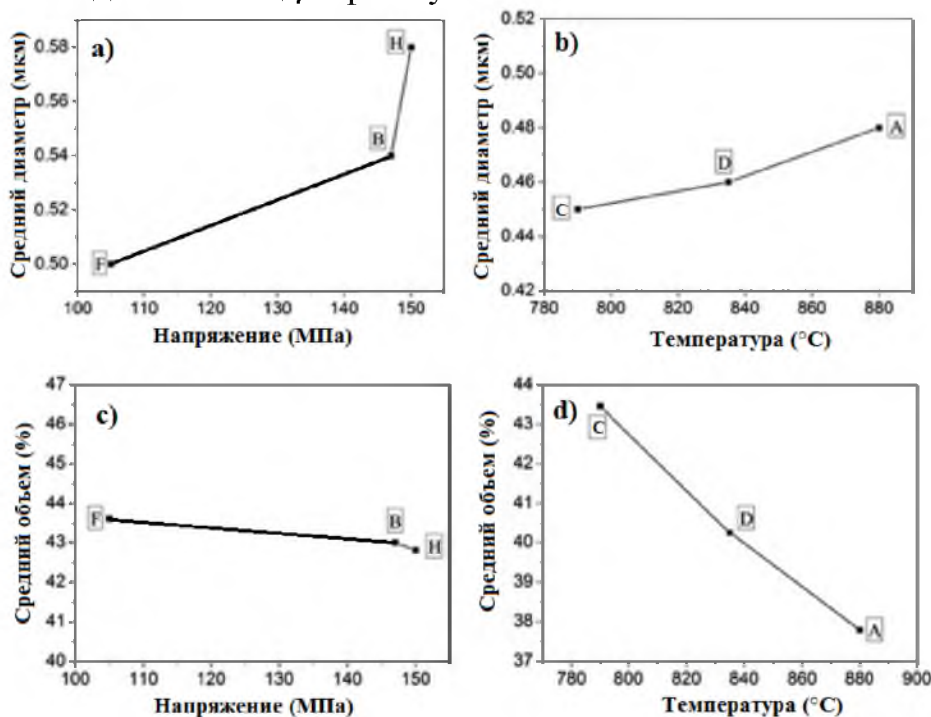


Рис.4. Графики изменения параметров γ' -фазы от напряжения и температуры

Вывод

Установлено, что параметры частиц γ' -фазы жаропрочных никелевых сплавов напрямую зависят от значений напряжений и температур, действующих на материал во время эксплуатации. При этом величина среднего диаметра γ' -фазы повышается с увеличением значений температур и напряжений, в то время, как объемная доля частиц γ' -фазы уменьшается. Однако следует заметить, что параметр среднего диаметра упроч-

няющей фазы более чувствителен к изменению напряжения, а параметр объемной доли – к значению температур.

Микроструктура сплава напрямую влияет на долговечность изделия в целом. Знание о процессах, происходящих в сплаве при воздействии высоких температур и напряжений, дает возможность в дальнейшем прогнозировать работоспособность лопаток турбин газотурбинных двигателей.

Список использованной литературы:

1. Казанджан П.К., Тихонов Н.Д. Теория авиационных двигателей: Теория лопаточных машин. М: Машиностроение, 1995, 320 с.
2. Высокотемпературные конструкционные материалы на основе интерметаллида Ni_3Al / В.П. Бунтушкин, Е.Н. Каблов, Е.Б. Качанов, Р.Е. Шалин // Авиационные материалы на рубеже XX – XXI веков: Науч. техн. сб. М.: ВИАМ, 1994.
3. Гринберг Б.А., Иванов М.А. Интерметаллиды Ni_3Al : микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург: УР РАН, 2002.
4. Кириков С.В., Перевезенцев В.Н., Тарасенко Ю.П. Анализ морфологических характеристик интерметаллидной фазы в жаропрочных никелевых сплавах // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, 2016, Т. 15, №4, С. 216-223.
5. Mita Tarafder, M. Sujata, V.R. Ranganath, S. Tarafder, S.K. Bhumik. Microstructural damage evaluation in Ni-based superalloy gas turbine blades by fractal analysis. 6th International Conference on Creep, Fatigue and Creep-Fatigue Interaction, 2013, P.289-294.
6. Кузьменко М.Л., Чигрин В.С., Белов С.Е. Статическая прочность рабочих лопаток и дисков компрессоров и турбин ГТД, Учебное пособие. Рыбинск: РГАТА, 2005, 74 с.
7. Лозицкий Л.П. и др. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1993, 240 с.

УДК 621

Кинематический анализ движения элевона в конструкции крыла БПЛА

А.Н. Смирнов, А.С. Говорков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В данной работе представлен пример расчета элевона в конструкции крыла БПЛА, выполненный классическим методом, а также с использованием программных продуктов, например, Siemens NX, что более актуально в виду практичности и точности выполненных расчетов. При

проектировании системы управления беспилотным летательным аппаратом решена задача кинематического расчета для корректного выбора параметров отдельных частей элевона. Подобрана соответствующая рулевая машинка.

Ключевые слова: элевон, БПЛА, кинематический анализ, Siemens NX.

Беспилотные летательные аппараты успешно применяются как в военной, так и в гражданской отраслях, в связи с чем актуальны вопросы касающиеся создания систем управления БПЛА [1-4].

Один из инструментов кинематического анализа – NX Motion Simulation, интегрированный CAE модуль NX, предназначенный для:

1. моделирования механизмов;
2. анализа кинематики и динамики механизма;
3. анимации кинематики и динамики механизма;
4. определения параметров механизма:
 - а) перемещения, скорости, ускорения;
 - б) диапазон движения;
 - в) силы, реакции, моменты;
 - г) мертвые положения механизма, помехи, заклинивания;
 - д) передача нагрузок для КЭ анализа.

Также мы можем анализировать движение механизма с учётом podatливости кинематического звена.

Длина элевона составляет 50% от консоли крыла, хорда 22% от хорды крыла (обычно берется в пределах 20-25% для БПЛА в зависимости от параметров крыла, возможны исключения) [5, с. 68].

Таким образом, расчет геометрических параметров проектируемого БПЛА:

$$l_{\text{э}} = 0.5 \cdot l_{\text{к}} = 0.5 \cdot 780 = 390 \text{ мм}, \quad (1)$$

$$b_{\text{э}} = 0.22 \cdot b_{\text{к}} = 0.22 \cdot 310 = 68.2 \text{ мм}, \quad (2)$$

где $l_{\text{э}}$ - длина элевона, мм;
 $l_{\text{к}} = 780$ - длина консоли крыла, мм;
 $b_{\text{э}}$ - хорда элевона, мм;
 $b_{\text{к}} = 310$ – хорда крыла, мм.

Положение элевона относительно крыла и его габариты представлены на рисунке 1.

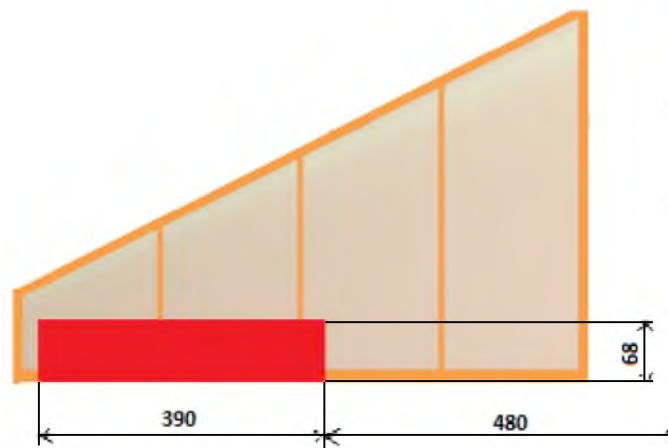


Рис. 1. Габаритные размеры элевона

Определим положение элевона относительно крыла. При проектировании конструкции крыла крепление элевона планируется выполнить совместно на два кронштейна. Управляющая тяга осуществляется за счет сервоприводов (см. рис. 2).

Далее строим схему узла подвески в AutoCAD и производим ее расчет. Конструктивная обстановка узла подвески элевона представлена на рисунке 2.

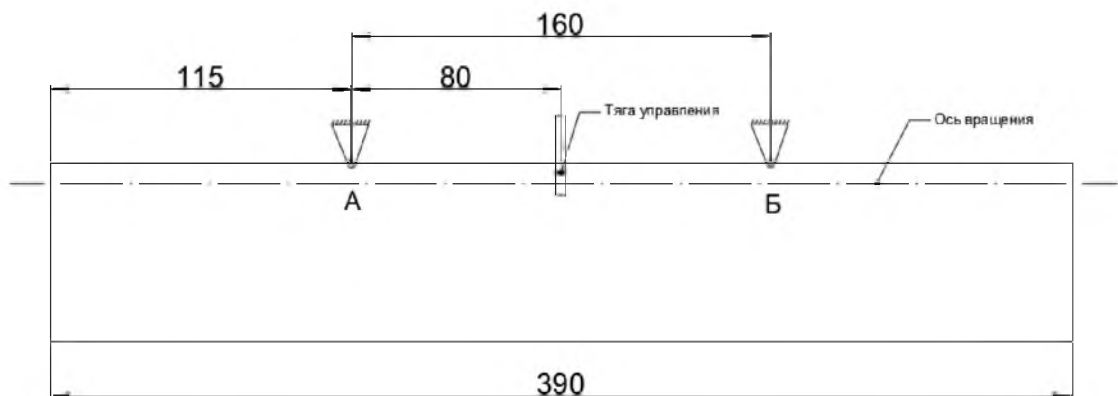


Рис. 2. Конструктивная обстановка узла подвески элевона

Расчетная распределенная нагрузка, действующая на элевон, определяется формулой, Н/м [6, с. 120]

$$q_{\text{э}}^{\text{р}} = n_{\text{р}} \cdot f \cdot \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot b_{\text{э}}, \quad (3)$$

где p_1, p_2 - ординаты удельной эксплуатационной нагрузки, Н/м;
 $f = 1.5$ - коэффициент безопасности;
 $b_{\text{э}} = 0.068$ м - хорда элевона;
 $n_{\text{р}} = 5$ - расчетная перегрузка.

Ординаты удельной эксплуатационной нагрузки определяются формулой [6, с. 121]

$$p_1 = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot V^2}{2}, \quad (4)$$

где $\rho = 1.007 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха на 2000 м,
 $V = 27.78 \text{ м/с}$ – расчетная скорость полета БПЛА.

$$p_1 = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot V^2}{2} = \frac{0.5 \cdot 1.007 \cdot 27.78^2}{2} = 194.28 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

$$p_2 = \frac{1}{3} p_1 = \frac{194.28}{3} = 64.76 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}. \quad (5)$$

Подставив значения p_1, p_2 в (3) получим

$$q_3^p = 5 \cdot 1.5 \cdot \frac{194.28 + 64.76}{2} \cdot 0.068 = 66.06 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Полная расчетная распределенная нагрузка, действующая на элевон, определяется по формуле

$$Y_3^p = q_3^p \cdot l_3, \quad (6)$$

где $l_3 = 0.39 \text{ м}$ - длина элевона, м.

$$Y_3^p = q_3^p \cdot l_3 = 66.06 \cdot 0.39 = 25.76 \text{ Н}.$$

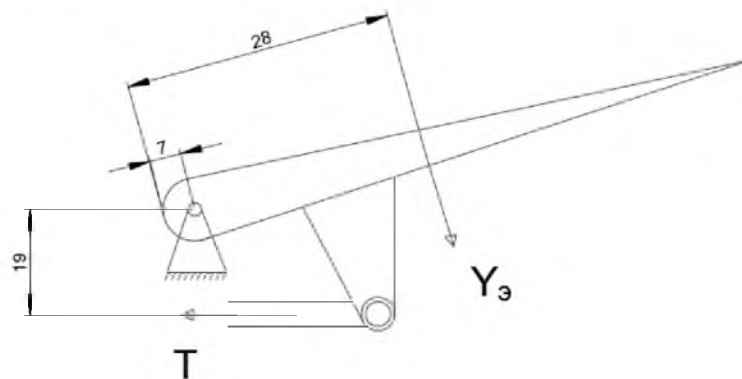


Рис. 3. Схема нагружения тяги управления

Усилие в тяге управления определяется [6, с. 122]

$$T = \frac{Y_3^p \cdot (x_d - 0.007)}{0.009}, \quad (7)$$

где x_d - расстояние линии центров нагрузки от носка элевона, м, определяется формулой

$$x_d = \frac{b_3}{3} \cdot \frac{1 + 2/3}{1 + 1/3} = \frac{0.068}{3} \cdot \frac{1 + 2/3}{1 + 1/3} = 0.028; \quad (8)$$

$$T = \frac{25.76 \cdot (0.028 - 0.007)}{0.009} = 60.01 \text{ Н.}$$

Реакции в опорах в плоскости xOy определяются по формулам:

$$R_A = \frac{Y_3^p \cdot 84}{224} = \frac{25.76 \cdot 60}{160} = 9.66 \text{ Н;} \quad (9)$$

$$R_B = \frac{Y_3^p \cdot 140}{224} = \frac{25.76 \cdot 100}{160} = 16.1 \text{ Н.} \quad (10)$$

Тогда реакция на опорах в плоскости xOz определяется по формуле

$$H_A = H_B = \frac{T}{2} = \frac{60.01}{2} = 30 \text{ Н.} \quad (11)$$

Схема нагружения стержня представлена на рисунке 4. На стержень действуют две реакции R_B , H_B перпендикулярны друг другу.

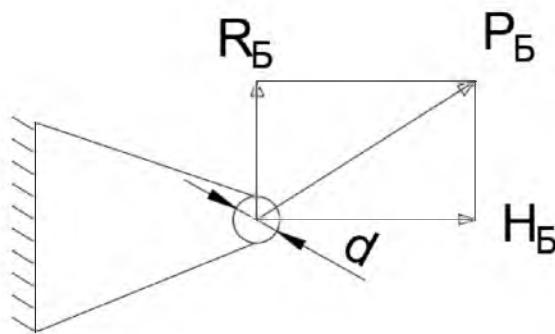


Рис. 4. Схема нагружения стержня

Суммарное усилие, действующее на стержень, определяется по формуле:

$$P_B = \sqrt{H_B^2 + R_B^2} = \sqrt{30^2 + 16.1^2} = 34.05 \text{ Н.} \quad (12)$$

Диаметр стержня определяем из условия среза [7, с. 54]

$$d = \sqrt{\frac{4P_B}{\pi \cdot [\tau_{cp}]}} \quad (13)$$

где $[\tau_{cp}] = 85 \text{ МПа}$ – предельно допустимые напряжения на срез для стали 45.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 34.05}{3.14 \cdot 85 \cdot 10^6}} = 7.1 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0.71 \text{ мм.}$$

Из соображений практичности эксплуатации принимаем диаметр стержня $d = 4 \text{ мм}$.

Далее проведем расчет в системе Siemens NX. Схема граничных условий представлена на рисунке 5. Движение передается от сервомотора по гармоническому закону.

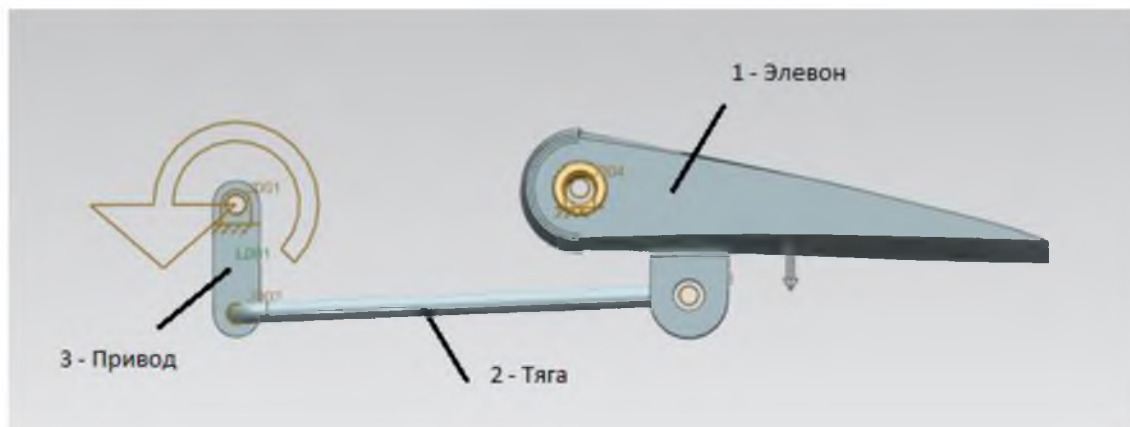


Рис. 5. Кинематический анализ в система Siemens NX

Результаты кинематического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты кинематического анализа

Усилие в узле сервопривода				
	Fx, Н	Fy, Н	Fz, Н	F, Н
1	53.56	1.86	0	53.59
2	54.19	2.03	0	54.22
3	56.12	2.57	0	56.18
4	59.42	3.53	0	59.53
5	62.49	4.46	0	62.65
6	64.87	5.20	0	65.07
7	65.95	5.54	0	66.18
8	66.16	5.61	0	66.40
9	65.35	5.35	0	65.57
10	63.26	4.70	0	63.44
11	60.34	3.81	0	60.46
12	56.40	2.65	0	56.47
13	53.21	1.76	0	53.24

Расчет производился в рамках «плоской» задачи, поэтому усилия по одной из проекций равны нулю. Как видно, пиковая нагрузка составила

66.4Н, что отличается от теоретически полученной примерно на 5.8%. Погрешность можно объяснить разной методикой расчета.

Наконец, подберем рулевые машинки: SpringRC SR402P с металлическим редуктором и углом поворота до 180 градусов, представлена на рисунке 6.



Рис. 6. Рулевая машинка SpringRC SR402P

Габаритные размеры рулевой машинки составляют 40.2 x 20.4 x 41.85мм, вес – 57 г. Усилие 8.2 кг/см при 4.8 В и 9.6 кг/см при 6 В. Скорость поворота вала на 60 градусов (при 4.8В/6В): 0.18/0.15 сек.

Таким образом, сравнивая расчеты можно отметить, что в современных программных системах с реализованной функцией кинематического анализа можно на достаточно высоком уровне выполнить проектировочный расчет подвижных узлов и механизмов [8]. На данный момент в конструкторских бюро авиастроительных предприятий используется при моделировании и увязки изделий планера самолета система NX, поэтому оптимальным при моделировании и анализе подвижных механизмов конструкции БПЛА автор рекомендует использовать систему Siemens NX.

Список использованной литературы:

1. Лопота А. В. Беспилотные летательные аппараты [Текст] / А. В. Лопота, А. В. Николаев. – СПб.: Изд-во ЦНИИ РТК, 2015. – 18с.
2. Федутин Д. От Pointer до Wasp [Электронный ресурс] / Д. Федутин // Беспилотная авиация. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://uav.ru/articles/mini1.pdf>.
3. Кочегаров А.В. Актуальность применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Текст] / А.В. Кочегаров [и др.]. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ин-т ГПС МЧС России, 2016. – 6с.
4. Голубев С.В. Современные системы управления беспилотными летательными аппаратами иностранных армий [Текст] / С.В. Голубев, В.К. Кирьянов // Вестн. Военно Воздушной Академии №2 – Воронеж:

ВУНЦ ВВС «ВВА им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2015. - Вып. 23. - с.473-478.

5. Nickel Karl. Tailless aircraft in theory and practice / Karl Nickel, Michael Wohlfahrt. – Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994. – 498p. – ISBN 1563470942.

6. Богданов А.П. Сборник задач по конструкции и прочности самолетов [Текст] / А.П. Богданов, Р.И. Виноградов, К.Д. Миртов. –М.: Гос. изд-во оборон. пром., 1959. – 229с.

7. Водопьянов В. И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами [Текст]: учеб. пособие / В. И. Водопьянов, А. Н. Савкин, О. В. Кондратьев. – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2012. – 136с.

8. Туранов Р.А. Применение Syncrofit в авиационной отрасли [Текст] / Р.А. Туранов, А.С. Говорков // Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников VII Международной научно-практической конференции «Инновации в технологиях и образовании», 28–29 марта 2014 г.: в 4 ч. / Филиал КузГТУ в г. Белово. –Белово: Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, Россия; Изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия», Велико Тырново, Болгария, 2014. – Ч. 1. С. 81-83.

УДК 629.735.07(083)

Климатические факторы и их влияние на безопасность полетов

Д.А. Соколов, А.П. Полонский

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Выполнен обзор атмосферных явлений (факторов) оказывающих влияние на безопасность полетов воздушных судов

Ключевые слова: атмосфера, климатические факторы, безопасность полетов, взлет, посадка.

На безопасность полета воздушного судна влияет большое количество климатических факторов, таких как атмосферное давление, температура, погода, влажность воздуха, скорость и направление ветра. Взлет самолета возможен лишь при определенном преобладании подъемной силы над силой тяжести. Равновесие подъемной силы и силы тяжести наступает уже при минимальной скорости отрыва самолета при взлете. Но взлет при такой скорости опасен, т.к. может наступить потеря устойчивости и управляемости. Для обеспечения безопасности скорость отрыва самолета устанавливается больше минимальной. [1]. При повышении температуры воздуха увеличивается скорость отрыва самолета, а рост атмосферного давления – к уменьшению. Изменение скорости отрыва влечет за собой

изменение длины разбега и взлетной дистанции. Изменение плотности воздуха на аэродроме сказывается на длине разбега. Посадка самолетов также связана с влиянием на нее атмосферных условий. Температура и давление воздуха сказываются на посадочной скорости, длине пробега и посадочной дистанции самолета.[1]. Чем выше температура воздуха и меньше атмосферное давление, тем больше посадочная скорость. Из теории авиационной метеорологии и теории аэродинамики известно, что параметры режима ветра на маршруте полета ВС воздействуют на следующие факторы:

- Дальность полета(а) -расстояние которое может пролететь ВС в одном направлении
- Радиус действия (R) -максимальное расстояние, на которое может удалиться ВС от места старта и вернуться назад, не пополняя запас топлива
- Продолжительность полета (Т)- время полета ВС на данном запасе топлива

Дальность полета [3] зависит от направления ветра, при встречном минимальная, и максимальная при попутном (U-скорость ветра, V- путевая скорость)

Опасные для полетов метеорологические явления

Гроза. Это комплексное атмосферное явление облакообразования с многократными электрическими разрядами в виде молний, сопровождающихся громом и как правило, ливнем. Гроза связана с развитием мощных куплено-дождевых облаков. Изредка, преимущественно в районах сухого климата, бывают грозы, не сопровождающиеся осадками (сухие грозы). Грозы могут быть как в пределах одной воздушной массы, особенно в морском тропическом воздухе, называемые внутримассовыми, так и на атмосферных фронтах, чаще всего холодных фронтах,- фронтальные. Стадии развития грозы: начальная, максимального развития, разрушения. При грозе бывают интенсивная турбулентность, сильные вертикальные порывы ветра, удары молний, ливни, в том числе с градом, сдвиг ветра, сильное обледенение, значительное ухудшение видимости. В передней части грозового облака под его основанием движется «крутящийся вал», имеющий горизонтальную ось вращения и являющийся предвестником шквала («шквальный ворот»). Все это часто бывает в комплексе и наступает неожиданно. Поэтому гроза -наиболее опасное для полетов метеорологическое явление.

Интенсивная турбулентность атмосферы представляет собой ее состояние, характеризующееся образованием вихрей разных размеров с неупорядоченными горизонтальными и вертикальными движениями воздуха. Образование вихрей происходит в основном под воздействием термических и динамических факторов, действующих обычно одновременно.

Термическая турбулентность возникает под воздействием неравномерного нагревания земной поверхности и проявляется наиболее ин-

тенсивно в нижней тропосфере в теплое время года в дневные часы. Особенно значительна она в холодном неустойчивом воздухе.

Динамическая турбулентность возникает из-за трения движущегося воздуха о шероховатую земную поверхность, а также вследствие неоднородности воздушных потоков по скорости и направлению. Последняя особенно существенна в струйных течениях. При полете в турбулентной атмосфере появляются знакопеременные ускорения линейных и угловых колебаний самолета (вертолета) относительно его центра тяжести. Эти колебания приводят к нарушению аэродинамических сил, усложняют пилотирование и ухудшают управляемость самолета (вертолета), приводят к дискомфорту пассажиров. Интенсивная турбулентность — опасное для полетов метеорологическое явление. Она приводит к значительным перегрузкам.

Перегрузкой называется отношение всех сил (за исключением силы тяжести), действующих на самолет, к силе тяжести самолета. Для оценки интенсивности болтанки используется изменение (приращение) перегрузки. (Δn). Перегрузка знакопеременна и зависит главным образом от плотности воздуха, эффективной скорости его вертикального порыва, скорости полета, веса самолета, площади крыла, изменения коэффициента подъемной силы при изменении угла атаки. Согласно действующему в настоящее время Наставлению по производству полетов интенсивность болтанки может быть оценена величиной Δn . Динамический фактор турбулентности особенно заметен над резко пересеченной местностью, особенно над горной. Здесь воздушный поток, огибая горные препятствия, сильно деформируется, в нем образуются зоны усиления и ослабления скорости ветра и вертикальных движений. За горным препятствием турбулентность наибольшая, возникают вихри с горизонтальной осью (роторы), которые могут как бы отрываться у склона хребта и двигаться вместе с воздушным потоком. Если воздух достаточно влажен, здесь образуются кучевые облака с рваными крутящимися краями (роторные облака). Это признак особенно интенсивной турбулентности возможных больших перегрузок — наибольшей опасности для полетов. Кроме того, при обтекании воздушным потоком горного препятствия над горами и вниз по течению образуются волны, называемые горными волнами или волнами препятствий. Поскольку над горами динамический фактор выражен весьма отчетливо, этот вид турбулентности называют еще орографической турбулентностью. Динамическая турбулентность возрастает также в верхней тропосфере, по тропопаузой, где часто наблюдаются струйные течения. Динамические причины могут создавать турбулентность при ясном небе (ТЯН), которая обычно бывает на циклонической стороне струйного течения, при значительных градиентах ветра, в зонах сходимости расходимости воздушных потоков, вдоль высотных ложбин и гребней. Она опасна тем, что не имеет демаскирующих признаков и ВС в ее зону может попасть неожиданно. Турбулентные зоны в атмосфере имеют толщину чаще

всего 400...800 м, в стратосфере 200...300 м, но бывают иногда и толщиной в несколько километров. Горизонтальная протяженность их в тропосфере 200...300 км. Они не являются сплошными, чередуются с участками спокойного воздуха. Общее распределение турбулентности по высотам в среднем можно представить данными, отраженными [2]. Для оценки интенсивности турбулентности необходим тщательный анализ аэросиноптической обстановки, характера воздушной массы и облаков.

Смерч сильный вихрь с приблизительно вертикальной, часто изогнутой осью. Диаметр смерчей, имеющих четкие очертания, составляет несколько десятков метров, с размытыми очертаниями — несколько сотен метров. Смерчи возникают в синоптических ситуациях, аналогичных ситуациям образования гроз, и существуют от нескольких минут до нескольких часов. Они чаще бывают на атмосферных фронтах, особенно холодных; благоприятно для этого лето и дневное время. Облака со смерчами — это наиболее развитые кучево-дождевые облака с ливнями, градом, грозой, с высотой верхней границы на средних широтах 12...15 км, а ближе к экватору — до 16...20 км. Облака со смерчами в среднем составляют лишь 1% всех облаков с грозой. Максимальная скорость движения воздуха в вихре смерча огромна, по косвенным данным до 200...300 м/с. Смерч — самое разрушительное атмосферное явление.

Шквал резкое кратковременное усиление ветра, сопровождающееся изменением его направления. Скорость ветра при шквале часто превышает 20...30 м/с. Шквалы связаны с интенсивным развитием кучево-дождевых облаков, часто сопровождающихся грозами и линиями. Шквалы могут производить разрушения легких строений, срывать крыши зданий, вырывать с корнями деревья, срывать пришвартованные на стоянках самолеты и т. п.

Град это осадки выпадающие из сильно развитых кучево-дождевых облаков преимущественно над континентальными районами в теплое время года в виде частичек плотного льда. Обычно наблюдается при грозах вместе с ливневым дождем. Градины по форме и величине бывают различны и неоднородны по строению. Прозрачный лед в них чередуется с матовым.

Град самый опасный вид осадков. Наиболее крупный град выпадает в зонах холодных фронтов. Продолжительность его чаще всего от 5 до 15 мин. При полете в зоне града самолету причиняются механические повреждения; на обшивке образуются вмятины, может быть разрушено остекление кабины; чем больше скорость полета, тем тяжелее воздействие града.

Обледенение — самолетов (вертолетов) отложение льда на обтекаемых частях ВС, силовых установках и внешних деталях специального оборудования при полете в облаках, тумане, дожде или мокром снеге. Основными метеорологическими факторами обледенения являются: синоптические условия; вероятность облаков на высоте полета; водность обла-

ков; температура воздуха; размер капель и ледяных кристаллов, составляющих облака и их количество, попадающее на единицу поверхности в единицу времени, и др. Обледенение ВС на сегодняшний день является одной из серьезных проблем, так как при обледенении меняются аэродинамические свойства ВС, при образовании больших наледей, могут быть заблокированы системы управления[4]. А на ВС малой авиации систем борьбы с обледенением не предусмотрено. Обледенение в большинстве случаев происходит в кучевых или слоистых облаках, в условиях тумана, мороси, дождя, мокрого снега при отрицательной или около нулевой температуре наружного воздуха. Наибольшая вероятность обледенения существует на малых высотах (ниже 3км) в диапазоне температур от 0 до -20 °С. Входные устройства двигателей могут подвергаться обледенению и при положительных температурах (до +5 °С), так как в следствии адиабатического расширения воздуха во входном устройстве влага конденсируется на его стенках и в последствии замерзает. Для борьбы с обледенением на малых ВС необходимо соблюдать следующие правила:

- Поддерживать высокую скорость полета, так как трение об воздух вызывает нагрев корпуса и препятствует обледенению или заставляет наледь распространяться равномерно, не нарушая аэродинамических показателей

- Использовать химические реагенты-противообледенители

- По возможности исключить подъём на высоту сформировавшегося облачного фронта[5,3]

Основные виды обледенения: лед, изморось, иней. Форма отложения льда в зависимости от скорости полета может быть клинообразная (профильная, гладкая) желобкообразная (рогообразная, шероховатая), бугристая (грибовидная).

Гололед матовый или прозрачный лед, отлагающийся на аэродромных постройках, взлетно-посадочной полосе, подъездных дорогах, на самолетах, не укрытых в ангарах, на линиях связи и электропередачи и т. п. Толщина слоя льда обычно 1...3 мм, редко 8...10 мм; лед отлагается преимущественно с наветренной стороны. Чаще всего образуется при температуре 0...-6° С, в том числе в половине случаев при температуре 0...-2° С. В аэропортах северных приморских районов России наблюдается до 150 раз за зимний период, в Центральных районах европейской части России - 6 -10 раз, в Южных районах России в среднем 2 раза. Характеризуется большой междугодовой изменчивостью. Так, в аэропорту Шереметьево в 1961-1962 гг. было 48 случаев гололеда при 12-15 случаях по многолетним данным. ' Гололед на ВПП сильно осложняет взлет и посадку самолетов из-за уменьшения коэффициента сцепления; отложение гололеда на самолете требует непременно удаления мда, поскольку при полете в облаках может быть дальнейшее интенсивное его обледенение.

Пыльная буря -это перенос большого количества пыли или песка сильным ветром. В типичном случае бывает в пустынях и степях, когда <:

иссушенной земной поверхности, свободной от растительности, ветром поднимается пыль (песок) и сильно ухудшает видимость. Пыльные бури чаще всего возникают в Средней Азии и по своему характеру чаще бывают кратковременными. Высота пыльного облака нередко достигает 2 км и более, а пыль может переноситься на тысячи километров. Наиболее длительные периоды нелетной погоды из-за пыльных бурь, когда видимость уменьшается до 500 м, бывают южнее Красноводска и на юго-востоке Туркмении, но сильные пыльные бури отмечаются и в других районах Средней Азии; например, в Ташкенте видимость при пыльной буре была менее 50 м.

Сдвиг ветра- повышенный градиент скорости и направления ветра в случаях, когда они значительно изменяются на относительно небольшом участке в атмосфере. Сдвиг ветра значительно влияет на взлет и посадку ВС, из-за возможности потери управляемости, является значительным фактором риска. Основное количество лётных происшествий происходит в ходе взлёта и посадки ВС[3]. При наборе высоты ВС самолетного типа может попасть в зону более сильного встречного ветра. Это значит, что подъемная сила самолета с высотой увеличивается быстрее, чем это необходимо, траектория полета самолёта оказывается выше расчетной, и при сильных сдвигах ветра самолет может попасть за критические углы атаки, что приводит к срыву потока воздуха с плоскости крыла и сваливанию самолёта на крыло. При посадке также велика вероятность сваливания, так как в приземном слое в ходе процесса трения воздушных масс о подстилающую поверхность, возникает большое количество турбулентностей и завихрений. Вследствие чего возникают кратковременные, локальные изменения движения воздушных масс.

При движении ВС в атмосфере возникает аэродинамическая сила. Полная аэродинамическая сила R , действующая на ВС, представляет собой результирующую всех местных сил давления и трения. Аэродинамическая сила прямо пропорциональна плотности воздуха, чем больше плотность воздуха, тем при прочих равных условиях больше подъемная аэродинамическая сила. Установившиеся горизонтальное движение самолета характеризуется тем, что силы и моменты, действующие на самолет, должны уравниваться. В горизонтальном полете на самолет действует лобовое сопротивление X , подъемная сила Y , тяга P и сила тяжести G . Скоростной напор – представляет собой кинетическую энергию единицы объема воздуха. Чем больше плотность воздуха, тем больше масса единицы объема воздуха, больше создаваемая его кинетическая энергия, больше скоростной напор. Лобовое сопротивление и подъемная сила прямо пропорциональны плотности воздуха.[1]. Потребная воздушная скорость горизонтального установившегося полета обратно пропорционально корню квадратному из плотности воздуха. Т.к. плотность воздуха с высотой уменьшается, потребная скорость при прочих условиях возрастает. При полете на постоянной высоте скорость изменяется в зависимости от рас-

пределения температуры и давления на уровне полета.[1]. Чем выше температура воздуха и ниже атмосферное давление, тем больше должна быть потребная воздушная скорость горизонтального полета.

Влияние физических характеристик атмосферы на располагаемую тягу двигателей

Располагаемая тяга (P_p) турбореактивных двигателей, под которой понимается наибольшая тяга, развиваемая двигателем на данной высоте при допустимом режиме работы, зависит от температуры и давления на уровне полета. При расчетах учитывается m_e - масса воздуха, проходящая через двигатель за 1 сек; C - скорость истечения газов на срезе сопла. V - воздушная скорость самолета.

Располагаемая тяга прямо пропорциональна расходу воздуха. Так как весовой расход воздуха зависит от его плотности, то повышение температуры или понижение давления приводит к уменьшению располагаемой тяги. При постоянном давлении располагаемая тяга зависит только от температуры воздуха на данной высоте. С высотой располагаемая тяга уменьшается, так как плотность и температура воздуха падают, в следствии чего объем воздуха и КПД топлива уменьшаются (т.к. холодное топливо хуже воспламеняется). Понижение температуры замедляет расход топлива, а понижение давления сокращает секундный расход воздуха, что пагубно сказывается на реактивных свойствах двигателя.

Влияние физических характеристик атмосферы на часовой расход топлива

Влияние реального состояния атмосферы на часовой расход топлива учитывается через $Cч$ и $Cч.ст$ – фактический и стандартный часовой расход топлива;

P и $Pст$ – фактическое и стандартное давление; T и $Tст$ – фактическая и стандартная температура; При полете на постоянной барометрической высоте эта зависимость упрощается, так как высота полета задается по барометрическому высотомеру стандартного нулевого уровня. При понижении давления и температуры часовой расход топлива уменьшается. При полетах на малых высотах, где температура и давление возрастают, расход топлива значительно увеличивается. В том случае, если надо определить количество топлива, необходимое для выполнения полета на определенную дальность, учитывают километровый расход топлива ($Cк$), который связан с часовым расходом топлива. Километровый расход топлива будет наименьшим на предельно допустимой высоте полета. Но выбор режима полета зависит не только от таких факторов, как температура и давление, но и от целого ряда других: скорости и направления ветра, наличия гроз, болтанки, обледенения и др.

При полете ВС метеорологические факторы оказывают большое влияние на безопасность и экономичность перелетов. Избегая опасные климатические явления можно значительно повысить безопасность полета и понизить расход топлива.

Список использованной литературы:

1. Авиационная метеорология Акселевич В.И. 2006 1-20 с.
2. Васин И.Ф. Справочник пилота и штурмана гражданской авиации – Изд-во Москва “Транспорт” 1988 30-35 с.
3. Ромасевич В.Ф. Самойлов Г.А. Практическая аэродинамика вертолетов Военное издательство Министерства обороны СССР 1986.
4. Позднякова В.А Практическая авиационная метеорология Екатеринбург 2010
5. Наровлянский Г.Я. Авиационная климатология – Изд-во Гидрометеоиздат 1968

УДК 62-501.12; 533.6.013; 629.7.022

Транспорт XXI века

В.В. Суржик

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Приведены различные аспекты развития транспорта не контактирующего с опорной поверхностью, рассмотрена задача определения геометрических размерений самостабилизирующегося экраноплана компоновочной схемы «утка», обладающего устойчивыми режимами на всех высотах полета над экраном.

Ключевые слова: экранопланы, самостабилизация, кавитация, скеговые суда.

Идею модернизации водного транспорта и повышение скорости судов при минимальной энерговооруженности пропагандировал великий русский ученый и инженер Ростислав Евгеньевич Алексеев. Под его руководством в 60-е годы прошлого столетия были созданы первые в мире суда на подводных крыльях. Водоизмещающий корпус у этих судов поднимался над водной поверхностью, и сопротивление движению в воде создавали только подводные крылья, площадь которых была значительно меньше омываемой поверхности водоизмещающего корпуса. Таким образом, сопротивление судна уменьшалось в несколько раз. Но главной особенностью судов на подводных крыльях было то, что они создавали систему, обладающую свойством самостабилизации. То есть, управлять крыльями при изменении скорости движения судна не было необходимости, так как крылья находились на небольшой глубине от поверхности воды, и за счет изменения этой глубины погружения создавали переменные

демпфирующие силы и моменты, балансирующие всю систему вместе с судном.

Однако суда с малопогруженными подводными крыльями имели ограничение по максимальной скорости движения из-за возникающего кавитационного режима на крыльях при определенной скорости и, как следствие этого, резкое падение подъемной силы и торможение судна.

Следовательно, для увеличения скорости необходимо было исключить любой контакт с водой. Так появился новый класс судов – экранопланы, которые не имеют контакта с водой, не имеют ограничений по скорости и обладают рядом замечательных преимуществ по сравнению с существующими видами транспорта. Идея поднятия корпуса судна над водой нашла свою реализацию также в скеговых судах и судах на воздушной подушке, которые, как и СПК (суда на подводных крыльях), имеют ограничения по максимальной скорости.

Первыми экранопланами промышленного производства были экранопланы Ростислава Алексеева. Это экранопланы «Орленок» – 140 т. взлетного веса, а затем экраноплан «Лунь» – 450 т. взлетного веса. В дальнейшем в России были построены и испытаны экранопланы «Акваглайд», «Иволга», «Волга-2» и другие. В мировой практике известны экранопланы А. Липпиша Х-112, Х-113, Х-114. Все экранопланы были выполнены по «самолетной» схеме. Известный двухместный экраноплан

Г. Йорга был выполнен по схеме «тандем», но он летал на сверхмалых расстояниях над водой (меньше одной десятой хорды крыла).

В 1990-е годы американцы, проанализировав перспективность использования экранопланов, пришли к выводу о значительном отставании США от России в области экранопланостроения, и конгресс США создал специальную комиссию, призванную разработать план действий по ликвидации «русского прорыва». Компания «Боинг» начала работы над гигантским экранолетом «Ультра» 152 м. в длину и 106 м. в ширину.

В 1964 г. швейцарский инженер Х. Вейланд построил самоходную пилотируемую модель экраноплана «Малый Вейланд» по схеме «тандем». В первом же полете на озере Солтон в Калифорнии модель довольно долго летела на высоте одного метра, затем неожиданно взмыла вверх и упала на воду. Причина аварии в то время окончательно не была установлена. Такая же участь постигла и первый экраноплан Р. Алексеева СМ-1 выполненный по «тандемной» схеме в 1962 году. Аппарат самопроизвольно взмыл вверх и упал на лед. Это явление «уход на кабрирование» объясняется потерей экранопланом схемы «тандем» статической устойчивости.

Поэтому в общем случае, в задачах изучения свободной динамики экранопланов речь может идти о создании такой компоновочной схемы и выборе таких параметров, которые обеспечили бы экраноплану заданные динамические характеристики. Основное отличие такой задачи от обычной задачи оптимального управления состоит в том, что в этом случае в качестве управляющего вектора $\vec{U}$ выступает вектор параметров той или

иной компоновочной схемы – величина, явно не зависящая от времени t и вектора состояния $\vec{x}$. Решение подобных задач возможно или стохастическими методами [3] (то есть искать оптимальное решение на ансамбле реализаций случайного вектора $\vec{x} \in \vec{X}$), или, в случае линейного векторного дифференциального уравнения, эту задачу можно интерпретировать как задачу максимизации по модулю действительной части корня характеристического полинома.

По мнению зарубежных исследователей проблема обеспечения необходимой эксплуатационной устойчивости полета экраноплана посредством подбора геометрических размерений компоновочной схемы является почти неразрешимой. Это мнение, по-видимому, объясняется с одной стороны необычайной сложностью проблемы, а с другой - теми неудачами, с которыми встречались зарубежные экранопланостроители, например, Д. Уорнер, И. Троенг, Ч. Вейланд, Ш. Эндо, Г. Йорг и другие.

Существующие экранопланы и экранолеты, например, экранолеты А. Липпиша, экранопланы и экранолеты ЦКБ по СПК Нижнего Новгорода и экранолеты В. Колганова, все выполнены по «самолетной» схеме и не обладают свойством самостабилизации. Этими экранопланами необходимо постоянно управлять, а управление на малых высотах обладает определенными трудностями, так как требует большой концентрации внимания при пилотировании. Эти экранопланы и экранолеты требуют установки на них систем автоматического управления.

На ранней стадии проектирования экранопланов разработчик должен иметь под рукой механизм определения параметров его устойчивости и уметь определять его динамические характеристики. Несомненно, окончательные динамические характеристики экраноплана можно будет определить только в процессе испытаний, но в предэскизном проектировании знание общих динамических параметров проектируемого экраноплана крайне необходимо.

В работе [1] А.Н. Панченков исследовал задачу оптимального проектирования путем набора параметров компоновочной схемы ЛА, обеспечивающих ему устойчивый полет на заданной высоте от поверхности земли. Эта задача решалась введением в рассмотрение локальных функционалов, из условия минимума которых определялся оптимальный вектор проектных параметров. Но при этом невозможно было определить границу зоны устойчивости конкретной компоновочной схемы экраноплана.

Другой метод исследования продольной устойчивости основан на традиционном в динамике самолета методе изучения устойчивости стационарного движения ЛА на базе характеристического уравнения однородной линеаризованной системы дифференциальных уравнений продольного движения с постоянными коэффициентами.

Для экранопланов аэродинамические силы и моменты, возникающие на крыльях, зависят не только от угла атаки α_i относительно вектора набегающего потока, но и от параметра отстояния задней кромки крыла от экранирующей поверхности $\bar{h}_i$. В общем случае кинематические параметры крыла $\bar{h}_i$ и α_i могут меняться во времени по любым законам. При изменении этих параметров центр тяжести (ЦТ) экраноплана совершает поступательное движение $\bar{V} = \bar{V}(t)$ и $\bar{H} = \bar{H}(t)$. Все остальные агрегаты экраноплана, находясь в таком же, как и ЦТ поступательном движении, кроме того, совершают вращение вокруг ЦТ с угловой скоростью $\omega_{z_c} = \frac{d\vartheta}{dt}$. Вертикальная скорость, с которой движется крыло, изменит угол

атаки этого крыла на величину $\Delta\alpha = \pm(\bar{X}_{Ti} \pm \bar{X}_{F\alpha_i}) \frac{1}{\mu} \bar{b}_{Ai} \frac{d\vartheta}{dt}$, где $\bar{X}_{Ti}$

- относительная координата носика средней аэродинамической хорды крыла от ЦТ, $\bar{X}_{F\alpha_i}$ - относительная координата фокуса крыла для средней аэродинамической хорды, $\mu = \frac{2m}{\rho S_1 b_{Ai}}$ - относительная плотность

экраноплана, $\bar{b}_{Ai}$ - средняя аэродинамическая хорда какого-либо крыла отнесенная к хорде основного. Вертикальное перемещение ЦТ экраноплана со скоростью $\frac{dH}{dt}$ также вызовет изменение угла атаки крыла. Это

изменение угла атаки для всех крыльев будет одно и то же, и равно $\Delta\alpha = \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\bar{H}}{dt}$. В общем случае нестационарное изменение угла атаки для

крыла запишется в виде $\Delta\alpha(\bar{t})_i = \Delta\alpha \pm (\bar{X}_{Ti} \pm \bar{X}_{F\alpha_i}) \frac{\bar{b}_{Ai}}{\mu} \frac{d\Delta\vartheta}{dt} - \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\bar{H}}{dt}$, а нестационарное

возмущение отстояния крыла $\Delta\bar{h}(\bar{t})_i = \Delta\bar{H} \bar{b}_{Ai} (\bar{X}_{Ti} \pm 1) \Delta\vartheta$. Введение этих нестационарных значений для $\Delta\alpha(\bar{t})$ и $\Delta\bar{h}(\bar{t})$ в исходную систему уравнений продольного движения не меняет размерности исходной системы (изменяются только коэффициенты матрицы), что является положительным фактором и позволяет исследовать новую систему уравнений на устойчивость по критериям Рауса-Гурвица. Кроме того, в уравнениях появляются демпфирующие моменты, обусловленные вращением экраноплана относительно поперечной оси OZ_c , и отпадает необходимость искусственного введения его, как это делается в динамике ЛА.

Для экранопланов характерным режимом движения является полет на заданной высоте с жесткими ограничениями на «заброс» параметров движения $\delta(\Delta\vartheta)$ и $\delta(\Delta\bar{H})$. Реализация такого режима возможна или путем оснащения экранопланов системами автоматической стабилизации или путем создания экранопланов самостабилизирующихся схем.

Под самостабилизацией подразумевается способность экраноплана сохранять балансирующие режимы и устойчивость движения без вмешательства органов управления во всем диапазоне полетных скоростей при действии широкого спектра эксплуатационных возмущений.

Задача определения геометрических размерений самостабилизирующегося экраноплана компоновочной схемы «утка», обладающего устойчивыми режимами на всех высотах полета над экраном, приведена в патенте на изобретение [4]. Приведенный в патенте полином

$$\bar{S}_2 = (0,598417 + 0,59237 \times \bar{L}_2 + 0,138457 \times \bar{L}_2^2)^{-1}$$

связывает соотношение площадей крыльев $\bar{S}_2 = \frac{S_2}{S_1}$ с плечами центров

давления крыльев до ЦТ $\bar{L}_2 = \frac{L_2}{L_1}$ и делит область $\bar{S}_2 \sim \bar{L}_2$ на две части:

область устойчивых значений $\bar{S}_2$ и $\bar{L}_2$ для экраноплана – слева от кривой и область неустойчивых значений – справа.

В заключении можно сделать следующие выводы:

- предложенные критерии оценки статической устойчивости, являются мерой самостабилизации экранопланов схемы «утка» и ее модификаций;
- предложенная методика учета нестационарности изменения кинематических параметров $\Delta \alpha(\bar{t})$ и $\Delta \bar{h}(\bar{t})$ не усложняет исходную систему уравнений движения;
- результаты исследований патента [4] дают разработчикам экранопланов схемы «утка» механизм, позволяющий выбрать размерения устойчивого экраноплана на этапе предэскизного проектирования.

Список использованной литературы:

1. Панченков А.Н. Некоторые вопросы оптимального проектирования гидро-динамических несущих комплексов. // Н.: Наука. 1982. – С.3–29.
2. Суржик В.В. Некоторые подходы к решению задач оптимальной стабилизации летательных аппаратов, использующих влияние близости экрана. // Труды ИПИ № 2. – Иркутск 1974. – С.173–144.
3. Суржик В.В. Ружников Г.М. Стохастическая устойчивость быстроходных транспортных аппаратов, движущихся вблизи опорной поверхности. // Тезисы докладов 24-ой Всесоюзной научно-технической конференции по теории корабля. – Л. 1975.
4. Патент на изобретение №2224671 (РФ). Самостабилизирующийся экраноплан. / Закрытое акционерное общество «Технологии СДП»; авторы изобретения Суржик В.В и др. – Приоритет от 09.01.2003, № 2003100793.

5. Суржик В.В. Испытания моделей экранопланов на открытой воде с записью параметров движения [Текст] / В.В. Суржик // Сборник докладов I-й научно-практической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов. – Иркутск : ИФ МГТУ ГА, 2009. – С. 67-76.
6. Суржик, В.В. Интеграция евро-азиатских транспортных систем / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад // Труды Байкальской Всероссийской конференции. Информационные и математические технологии в науке и управлении. – Иркутск : Изд-во ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2009. –Том 1. – С. 185-189.
7. Суржик, В.В. Проектирование экранопланов различных компоновочных схем [Текст] / Ю.Ф. Мухопад, В.В. Суржик // Журн. «Полет» – М. : Машиностроение. – 2010. – Вып. 1. – С. 55-60.
8. Суржик В.В. Определение зон устойчивости конструктивных схем экранопланов [Текст] / В.В. Суржик // Журн. «Полет» – М. : Машиностроение. – 2010. – Вып. 2. – С. 28-32.
9. Суржик В.В. Перспективы развития нетрадиционных видов транспорта для Сибирских регионов / Ю.Ф. Мухопад, В.В.Суржик // Материалы второй межвузовской научно-практической конференции 16-18 мая 2011 г. – Иркутск: 2011. – Т. 2. – С. 408-413.
10. Суржик В.В. Учет нестационарности параметров движения в математических моделях сложных систем / В.В. Суржик // Сборник научных трудов «Механика и процессы управления». – М. : РАН. 2011 г. – С. 3 – 12.
11. Суржик В.В. Нетрадиционные виды транспорта для Сибирских регионов / Ю.Ф. Мухопад, В.В.Суржик // Вестник ИрГТУ. – Иркутск: – 2011 г. – Вып. 11. – С.
12. Пат. № 2224671 Российская Федерация, МПК⁷В 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Скороходов П.А., Таранушенко, В.В., Ремизов, С.М. Взяткин Иркутск. Закрытое акционерное общество «Технологии СДП». – № 2003100793; заявл. 09.01.2003; опубл. 27.02.2004, Бюл. № 6. – 1 с.
13. Пат. № 2362693 Российская Федерация, МПК В 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Ремизов С.М.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО «Байкальский научно-инженерный центр». – № 2007111299; заявл. 27.03.2007; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 21. – 2 с.
14. Пат. № 2368521 Российская Федерация, МПК В 60V 1/08. Экраноплан “самолетной” схемы / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО «Байкальский научно-инженерный центр». – № 2007129448; заявл. 31.07.2007; опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27. – 2 с.
15. Пат. № 2368522 Российская Федерация, МПК В 60V1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Величко И.И.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО «Байкальский

научно-инженерный центр». – № 2007129449; заявл. 31.07.2007; опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27. – 2 с.

УДК 629.7

***Применение алгоритма случайного леса для автоматизированной
поузловой оценки технического состояния узлов маслосистемы
авиационных двигателей Д30/КП/КУ/КУ-154 по результатам СВЧ
плазменных измерений***

А.Ю. Ходунаев¹, Н.А. Иванов²

¹Иркутский государственный университет, г.Иркутск, б. Гагарина 20.

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Разработан программный комплекс для автоматизированного принятия диагностического решения по результатам СВЧ-плазменных измерений. В основу комплекса взят "случайный лес", алгоритм машинного обучения, решающий задачу классификации. Разработаны классификаторы состояний "исправен\неисправен" и "исправен\дефект кп\дефект твд\неизвестный дефект" по результатам анализа СВЧ-плазменным методом проб масла с коробок приводов и проб смыва с маслофильтров. Ни для одного классификатора точность определения обоих состояний "исправен\неисправен" одновременно не превышает 90%. Один из лучших классификаторов определяет состояние "неисправен" с точностью 80%, состояние "исправен" – с точностью 90% по пробе масла с передней коробки приводов.

Ключевые слова: экспертные системы, диагностика двигателей, машинное обучение

Введение

Для оценки технического состояния узлов и агрегатов, омываемых смазочным маслом, в НИИ прикладной физики Иркутского госуниверситета разработан атомно-эмиссионный СВЧ-плазменный спектрометр и технология диагностирования авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) [1]. По величине измеренных параметров металлической примеси в пробе масла и пробе смыва принимается диагностическое решение.

Опыт эксплуатации и разработанной технологии показал, что достоверность диагностики по результатам СВЧ-плазменных измерений составила 90% и подтверждена данными заводской разборки [2].

Проблема состоит в следующем. СВЧ-плазменный спектрометр позволяет одновременно измерять более 250 параметров. При проведе-

нии диагностики, оператор сравнивает параметры протокола результатов анализа со средними значениями параметров, полученных ранее для исправных двигателей. Если в двигателе имеется дефект, то параметры, характеризующие данный дефект, будут иметь повышенное значение в протоколе. Способность определить дефектный узел или наличие дефекта значительной степени зависит от опыта оператора, особенно когда превышение незначительно.

Поэтому достоверность выявления дефекта ввиду наличия большого числа измеряемых параметров и сложного характера связи между ними во многом определяется уровнем подготовленности оператора, принимающего диагностическое решение.

В этой связи необходимо найти алгоритм и разработать программное обеспечение по автоматизации принятия диагностического решения с целью снижения влияния человеческого фактора на результаты оценки технического решения маслосистемы авиационных ГТД.

Диагностические признаки при оценке технического состояния двигателя по результатам СВЧ плазменных измерений

В двигателях Д-30КП/КУ/КУ-154 отбор проб на анализ может производиться с трех точек: передней и задней коробок приводов и основного маслофильтра по специально разработанной технологии.

Информация о параметрах частиц изнашивания с передней и задней коробок приводов представляется следующими абсолютными значениями параметров [1]:

Содержание элемента в пробе масла, находящегося в растворенном виде и (либо) в виде частиц размером менее 2 мкм, C_p (г/т); содержание элемента, находящегося в пробе масла в виде частиц износа размером от 2 до 60 мкм, C_c (г/т); средний размер частиц износа каждого измеряемого элемента, D (мкм); элементный состав частиц, т.е. состав элементов каждой отдельной частицы; общее количество зарегистрированных частиц, содержащих данный элемент, N (см⁻³); количество «простых» частиц износа, состоящих из одного элемента $N_{пр}$ (см⁻³); количество «сложных» частиц, состоящих из двух и более элементов $N_{сл}$ (см⁻³) = $N - N_{пр}$; количество составов «сложных» частиц.

Количественное определение параметров частиц изнашивания в пробе смыва с маслофильтра при СВЧ-плазменных измерениях представлено в виде рейтингов. Рейтинг – нормировка количества частиц определенного элемента на общее количество частиц, содержащих данный элемент [3]:

Робщ. – вклад общего количества частиц изнашивания, содержащих определяемый элемент, в общее количество частиц изнашивания (рейтинг частиц изнашивания по элементам);

Рпрост. – вклад количества простых частиц изнашивания определенного элемента в общее количество частиц изнашивания (рейтинг простых частиц изнашивания по элементам);

Рсл. – вклад количества «сложных» частиц изнашивания определенного элемента в общее количество частиц изнашивания (рейтинг «сложных» частиц определенного состава, например, Cu-Ag, Fe-Cr-Ni и т.д.);

RG. – количество различных составов «сложных» частиц.

В качестве одного из основных диагностических признаков при анализе пробы смыва использовалось $V_{\text{общ}}$. – отношение общего количества «сложных» частиц изнашивания (состоящих из двух и более элементов) к общему количеству «простых» частиц изнашивания (частиц, состоящих из одного элемента).

Кроме того, был найден параметр $V_{\text{элемент}}$. – отношение количества «сложных» частиц изнашивания к количеству «простых» частиц изнашивания для определенного элемента.

Отношение количества сложных частиц к количеству простых частиц износа $V_{\text{общ}}$. является индикатором общего технического состояния двигателя, поскольку ранее была замечена закономерность: чем меньше данный параметр, тем лучше состояние трущихся поверхностей деталей двигателя и наоборот, увеличение данного параметра свидетельствовало о повышенном износе деталей двигателя.

Используя дополнительный параметр $V_{\text{элемент}}$. можно более детально определить тип элемента, ответственного за повышение $V_{\text{общ}}$., что позволяет более точно определять изношенный агрегат двигателя.

При проведении оценки состояния по протоколу анализа СВЧ-плазменных измерений, оператор сравнивает значения параметров с их средними значениями, полученными ранее для исправного двигателя. Если в двигателе имеется дефект, то параметры, характеризующие данный дефект, будут иметь повышенное (в сравнении со средним) значение в протоколе. Способность определить дефектный узел или наличие дефекта значительно зависит от опыта оператора, особенно когда превышение незначительно.

Формализация задачи

Задача на определение состояния двигателя по набору параметров его пробы - суть задача классификации. В качестве классов представлены различные возможные состояния двигателя, соответствующие наличию определенного дефекта.

Такие задачи успешно решаются при помощи машинного обучения. Программа «учится» определять класс объекта (состояние двигателя) по набору признаков согласно специальному алгоритму. При этом используется набор исходных данных – примеров с решением. Так же существуют алгоритмы, использующие примеры без решения. В их основе лежит оценка разности между образцами данных с помощью какой-либо функции расстояния.

В данной работе сделана попытка подобрать подходящий алгоритм обучения, руководствуясь спецификой задачи.

Отбор проб

Пробы для Д30 отбираются с 3 точек: передней, задней коробки приводов и проводится смыв с маслофильтра МФС. Информация из проб с первых двух точек является переносимой относительно замеров с других двигателей, т.е. представляет собой абсолютные значения каждого параметра. В смыве сохраняется только информация о пропорциональном отношении между элементами.

Параметры пробы с каждой из точек отбора представляют собой независимую информацию и должны дополнительно учитываться при оценке состояния двигателя. Тем не менее, в данной работе состояние оценивается отдельно для каждой из точек отбора, в силу того, что не для каждого двигателя представлены все три типа проб.

Подбор параметров

Всего определяется 585 параметров – 9 видов параметров по 8 элементам (72), 2 вида параметров со сложным элементным составом (состав от 0 255, всего 510), и 3 параметра без состава. Понятно, что в случае параметров со сложным составом, далеко не каждый состав появится в отдельной пробе. Тем не менее, каждый из этих параметров должен быть учтен тем или иным образом, так как появление редких составов, как правило, свидетельствует о наличии в двигателе дефекта. Это может быть сделано введением отдельного параметра, «суммирующего» информацию о редких составах с потерей точности в пользу простоты.

Параметры более простых составов наиболее часто встречаются в пробе. Было установлено [3], что их значения распределены по логнормальному закону, что позволяет сделать предположение, что подобное распределение имеет место и для параметров сложных составов. С учетом этого, была построена статистическая модель, описывающая допустимые границы часто встречающихся параметров в исправном двигателе. Эта информация учитывается посредством стандартной нормировки.

Для «редких» параметров нормировка выполняется по известному максимуму параметра, либо по специально подобранному значению. Например, ванадий достаточно редко встречается в пробе и характеризуется нормировкой количества частиц ванадия на 3, так как устойчивое появление ванадия в трех пробах с двигателя свидетельствует о развитии дефекта КВД [3].

Распределение данных

Данные представлены протоколами СВЧ-плазменного анализа проб двигателей, состояние которых определено экспертным методом, а наличие дефекта впоследствии было подтверждено заводской разборкой. Состояниям были присвоены номера от 1 до 8. Распределение проб по состояниям и точкам отбора приведено в таблице 1.

Таблица 1 - распределение проб по состояниям и точкам отбора

#	Тип	Описание	ЗКП, кол-во	ПКП, кол-во	МФС, кол-во
1	Норма	Двигатель исправен	175	2258	601
2	ЗКП	Дефект задней коробки приводов	24	35	29
3	ТВД	Дефект подшипника турбины высокого давления	12	14	17
4	МВП	Дефект межвального подшипника	1	2	4
5	КВД	Дефект компрессора высокого давления	1	3	3
6	Масло-насос	Дефект маслоагрегатов	2	3	3
7	Лабиринт	Дефект лабиринтных уплотнений	2	2	4
8	Особый контроль	Двигатель находится на пограничном состоянии. Отбор проб проводится с повышенной частотой.	176	638	481

Для выполнения классификации, каждой пробе должны быть присвоена какая-либо группа (класс). После обучения программа должна определить группу для произвольной пробы. Особый контроль и Норма были объединены в класс 1, дефекты ЗКП в Класс 2, дефекты ТВД/МВП в класс 3 и остальные дефекты в класс 4 из соображений совместности диагностических признаков.

При выполнении обучения необходимо привязаться к определенному критерию или функции, которую необходимо максимизировать. Как правило, используется точность классификации – суммарное количество верно определенных образцов по отношению к общему количеству.

В случае, когда классы представлены неоднородно, использование такого критерия может привести к тому, что система будет пренебрегать решениями в пользу редких классов из-за их малочисленности, так как это позволит корректно определить большее число обыкновенных классов, поэтому в данной задаче такой критерий малоприменим.

Повлиять на это можно дублируя интересующие данные (увеличивая их количество, а следовательно и стоимость ошибки при неправильной классификации), либо убирая лишние, либо непосредственно задавая критерий и вес каждого класса (что должно производиться в общем случае, согласно специфике задачи).

Возможность непосредственно задавать стоимость класса присутствует в реализации алгоритма случайного леса в пакете randomForest на языке R. Вкупе с простотой использования алгоритма (малое число регулируемых параметров, влияющих на результат), скоростью и возможностью работы с большим числом параметров, независимо от их важности, алгоритм случайного леса является хорошим кандидатом для решения данной задачи.

Алгоритм случайного леса

Алгоритм [4, 5] основан на построении ансамбля решающих деревьев на основе случайной подвыборки – части исходных параметров и образцов решения.

Решающее дерево представляет собой структуру, связывающую исходные параметры и решения (классы), которые соответствуют определенным значениям параметров. Движение по дереву производится от корня (первого исследуемого параметра) к листьям, на которых расположены классы.

Так как в каждую подвыборку включается случайная часть параметров исходной выборки и случайная часть образцов, то при достаточном количестве деревьев, это позволяет не слишком беспокоиться о количестве или важности конкретных параметров исходной выборки. На основе каждой подвыборки строится решающее дерево. Классификация производится каждым из деревьев отдельно, и в качестве конечного ответа принимается класс, выбранный большинством деревьев (голосование).

Для задания стоимости классов, голоса за выбранный класс умножаются в определенное число раз. Это число здесь представлено как параметр K . Т.е., K – относительная стоимость редких классов, в данной задаче – это классы, обозначающие наличие неисправности.

Результаты

Работа алгоритма проверялась при помощи перекрестной проверки. Половина обработанных образцов (от каждого класса) была использована для обучения алгоритма, на другой половине проводилась проверка (и наоборот). Результаты, полученные от обоих классификаторов, объединялись.

Разбиение выборки на большее число частей нецелесообразно вследствие малой статистики по редким классам.

Обучение алгоритма производилось для каждой точки отбора отдельно. В ходе проверки алгоритм присваивает каждой пробе из проверочной выборки определенный класс, и этот класс сравнивается с известным. Если оба класса совпали, определение считается точным. Отношение количества точных попаданий к общему количеству проб называется точностью определения данного класса. На рисунке 1 изображено изменение точности классификатора по пробе с ЗКП в 2- и 4-классовой классификации, в зависимости от изменения значения K . Падение точности классификации «исправен» при повышении точности классификации «исправен» является естественным следствием изменения разграничения между двумя состояниями. Для других точек отбора это поведение проявляется более ярко (точность классификации состояния «норма» может падать до 50%).

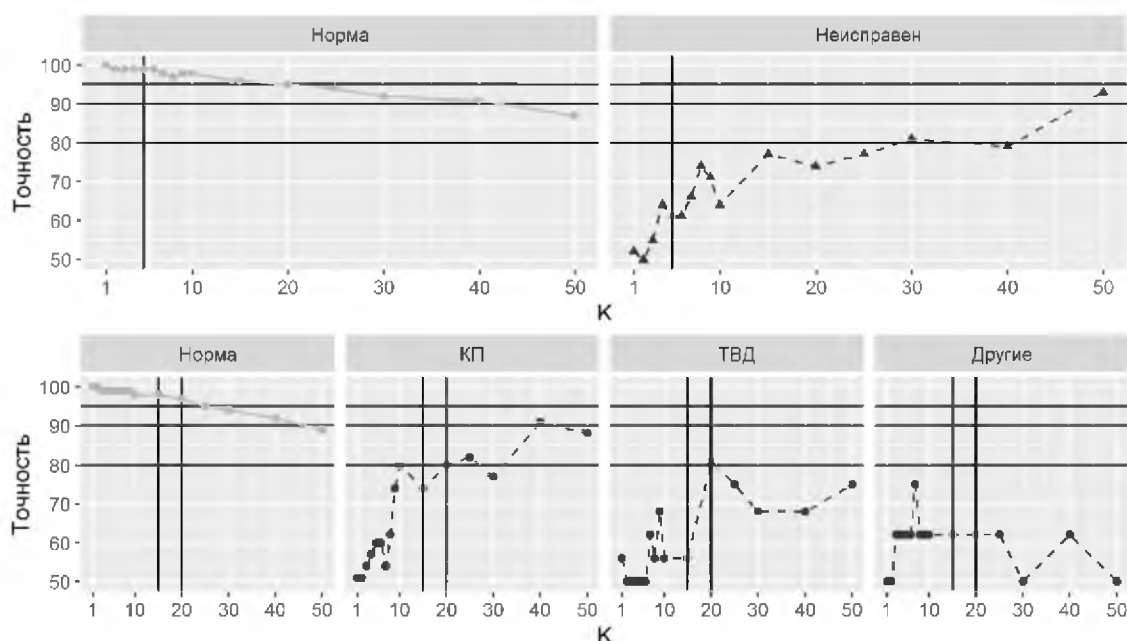


Рис. 1 Точность 2- и 4-х классовой классификации по пробе с ЗКП

Каждое сочетание значения K и выбранной точки отбора представляет из себя отдельный классификатор. Три горизонтальными чертами отмечены границы точности в 80, 90 и 95%. Вертикальной чертой на рисунке верху отмечено значение $K=5$. Двумя вертикальными чертами снизу отмечены значения $K=15$ и 20.

По итогам работы можно сказать следующее. Ни один классификатор наличия неисправности одновременно не находится выше 90% для обоих показателей точности. Один из лучших классификаторов наличия неисправности – ПКП со значением $K=5$ (Точность в 90, 80% для исправных и неисправных двигателей соответственно). ЗКП-классификатор хорошо определяет исправные двигатели (95%) и наличие дефекта ЗКП (80%) при $K=20$. МФС-классификатор хорошо определяет исправные двигатели (95%) и наличие дефекта ТВД (85%) при $K=15$.

При удалении из выборки класса «исправен», т.е., считая все образцы заведомо неисправными, и ставя задачей определение дефектного узла (КП, ТВД или др.), МФС классификатор показывает точность 96% при определении КП, 85% при определении ТВД, и 70% при определении др.

Точность классификации исправен/неисправен двигателей с дефектом ТВД или КП упала с 48-54% до 31-38% после удаления из пробы образцов с данным видом дефекта.

Заключение

Полученные алгоритмом результаты далеки от результатов экспертного метода (ручной диагностики), как по количеству, так и по содержанию. Причин тому несколько.

В работе учтено только текущее состояние двигателя, без привязки к предыдущим состояниям. Последнее попросту необходимо для каких-либо суждений о развитии дефекта. В контексте случайного леса это может быть выполнено, например, путем учета градиента параметров относительно одного или нескольких предыдущих состояний (в качестве независимого набора параметров). Информация, накопленная в классе «особый контроль», здесь станет ключевой.

Другой проблемой является то, что система плохо распознаёт дефект при отсутствии идентифицирующих его образцов в обучающей выборке. Она может быть решена двумя путями – экспертом заготавливается гипотетический набор значений параметров, который характеризует дефект и вносится в обучающую выборку в определенном объеме. Другой путь - накопление статистики.

Возможные дальнейшие действия по улучшению результата:

- Вычисление дополнительных диагностических параметров
- Иной путь учета параметров редких составов.
- Фильтрация «лишних» параметров. Может быть сделано на основе анализа наиболее часто используемых переменных для полученных классификаторов.
- Объединение проб с различных точек отбора в единый классификатор, в качестве независимых параметров, источников информации.
- Использование информации о предыдущих состояниях двигателя.

Список использованной литературы:

1. Техсправка №44-517141. Двигатели Д-30КП/КУ/КУ-15, имевшие неисправности узлов и агрегатов, омываемых маслом при контроле сцинтилляционным методом за период 2000-2007 гг. – ОАО НПО «Сатурн» – г. Рыбинск – 2008. – С. 18
2. Состояние и перспективы развития спектральной трибодиагностики авиационных газотурбинных двигателей. / Иноземцев А.А., Дроков В.Г., Дроков В.В., Казмиров А.Д., Калошин А.Е. // Контроль. Диагностика – 2012. – № 9. – С. 20-28.
3. Дроков В.Г. Повышение достоверности результатов диагностирования газотурбинных двигателей сцинтилляционным методом с целью снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации воздушных судов : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.14, 05.26.02 / В.Г. Дроков – Иркутск – 2009. – С. 42.
4. Ho, Tin Kam. Random Decision Forests. / Ho, Tin Kam // Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC – 1995. – Vol. 1 – P. 278–282.
5. Breiman L. "Random Forests" / Breiman L. // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45 (1) – P. 5–32. – doi:10.1023/A:1010933404324.

Анализ влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на усилие втягивания при выполнении болт-заклепочных соединений

Е.В. Черных¹, С.А. Зайдес²

¹Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Корпорация «Иркут», Российская Федерация, 664020, г. Иркутск, улица Новаторов, 3.

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Целью работы является оценка влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания при выполнении болт-заклепочных соединений. Анализ влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания стержней проведен на основе расчетных и экспериментальных данных при выполнении исследовательских работ. Для оценки усилий втягивания применяли покрытия и смазки ВАП-2, цетиловый спирт и ПП95/5. По результатам исследовательских работ были определены величины усилия втягивания стержней болт-заклепок в зависимости от применения разных покрытий и смазок. Также были определены покрытия и смазки, обеспечивающие минимальную величину усилия втягивания стержня. Проведенные исследования позволили выявить характеристики покрытий и смазок, обеспечивающие минимальные величины усилия втягивания стержней болт-заклепок в процессе сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной менее 2D (D – диаметр отверстия под стержень болт-заклепки). Результаты исследования показали направление дальнейших исследований при изучении влияния антифрикционных покрытий на процесс сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной более 2D.

Ключевые слова: болт-заклепочное соединение, толщина пакета, отверстие, стержень, антифрикционное покрытие, технологическая смазка, усилие втягивания.

Введение.

Болт-заклепка с технологическим хвостовиком (рис. 1) состоит из двух деталей: стержня и кольца. Стержень имеет закладную головку, гладкую часть, равную толщине пакета, цилиндрическую часть с кольцевой накаткой в месте соединения с кольцом, шейку и хвостовик с кольцевой накаткой [1].

Разрушение конструкций, как правило, начинается в местах соединения элементов. Поэтому при выполнении болт-заклепочных соединений

необходимо обеспечить соответствующую обработку отверстий и радиальный натяг при постановке стержня, а также осевой натяг при обжатии кольца. При обеспечении радиального натяга существенно повышается выносливость и герметичность крепежных соединений [2]. Для выполнения соединений с радиальным натягом применяется крепеж из титановых сплавов и стали, защищаемый в соответствии с действующей технической документацией [2].



1 - закладная головка; 2 - гладкая часть; 3 - цилиндрическая часть с кольцевой накаткой; 4 - шейка; 5 - хвостовик с кольцевой накаткой, 6 – кольцо

Рис. 1. Конструкция болт-заклепки с технологическим хвостовиком до выполнения соединения:

Процесс выполнения болт-заклепочных соединений состоит из нескольких этапов: технология предварительной сборки конструкции, технология выполнения отверстий под стержни болт-заклепок, технология сборки конструкции на внутришовном герметике, технология болт-заклепочного соединения [1]. Процесс выполнения болт-заклепочных соединений можно разделить на два основных перехода: втягивание стержней болт-заклепок и осаживание кольца.

Метод втягивания является более технологичным по сравнению с запрессовкой стержней, поскольку способствует снижению величин усилий для обеспечения натяга, улучшению центровки стержня и снижению коробления конструкции [3]. В [3] описан метод установки болтов с натягом при помощи приспособления, обеспечивающего предварительное растяжение болта при втягивании его в отверстие. Однако данный метод применим при свободном подходе технологического оборудования с двух сторон собираемых элементов и для процесса втягивания стержней при сборке крупногабаритных агрегатов неприемлем.

Целью данной работы является оценка влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания при выполнении болт-заклепочных соединений.

Свойства, назначения технологических смазок и покрытий. Согласно [4] и [5] для обеспечения минимальных величин усилия втягивания и снижения трения при установке стержней в отверстия следует применять

антифрикционные покрытия и технологические смазки, такие как ПП95/5, ВАП-2.

Технологическая смазка ПП95/5 предназначена для покрытия боеприпасов с целью предохранения их от коррозии светло-коричневого цвета. Смазка содержит петролатум, парафин, едкий натр технический в соответствии с [6].

Антифрикционное покрытие ВАП-2 предназначено для снижения трения, улучшения прирабатываемости рабочих поверхностей, устранения задигов, схватывания в узлах трения и для защиты вибронегруженных сочленений от фреттинга и фреттинг-коррозии. Покрытие ВАП-2 рекомендуется для работы на воздухе, в вакууме, в средах минеральных масел, керосиновых топлив, смазок на минеральной основе, гидрожидкостей, синтетических масел типа ВНИИНП-50-1-4Ф и ИПМ-10. Покрытие работоспособно при температурах от -196°C до +300°C.

Суспензия ВАП-2 представляет собой пленкообразующий состав в виде раствора антифрикционных и износостойких наполнителей в эпоксидном связующем [7].

Применение смазки ПП95/5 и ВАП-2 рекомендовано в нормативной документации Российской Федерации по выполнению болтовых и болт-заклепочных соединений. Нанесение этих покрытий выполняется кистью (ВАП-2) и пропиткой (ПП95/5) на гладкую часть стержней, что увеличивает трудоемкость изготовления изделий.

Цетиловый спирт (гексадеканол-1) предназначен для применения в органическом синтезе (косметике) и лабораторной практике. Как описано в [8] представляет собой белое или желтоватое кристаллическое вещество в виде хлопьев или гранул. Гексадеканол-1 относится к жирным спиртам.

Цетиловый спирт нашел широкое применение при выполнении болт-заклепочных и болтовых соединений с натягом импортного производства при изготовлении самолетов типа Airbus. Нанесение цетилового спирта производится путем окунания стержней в раствор, что снижает трудоемкость изготовления изделий. Применение цетилового спирта как антифрикционного покрытия в Российской Федерации пока неприемлемо в связи с отсутствием регламентирующей нормативной документации.

Методика исследования. Болт-заклепочные соединения были выполнены на образцах, состоящих из двух деталей (из двух пластин) общей толщиной 5 мм и трех деталей (из двух пластин и профиля) общей толщиной 7,5 мм, имитирующих продольный стык агрегата самолета. Все детали из алюминиевых сплавов 1163РДТВ (пластины) и В95очТ2 (профиль). На рисунке 2 показана конструкция и размеры изготавливаемых образцов. Размеры между точками крепления деталей выбраны согласно конструкторской документации и составляют 20 мм (см. рис. 2). Отверстия под стержни болт-заклепок были выполнены Ø4Н7 с шероховатостью $Ra=0,8$ мкм по технологии, описанной в [1].

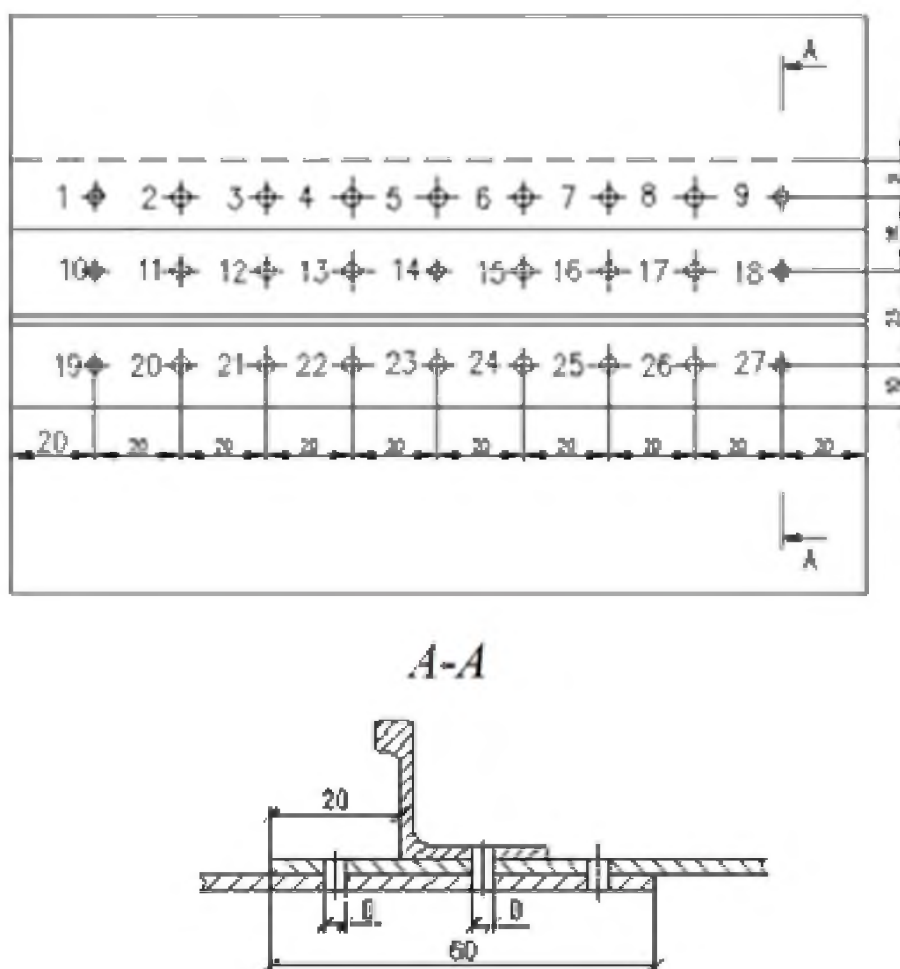


Рис. 2. Конструкция и размеры образцов

Всего было изготовлено 5 образцов (см. таблицу 1). В каждом образце установлено по 18 стержней гладкой частью длиной 5 мм и по 9 стержней с гладкой частью длиной 8 мм. Перед установкой стержней в отверстия на них были нанесены антифрикционные покрытия и технологические смазки по рецептурам и способами, указанными в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Характеристики образцов (пакетов)

Номера образцов	Обозначение отверстий*	Общая толщина пакета образцов, мм	Диаметр отверстия, мм	Покрытие стержней
Образец №1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	5	Ø4Н7	Отсутствует
	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	7,5		
Образец №2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	5	Ø4Н7	ВАП-2 по рецептуре 1
	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	7,5		
Образец №3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	5	Ø4Н7	ВАП-2 по рецептуре 2
	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	7,5		
Образец №4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	5	Ø4Н7	ПП95/5

Номера образцов	Обозначение отверстий*	Общая толщина пакета образцов, мм	Диаметр отверстия, мм	Покрытие стержней
	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	7,5		
Образец №5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	5	Ø4Н7	Цетиловый спирт по рецептуре 2
	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27			Цетиловый спирт по рецептуре 1
	10, 13, 15, 17	7,5		Цетиловый спирт по рецептуре 2
	11, 12, 14, 16, 18			Цетиловый спирт по рецептуре 1
*Согласно рис. 2				

Для выполнения болт-заклепочных соединений был применен пневмогидравлический пресс фирмы Alcoa HUCK 244, позволяющий выполнять втягивание стержней и обжатие колец болт-заклепочных соединений.

При втягивании стержней болт-заклепок определяется усилие втягивания в зависимости от типа и диаметра стержня, развиваемого усилия затягивания инструмента. Усилие втягивания выражается через давление подачи штока инструмента и определяется по формуле (1) и должно быть менее 85% от минимального усилия отрыва хвостовика согласно [5].

$$P_{\text{вт}} = \frac{F_{\text{от}} \cdot 0,85}{F_{\text{ин}}} \cdot P_{\text{р}} \quad (1)$$

где $P_{\text{вт}}$ – давление подачи штока [бар],

$F_{\text{от}}$ – минимальное усилие отрыва хвостовика принимается по нормативной документации на изготовление стержней болт-заклепок [Н],

$F_{\text{ин}}$ – развиваемое усилие затягивания инструмента принимается по паспорту инструмента [Н],

$P_{\text{р}}$ – рабочее давление инструмента принимается по паспорту инструмента [бар].

Давление подачи штока инструмента для втягивания стержней болт-заклепок определенное по формуле (1) составило $P_{\text{вт}}=1,29$ бар при минимальном усилии отрыва хвостовика диаметром Ø4 мм согласно [9] $F_{\text{от}}=5000$ Н, развиваемом усилии затягивания инструмента $F_{\text{ин}}=20489$ Н, рабочем давлении инструмента $P_{\text{р}}=6,22$ бар.

Таблица 2 - Рецептуры антифрикционных покрытий и технологических смазок и способы нанесения на стержни болт-заклепок

№п/п	Наименование покрытия	Рецептура покрытия	Способ нанесения на стержни болт-заклепок
1	ВАП-2	Рецептура 1: Количество пленкообразующего состава 100 г., количество растворителя 100 мл, толщина покрытия 10 мкм.	Кистью на гладкую часть
		Рецептура 2: Количество пленкообразующего состава 100 г., количество растворителя 250 г., толщина покрытия 10 мкм.	
2	Цетиловый спирт	Рецептура 1: Цетиловый спирт на основе деминерализованной воды	Окунанием в сетчатой корзине
		Рецептура 2: Цетиловый спирт на основе уайт-спирита	
3	ПП95/5	Рецептура по ГОСТ 4113 ⁵ -80	5 стержней окунанием на проволоке, остальные окунанием в сетчатой корзине

Результаты исследования. Эксперименты, выполненные с использованием антифрикционного покрытия ВАП-2 показали, что при втягивании стержней болт-заклепок потребовалось усилие, близкое к расчетному $P_{\text{вт}}=1,29$ бар (см. табл. 3). Следует отметить, что при этом толщина покрытия, наносимая кистью на гладкую поверхность, была неравномерной, а сама технология нанесения покрытия не соответствует требованиям серийного производства.

Аналогичные результаты по усилию втягивания стержней получены и при использовании технологической смазки ПП95/5 ($P_{\text{вт}}=1,29$ бар, см. табл. 3), однако проблемы с технологией нанесения смазки имели место и в данном случае. После окунания стержней, закрепленных на проволоке, в технологическую смазку ПП95/5, было выявлено, что полученное покрытие мгновенно застывает и слой получается неравномерным, при стекании излишков смазки в горячем состоянии она застывает и скапливается в одном месте в виде капель (рис. 3а). После окунания стержней в смазку с помощью корзины слой покрытия получается также неравномерным (рис. 3б). В процессе сушки стержней в печке, смазка вновь расплавляется и, в результате, после сушки стержни болт-заклепок слипаются между собой. Нанесение смазки ПП95/5 требует больших технологических затрат. При выполнении болт-заклепочных соединений происходит также загрязнение кулачков инструмента для втягивания стержней.

Таблица 3 - Усилие втягивания стержней при выполнении болт-заклепочных соединений

Номера точек крепления*	Толщина пакета, мм	Образцы				
		№1	№2	№3	№4	№5
		Давление подачи штока, бар				
1	5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
3		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
5		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
6		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
7		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
8		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
9		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
10	7,5	2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
11		2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
12		2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
13		2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
14		1,6	1,3	1,3	1,3	1,5
15		2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
16		1,8	1,3	1,3	1,3	1,3
17		2,0	1,3	1,3	1,3	1,5
18		2,0	1,3	1,3	1,3	1,3
19	5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
20		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
21		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
22		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
23		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
24		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
25		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
26		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
27		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

*Согласно рис. 2



Рис. 3. Стержни болт-заклепок после окунания в технологическую смазку ПП95/5 с помощью: а) проволоки, б) сетчатой корзины

Применение цетилового спирта обеспечивает величину усилия втягивания, близкому к расчетному $P_{вт}=1,29$ бар в пакетах толщиной 5 мм (см. табл. 3). При выполнении болт-заклепочных соединений на образцах из трех деталей общей толщиной 7,5 мм усилие втягивания было превышено на 0,2 бар и составило $P_{вт}=1,5$ бар, что приближено к минимальному значению усилия отрыва хвостовика. Цетиловый спирт был приготовлен на основе деминерализованной воды и уайт-спирита и нанесен путем окунания с помощью сетчатой корзины. Цетиловый спирт на основе уайт-спирита имеет более равномерный слой, чем на основе деминерализованной воды (рис. 4). Для выполнения процесса нанесения цетилового спирта на основе уайт-спирита необходимо приобретение специального оборудования во взрывозащищенном исполнении. Тем не менее процесс нанесения обеспечивает высокую производительность и применим для серийного производства.

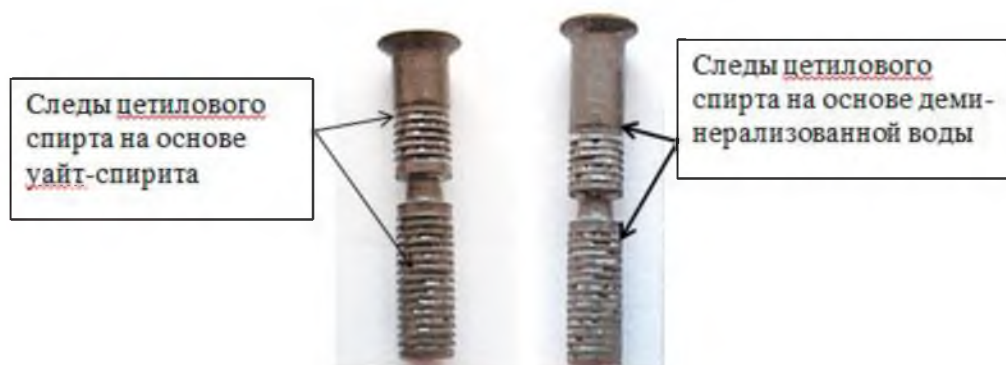


Рис. 4. Стержни болт-заклепок после окунания в раствор цетилового спирта с помощью сетчатой корзины

По результатам зафиксированных усилий втягивания видно, что при минимальной толщине пакета 5 мм усилие втягивания одинаково, а при толщине 7,5 мм стержни втягиваются с различными усилиями в зависимости от применения антифрикционных покрытий и технологических смазок (см. табл. 3, рис. 5).

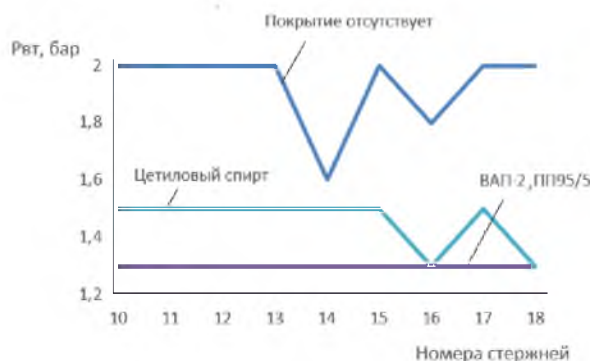


Рис. 5. График зависимости величины усилия втягивания от применяемых антифрикционных покрытий и технологических смазок при сборке пакета общей толщиной 7,5 мм

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что на выполнение качественного болт-заклепочного соединения влияют не только диаметр отверстия и стержня болт-заклепки как описано в [5]. Опыты показали, что толщина пакета оказывает существенное влияние на величину усилия втягивания стержней болт-заклепок. С увеличением толщины пакета усилие втягивания растет, так как при этом увеличивается не только усилие, затраченное на трение, но и снижается качество смазочного слоя за счет технологических потерь при перемещении стержня.

Проведенные исследования позволили выявить характеристики покрытий и смазок, обеспечивающие минимальные величины усилия втягивания стержней болт-заклепок в процессе сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной менее $2D$ (D – диаметр отверстия под стержень болт-заклепки). Результаты исследования показали направление дальнейших исследований при изучении влияния антифрикционных покрытий на процесс сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной более $2D$.

Выводы. Выполненные исследовательские работы по оценке влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания стержней болт-заклепок в пакет позволили установить следующее:

1. При отсутствии технологических смазок и покрытий давление в рабочих инструментах, которые используют для втягивания стержней болт-заклепок, а, следовательно, и усилие втягивания возрастает на (50...70)%;
2. При сборке тонких пакетов толщиной менее $2D$ при использовании болт-заклепок вид технологической смазки и антифрикционного покрытия практически не влияет на усилие втягивания стержней.
3. Установлено, что с увеличением толщины пакета вид технологической смазки существенно влияет на величину усилия. Наименьшее усилие втягивания получено при использовании технологической смазки ПП95/5 и антифрикционного покрытия ВАП-2;
4. Опыты показали, что существующие на производстве способы нанесения смазок и покрытий не являются эффективными в условиях серийного производства. Более равномерный слой покрытия обеспечивает цетиловый спирт, но в настоящее время отсутствуют результаты исследований для разработки технологических инструкций.

Список использованной литературы:

1. Е.В. Черных, С.А. Зайдес Анализ технологии сборки болт-заклепочных соединений с натягом//Вестник ИрГТУ Том 21, №8, 2017, С. 49-57.
2. А.Г. Громашев Технологическое проектирование высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений: Актуальные проблемы самолетостроения, М.: Аграф-пресс 2006, 304 с.

3. Патент СССР № 4890773/27, 30.07.1992. Способ установки болта с натягом // Патент СССР № 1751478. 1990. Бюл. № 28. / Румянцев Э.Н., Шаманов А.Г., Новиков Г.А., Бабичев В.Г.
4. РТМ 1.4.1941-89. Сборка болтовых соединений, НИАТ, 1989, 53 с.
5. ОСТ 1 42392–88. Соединение деталей и узлов болт-заклепками с технологическим хвостовиком. Типовой технологический процесс, НИАТ, 1988. 57 с.
6. ГОСТ 4113-80. Технологическая смазка ПП95/5. Технические условия, 1980, 4 с.
7. Официальный сайт ФГУП «ВИАМ»: электронный путеводитель / Главная/ Научные направления/ Жаропрочные стали и сплавы/ Антифрикционные покрытия. - [М.], / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: https://viam.ru/anti_friction_coatings (дата обращения: 18.09.2017)
8. ТУ 6-09-3813-86. Гексадеканол-1 (цетиловый спирт) чистый. Технические условия, 1986, 9 с.
9. ОСТ 1 30034-2012. Стержни болт-заклепок с уменьшенной полупотайной головкой <100° из титанового сплава. Конструкция, Нормаль, 2012, 10 с.

УДК 62-03

Выбор технологии изготовления обшивки БПЛА из углепластика

Т.Л. Янчук, А.С. Говорков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье представлен один из видов беспилотного летательного аппарата. На основании формы обшивки БПЛА и требований различных физико-механических свойств выбран метод изготовления обшивки из углепластика. Исходя из габаритных размеров составленной модели, характеристик материала, рассчитана ее максимально допустимая масса для сохранения прочности и возможности полета. Так же описаны возможные проблемы, с которыми приходится сталкиваться при составлении технологического процесса изготовления деталей из композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционный материал, технология изготовления, БПЛА (беспилотный летательный аппарат), обшивка.

Стремительное развитие на сегодняшний день получают разработка и создание БПЛА для различных сфер применения. Возрастает количе-

ство их форм (типов) и материалов, из которых изготавливают обшивку в частности. Необходимость правильного подбора методов изготовления вытекает из рационализации труда и требований в экономичности производства. Так как размеры беспилотных аппаратов гораздо меньше реальных самолетов, то их маневренность позволит с большим удобством использовать их во многих вопросах, к примеру исследования местности, наблюдение за процессами с расстояния, транспортировка объектов.

Технологий изготовления деталей из композиционных материалов различное множество. Выбор материала и технологии зависит от требуемых конечных физических и механических свойств. Для летательного аппарата наиболее важными характеристиками являются легкость (малая плотность) в сочетании с высокой прочностью и низкая шероховатость поверхности для обеспечения хороших аэродинамических свойств.

После анализа существующих композиционных материалов [2, 3, 4], наиболее подходящим является углепластик. Технология изготовления деталей из углепластика несколько проще, чем, к примеру, из стеклопластика, поэтому рациональнее использовать именно этот материал. Далее необходимо определиться с технологией изготовления. Наиболее распространенными способами являются:

- вакуумное формование;
- ручное формование;
- метод намотки;
- пултрузия (метод протяжки) и другие.

За основу анализа взята форма БПЛА типа летающее крыло, что несколько усложняет задачу изготовления обшивки в связи со сложной геометрией. На рисунке 1 представлена сама форма.

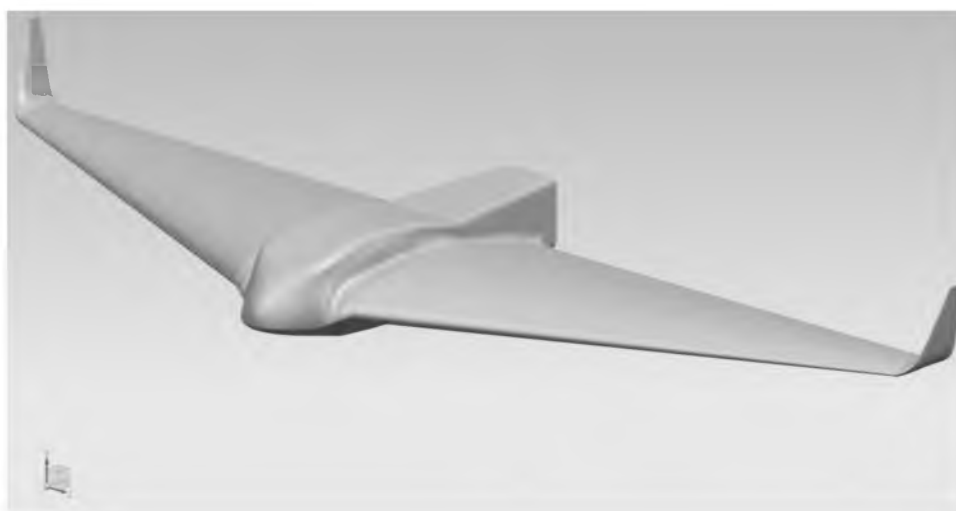


Рис. 1. Модель проектируемого БПЛА

Чаще всего беспилотные летательные аппараты производятся поштучно, иными словами их производство не является массовым.

Поэтому в данном случае представлен вариант единичного производства.

Технологичнее использовать ручное формование с деревянной основой, по причине наибольшей экономичности и простоты изготовления. Это обусловлено следующими факторами:

- основа из массива дерева имеет малый вес в сравнении с металлическим штампом (для штампа требуется создание двух частей для каждой половины обшивки, в то время как для всей обшивки понадобится лишь одна модель/основа из дерева);
- проще изготовить, нежели металлический штамп сложных форм обшивки, то есть потребуются меньшее количество ресурсов (материалов, энергии, трудозатрат) для изготовления формы из дерева;
- рациональнее с точки зрения расхода материалов, раскрой для деревянной формы будет меньше, легче следить за процессами усадки;

При выборе материала для формы и степени натяга композита на форму существует проблема усадки из-за больших деформаций матрицы в сравнении с самим полимерным композитом. Расчет ведут по формуле:

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_{пкм}}{1 - \varphi};$$

где ε_m , $\varepsilon_{пкм}$ – линейная деформация матрицы и полимера соответственно;

φ – степень наполнения полимера.

- стоимость металла выше стоимости дерева, что для единичного производства является не выгодным: металлический штамп в дальнейшем окажется не использован;
- сложность используемой оснастки: при металлической форме будет необходим сам штамп, а в методе ручного формования задействуется ручной труд, что упрощает и удешевляет процесс производства обшивки.

После выбора метода изготовления необходимо решить задачу способа его использования. Представленная сложная форма летательного аппарата задает необходимость его создания из двух частей, с последующим склеиванием эпоксидной смолой той же плотности, которая будет использоваться при создании двух половин обшивки. Ручной выкладкой формируется сначала нижняя часть, не слишком задевая поверхность верхней. При выкладке слоев верхней половины нужно наложить слои немного поверх нижней части для того, чтобы стык не располагался в зоне носа аппарата, это усложнило бы эксплуатационные требования.

Поскольку данные расчеты являются достаточно сложными и объемными, то далее рассматривается изготовление только часть всей поверхности обшивки БПЛА, а именно обшивки консоли крыла без подвижных элементов.

Следующий вопрос заключается в количестве слоев, от которых будут зависеть вес и прочностные характеристики. Средняя плотность углепластика 1500 кг/м^3 , а обшивка БПЛА с габаритными размерами $869 \times 450 \times 63$ из расчетов на модели толщиной в 0.5 мм будет иметь вес 0.3217 кг (так как плотность задана средним значением, то и вес является средней величиной в данных расчетах). Композиционные материалы превосходят другие не только в характеристиках прочности, но и в весовых параметрах.

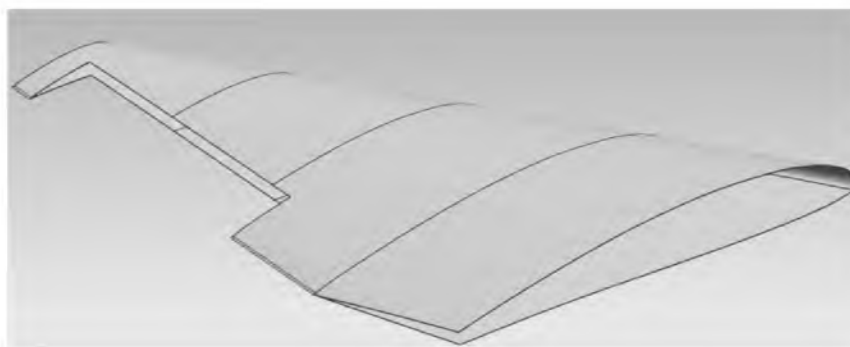


Рис 2. Модель обшивки консоли крыла БПЛА

Существуют различные плетения углеволокна, и различные диаметры нити. От этих показателей зависит толщина самого углеволокна. Она варьируется в пределах $0.1\text{--}4 \text{ мм}$. Для выполнения обшивки консоли представленного крыла на рисунке 2 толщиной 0.5 мм необходимо 2-3 слоя углеткани толщиной $0.1\text{--}0.25 \text{ мм}$. Так как для БПЛА малой массы и размеров не характерны большие перенапряжения при эксплуатации, то двух слоев ткани толщиной 0.25 мм будет достаточно для обеспечения прочности.

Второй элемент – связующее, а именно эпоксидная смола. Эпоксидные смолы различают по плотности консистенции. Смола должна быть настолько плотной, насколько у ткани будет соответствовать потребление смолы и заполнение размеров просветов в ткани. Для данных характеристик ткани подойдет смола с плотностью около 300 г/м^2 . При этом потребление смолы ткани будет необходимо обеспечить примерно равным 45 г/м^2 , таким образом будет обеспечиваться экономичный расход материалов.

Третьим элементом служит разделитель. Он отвечает за отсоединение готовой детали от формы, отсутствие склеивания между ними. Чаще всего ими являются разделительные воски, включающие в себя эпоксидные смолы, воски различных происхождений. Содержание в них эпоксидных смол обуславливается необходимостью контакта подобных поверхностей: для плотного контакта поверхности формы и матрицы с наполнителем, для обеспечения отсутствия пузырей воздуха (при ручном формовании нет гарантии в их отсутствии в отличие от вакуумного способа формовки).

Исходя из вышеперечисленных характеристик материала, формы консоли крыла, количества требуемого материала составляется технологический процесс создания обшивки крыла:

- создание деревянной формы нужных размеров с учетом процессов усадки получаемого материала;
- раскрой материала;
- подготовка поверхности формы для ручного холодного формования;
- покрытие формы разделительным воском;
- постепенная выкладка слоев (производится выкладка ткани с последующей полной пропиткой всей поверхности слоя, повторение для каждого слоя ткани);
- ожидание необходимого для затвердевания времени (зависит от качества и характеристик элементов);
- предварительная обработка поверхности затвердевшего элемента (первичное шлифование, обработка краев);
- снятие детали с формы;
- финишная обработка детали (если требуется);
- проверка соответствию заданной форме и размерам, проверка на наличие дефектов поверхности.

Список использованной литературы:

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г., Полимерные композиционные материалы, изд. НИТПУ, 2013.
2. Власов С.В., Калинин Э.С., Кандырин Л.Б. Основы технологии переработки пластмасс. – М.: Химия, 1995. – 528 с.
3. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.
4. Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения, ВИАМ, 1996.
5. Преображенский А.И. Стеклопластики – свойства, применение, технологии., журнал «Главный механик», Москва, 2010.

Технологическое обеспечение герметичности разъёмных соединений на основе многодискового шлифования

С. Н. Гайсин, С. А. Зайдес, Лэ Хонг Куанг, И.А. Чевтаев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Рассмотрены шлифовальные головки для доводки или восстановления уплотнительных поверхностей (УП) трубопроводной арматуры. Изготовлена новая конструкция многодисковой шлифовальной головки на основе разработанной кинематической схемы сложного кругового вращательно-осциллирующего движения инструмента. Проведено сравнение эффективности процесса восстановления УП с помощью шлифовальных головок указанного типа с тремя и пятью дисками. Показан способ формирования плотного межуплотнительного пространства затворного узла.

Ключевые слова: *трубопроводная арматура, уплотнительные поверхности, многодисковый шлифовальный инструмент, восстановление поверхностей, статическое уплотнение.*

Запорная трубопроводная арматура, предназначенная для перекрытия потоков жидких и газообразных сред, широко используется в нефтехимических производствах, транспортных трубопроводах, на предприятиях энергетики (ТЭЦ, ГЭС) и многообразных технических системах.

Анализ дефектов деталей запорной трубопроводной арматуры показал, что, например, на Ангарском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ ОАО «АНХК») около 80 % всех дефектов связано с коррозией уплотнительных поверхностей, 10...15 % дефектов возникает по причине механического износа. На ТЭЦ Иркутского авиационного завода почти 90 % повреждений уплотнительных поверхностей затворов происходит из-за механического износа, около 3 % – вследствие коррозионных процессов.

Внутренняя герметичность запорной арматуры оценивается по величине утечек через уплотнение затвора в единицу времени. В соответствии с ГОСТ9544-2015 в большинстве случаев утечки среды через детали и узлы не допускаются, так как эти показатели (наряду с герметичностью) определяют безопасность эксплуатации трубопроводной арматуры.

Вследствие сложного контактного взаимодействия уплотнительных поверхностей (УП) запорной арматуры происходят процессы нагружения и разрушения поверхностных слоев и нарушения внутренней герметичности (герметичности в затворе). Для восстановления герметичности затвора в производственных условиях обычно проводят капитальный ремонт УП.

При анализе технических характеристик многодискового шлифовально-притирочного оборудования, как отечественного, так и зарубежного производства был выявлен основной конструктивный недостаток: это отсутствие регулируемого осциллирующего движения.

Цель данной работы – разработать кинематическую схему процесса микроорезания на основе, которой спроектировать и изготовить многодисковые шлифовальные головки, предложить способ формирования плотного межуплотнительного пространства затворного узла запорной трубопроводной арматуры.

Разработка кинематической схемы. Изучив кинематику процесса микроорезания, выяснили, что сложное круговое движение по окружности плоской поверхности может квалифицироваться двумя движущимися силами [4, 8, 9]:

- принудительным вращением шлифовальных или доводочных дисков (далее – рабочих дисков);
- вторичным вращением рабочих дисков, являющимся производным от главного движения инструментальной головки.

В работе рассмотрен второй вариант движения рабочих дисков. При проектировании инструмента предположили, что под действием сил трения, возникающих при главном движении основного диска, будут вращаться и рабочие диски (вторичное движение).

Отметим, что направление вращения рабочих дисков, несущих режущие поверхности, противоположно направлению вращения основного диска. Для пояснения изложенного рассмотрим две диаметрально противоположные точки рабочего диска, лежащие на некотором радиусе главного вращения основного диска головки (рис. 1). Радиусы вращения этих точек рабочего диска различны, что создаёт в процессе главного вращения для диаметрально противоположных точек определённую разность хода.

Вращение рабочих дисков осуществляется главным движением (вращением) и подачей (осевым усилием F , направленным по оси смещения и прижимающим рабочую плоскость шлифовальной головки к обрабатываемой УП). При этом рабочие диски вращаются вокруг своей оси в сторону, противоположную главному движению, под действием крутящего момента и радиальных сил трения r_1 и r_2 (сцепления) с обрабатываемой поверхностью. Осциллирующее движение обеспечивается конструктивным эксцентриситетом между геометрическим центром шлифовальной головки и центром отверстия ступицы диска. Ступица

основного диска головки устанавливается на вал привода, приводящего диск во вращение.

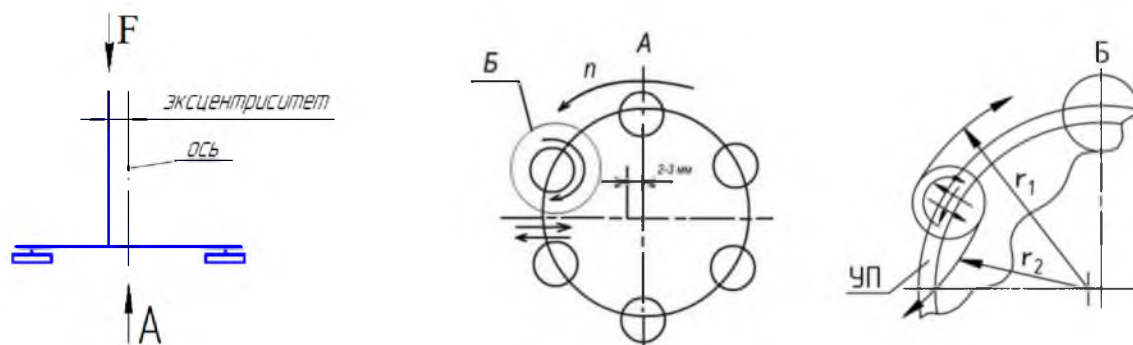


Рис. 1. Кинематика сложного кругового вращательно-осциллирующего движения с условным использованием шлифовальных или доводочных дисков:

На рис. 1 вид «А» – схема расположения рабочих дисков; выноска «Б» - кинематика движения отдельно взятого рабочего диска; n – главное движение (вращение); r_1 и r_2 – радиусы траекторий рабочих дисков

Вторичное вращение рабочих дисков осуществляется только в момент касания инструментом неровностей поверхности (отклонений обрабатываемой УП от плоскостности) на пути движения (рис. 2). Процесс шлифования УП считается законченным, когда все рабочие диски шлифовальной головки вращаются равномерно. Перед шлифованием необходима правка инструмента, чтобы рабочие поверхности дисков находились в одной плоскости (рис. 3). При этом следует учитывать, что допускаемые отклонения режущих поверхностей рабочих дисков должны находиться в пределах допуска по точности оборудования, используемого для правки инструмента.

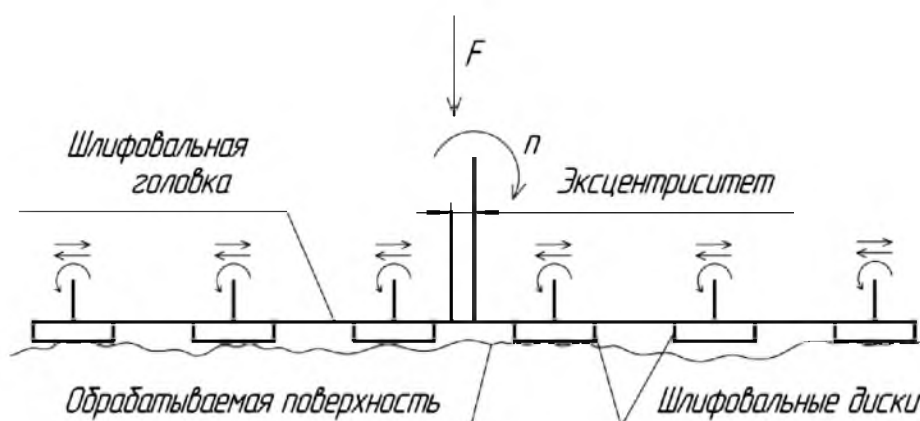


Рис. 2. Схема сложного кругового вращательно-осциллирующего движения при условно развернутой УП и развернуто-наложенной сверху инструментальной головкой

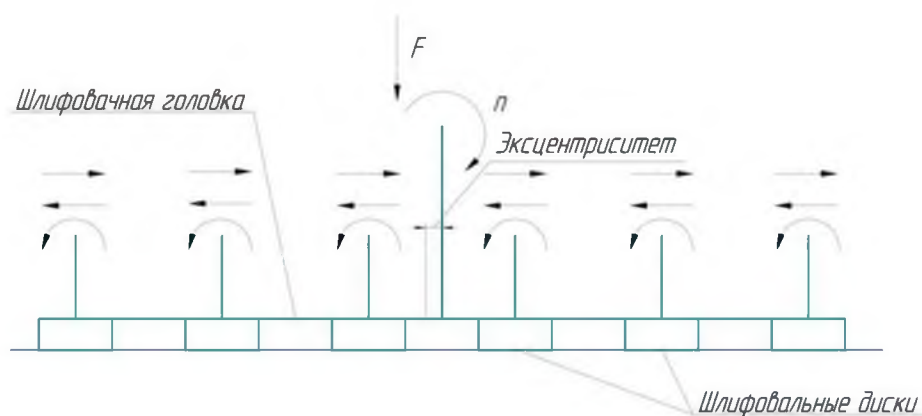
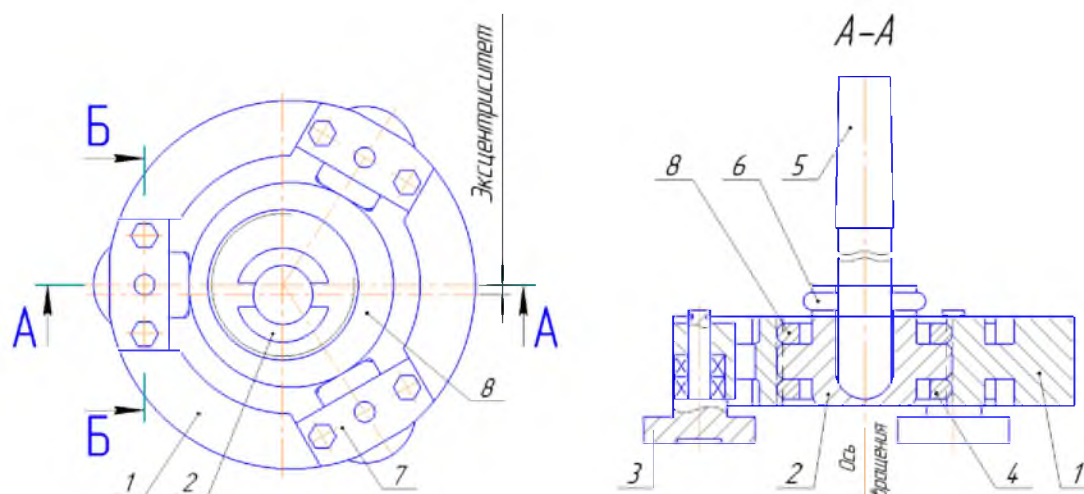


Рис. 3. Условно развернутая инструментальная головка, лежащая на номинальной плоскости

Конструкции многодисковых инструментальных головок. С учетом кинематики и динамики сложного кругового вращательно-осциллирующего движения микрорезания конструктивно проработали и изготовили опытную модель шлифовальной головки с тремя шлифовальными дисками (рис. 4).



1 - планшайба; 2 - съёмная ступица; 3- рабочий диск; 4-контрольная гайка; 5-шпиндель; 6-штифт; 7-вставка; 8- контрольная гайка.

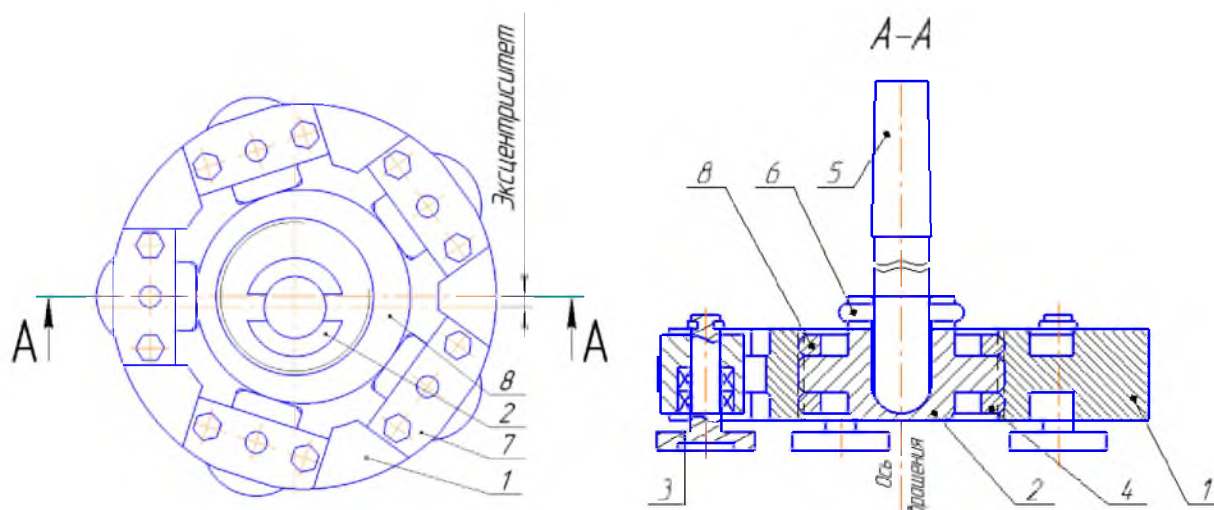
Рис. 4. Конструкция трехдисковой инструментальной головки:

Инструментальная головка работает следующим образом. Крутящий момент от шпинделя 5 через штифт 6 передаётся на планшайбу 1, в результате осуществляется главное (принудительное) вращение планшайбы 1. Осевое усилие через шпиндель 5 прижимает шлифовальную головку кольцевой обрабатывающей плоскостью рабочих дисков 3 к обрабатываемой уплотнительной поверхности. Микрорезание осуществляется за счет противоположного вращения шлифовальных дисков вокруг своей оси относительно главного движения, крутящего момента и сил трения (сцепления) с обрабатываемой поверхностью. Осциллирующее движение создается в результате эксцентриситета между геометрическим центром шли-

фовального блока и регулируемым смещением съёмной ступицы 2, которая устанавливается на валу привода (на чертеже не показан).

Наличие трех рабочих дисков в шлифовальной головке включает в себе две функции. Первая функция, это точки установочной базы непосредственно самой шлифовальной головки на обрабатываемой уплотнительной поверхности, а вторая функция это процесс микрорезания. Но, наличие трех рабочих дисков не позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности многодискового шлифования. Ограничения возможностей выражаются в повышенной удельной нагрузке на абразивный инструмент, снижении стойкости шлифовальной шкурки и качестве формирования УП.

Для совершенствования многодискового шлифовального инструмента, на базе трёхдисковой головки и сохраняющихся габаритных размерах инструмента и конструктивных решений изготовили конструкцию пятидисковой шлифовальной головки (рис. 5) [10]. Увеличение рабочих дисков с 3-х до 5-ти, повышает производительность обработки и формирует более высокое качество уплотнительной поверхности.



1 – планшайба; 2 - съёмная ступица; 3- рабочий диск; 4-контрольная гайка; 5-шпиндель; 6-штифт; 7-вставка; 8- контрольная гайка.Рис. 5. Пятидисковая инструментальная головка для шлифования уплотнительных поверхностей запорной трубопроводной арматуры [10]:

Проведенные испытания показали, что изготовленные опытные конструкции шлифовальных головок соответствуют своему функциональному назначению. При экспериментальной апробации разработанных трех- и пятидисковых шлифовальных головок (рис. 4÷5) установлены следующие показатели качества УП. Обработка партии из семи образцов-свидетелей трехдисковой шлифовальной головкой показала, что УП имели средне-арифметические значения шероховатости $Ra = 0,226$ мкм и волнистости – 8,14 мкм. Результаты обработки УП пятидисковой шлифовальной головкой показали: средние значения шероховатости $Ra = 0,148$

мкм и волнистости – 5,14 мкм.

Шлифовальная головка в комплексе с технологическим оборудованием предназначена для обработки УП затворного узла, как при изготовлении, так и при ремонте промышленной ТА, работающей в условиях агрессивных рабочих сред химических и нефтехимических производств. Головку можно использовать в машиностроении для формирования кольцевых УП деталей машин. В качестве стационарного оборудования можно использовать вертикально-сверлильный станок, а в качестве мобильного оборудования электро- или пневмопривод, например электродрель соответствующей мощности [3, 5, 6, 10, 12].

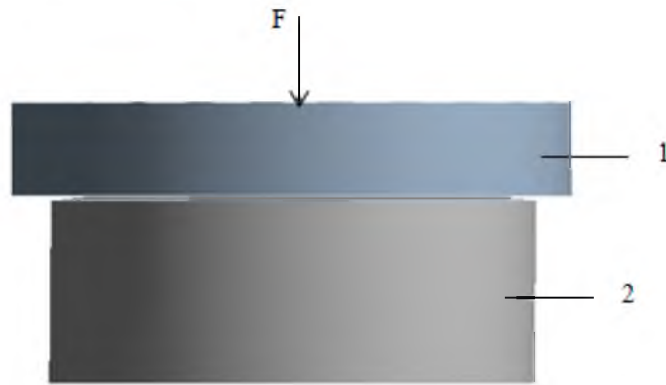
Таким образом, разработанная и созданная конструкция рабочего инструмента со сложной кинематикой движения в практической реализации решает технологические задачи по обеспечению герметичности затворного узла запорной трубопроводной арматуры, а полученные низкие значения показателей шероховатости и волнистости обеспечивает повышение долговечности затворных узлов.

Учитывая требования ГОСТа 9544-2015 устанавливающего нулевые утечки рабочей среды, рассмотрим способ образования механического соединения с полным отсутствием утечек (абсолютной герметичностью) при контакте поверхностей твердых тел. Предполагается, что технологическая операция по формированию абсолютно плотного соединения производится после многодискового шлифования.

Способ формирования плотного межуплотнительного пространства. При многодисковом шлифовании уплотнительной поверхности в процессе формирования плоскостности происходит снижение высоты и длины волны, в результате появляются новые контурные площадки контакта. Формируется высокочастотная составляющая отклонения геометрии и преобладание шероховатых поверхностей, которые являются качественным показателем и будут способствовать формированию статического (механического) запираения.

На финишном этапе проверка затворного узла трубопроводной арматуры на внутреннюю герметичность оценивается тремя факторами: остаточными значениями волнистости, шероховатости и условием герметичности. Для изучения статического (механического) плотного соединения выполнено математическое моделирование плотного межуплотнительного пространства.

Математическое моделирование проведено с помощью программного комплекса Ansys workbench. В качестве модели использована деталь в виде втулки с наружным диаметром 52 мм, внутренним диаметром 30 мм, высотой 20 мм, сталь 30ХГСА, модуль Юнга $E = 2,2 \cdot 10^5$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 440$ МПа. По условиям эксперимента на соединение плита (1), втулка (2) во всех случаях действует усилие $F=2000$ Н, (рис. 6). При разработке математической модели рассмотрели два варианта контакта втулок.

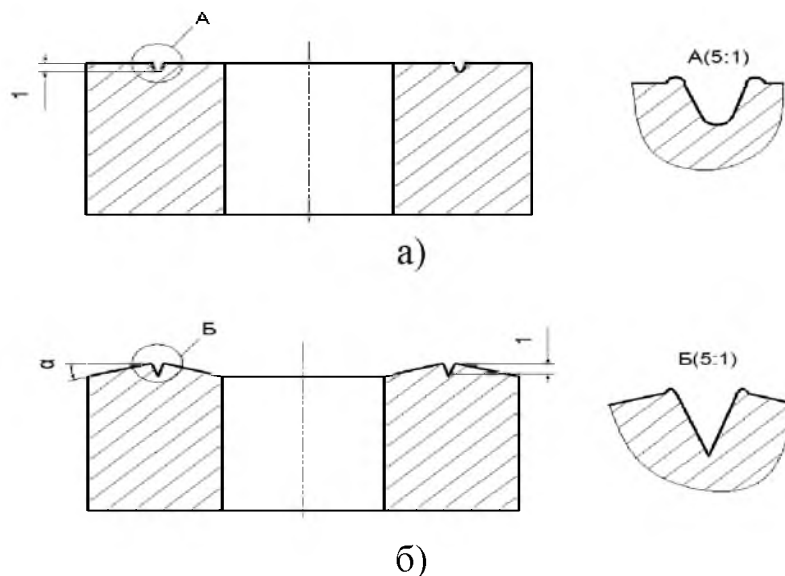


1 – плита, 2 – втулка
Рис. 6. Схема разъемного узла

Условие герметичности обеспечивается формированием замкнутой линии на плоской поверхности. Для формирования замкнутой линии рассмотрено два технологических процесса – обработка поверхности пластическим деформированием и обработка резанием.

В первом варианте непрерывная замкнутая поверхность образована за счет формирования концентрической канавки глубиной около 1 мм стальным шариком (рис. 7 а). За счет формирования пластической волны образуется два замкнутых валика, которые служат запорными элементами.

Во втором варианте канавка глубиной около 1 мм образуется за счет резания металла. При этом с обеих сторон канавки за счет упругопластических деформаций образуется небольшой подъем металла, в результате формируются так же две замкнутые линии, но с острой кромкой на контакте, рис. 7 (б). Результаты моделирования представлены на рис. 8 (а, б) и рис. 9 (а, б).



а–обработка пластическим деформированием; б–обработка резанием.
Рис. 7. Схемы формирования замкнутой линии на плоской поверхности:

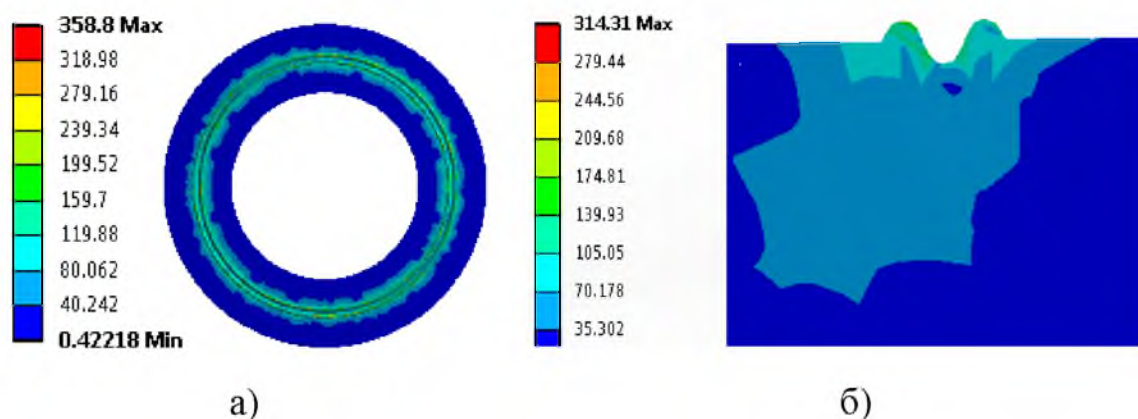


Рис. 8. Эквивалентное напряжение межуплотнительного пространства сформированного пластическим (сферическим) деформированием: а – поверхности; б – по сечению.

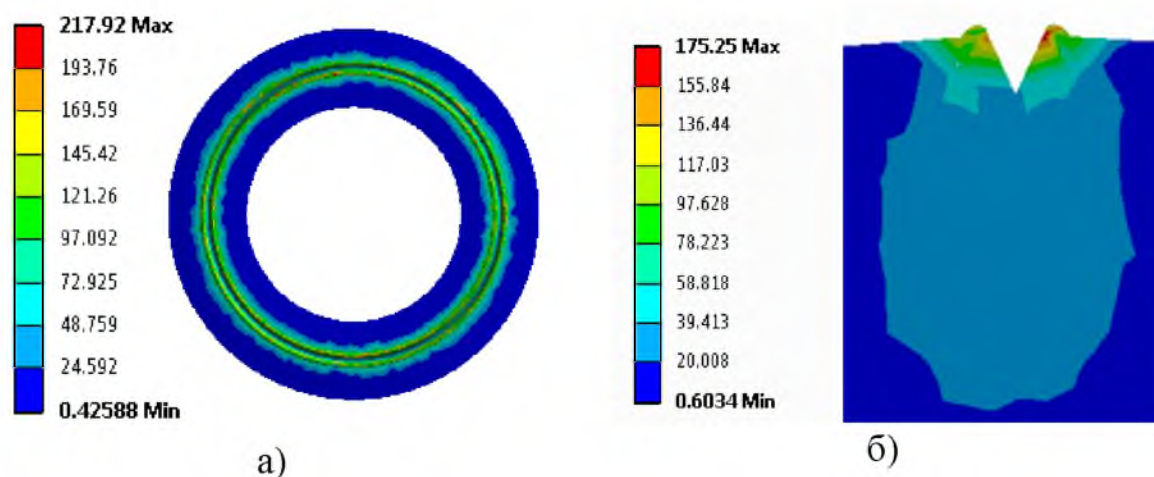


Рис. 9. Эквивалентное напряжение межуплотнительного пространства сформированного резанием: а – поверхности; б – по сечению.

Результаты расчета показывают, что в первом варианте, по результатам проведенного моделирования установлено, что пластические деформации уплотнительной поверхности сферической формы формируют максимально эквивалентное напряжение 358,8 МПа (рис. 8 а, б).

При нагружении валиков с острой кромкой на первоначальном этапе возникают большие напряжения, которые формируют относительно широкую площадку контакта, которая может замкнуть макро-очаги в единую линию. Если же герметичность не обеспечивается, то повторное нагружение потребует значительного увеличения давления на контакте, так как площадь контакта значительно возросла.

Канавка, образованная выдавливанием шариком в этом плане более эффективна, так как она позволяет многократно производить нагружение при малых контактных давлениях. Кроме того, механические характеристики контактного слоя при выдавливании канавки повышаются, что благоприятно сказывается на износостойкости контактной поверхности.

Таким образом, расчеты показали, что способ формирования уплот-

нительных канавок требует тщательной проработки с учетом конкретных характеристик материала уплотнительных элементов.

Внутренняя герметичность затворного узла регламентирована межгосударственным стандартом ГОСТ 9544 – 2015 устанавливающим нормы и классы герметичности затворов трубопроводной арматуры. Самому высокому параметру герметичного соединения металл-металл отвечают требования класса А (отсутствие видимых утечек в течении времени испытания). Таким образом, в работе показан способ статического уплотнения заключающегося в образовании механического соединения с полным отсутствием утечек (абсолютной герметичностью) при контакте поверхностей твердых тел.

Выводы.

1. Разработана новая конструкция шлифовальной головки, обеспечивающая получение плоскостности уплотнительной поверхности трубопроводной арматуры. Эффективность процесса доводки уплотнительной поверхности основана на использовании сложного кругового вращательно-осциллирующего движения режущей головки.

2. Применение пятидисковой шлифовальной головки по сравнению с трехдисковой позволяет снизить величину волнистости уплотнительной поверхности в 1,6 раза, а параметр шероховатости Ra – не менее чем 1,5 раза.

3. Математическое моделирование показало, что условие герметичности, наиболее эффективно обеспечивается замкнутой линией выполненной резанием или методом пластического деформирования.

Список использованной литературы:

1. Бобарика И.О., Демидов А.И., Бейчук Д.Д. О перспективных методах комплексного инженерного анализа трубопроводных систем. Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции. Г. Иркутск. 2016 г. С. 97-101.

2. Бобарика И.О., Яхненко М.С. Методика решения задачи поиска частотного отклика сборной конструкции трубопровода с применением метода конечных элементов. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Академика М.Ф. Решетнева. 2014. №2 (54). С. 16-20.

3. С. Н. Гайсин, Л. Б. Цвик, С. В. Мухин, Д. В. Травин. Исследования кинематики процесса микрорезания при проектировании шлифовальных головок, предназначенных для формирования уплотнительных поверхностей на деталях трубопроводной арматуры // Известия МГТУ – МАМИ. 2011. № 2 (12). С. 116–123.

4. Гайсин С. Н., Зайдес С. А., Горшков В. С., Соболева О. А. Инструментальные шлифовально-доводочные головки, предназначенные для формирования уплотнительных поверхностей элементов трубопроводной арматуры. // Материалы Второй Всероссийской научно-технической кон-

ференции с международным участием «Жизненный цикл конструкционных материалов». НИ ИрГТУ, г. Иркутск, 2012 г. С. 246-256.

5. Гайсин С. Н., Цвик Л. Б., Балакирев В. А. Формирование уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры однодисковыми и многодисковыми шлифовальными головками // Известия вузов. Машиностроение. 2012. № 5. С. 44–50.

6. Зайдес С.А., Гайсин С.Н. Формирование уплотнительной поверхности затворного узла трубопроводной арматуры // Журнал. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2017. №2. С. 24–27.

7. С.А. Зайдес, С.Н. Гайсин. Восстановление уплотнительной поверхности затворных узлов трубопроводной арматуры // Журнал. Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. №11. С. 15–21.

8. Калашников В.А. Оборудование и технологии ремонта трубопроводной арматуры. – М.: Машиностроение, 2001. -232 с., ил.

9. Патент №2106951 (РФ) БИ №8. 1998. Патентообладатели Сейнов С.В., Калашников В.А. Установка для обработки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры.

10. Патент на полезную модель 159212 РФ. Бюл. № [4](#). [2016](#). Патентообладатель: «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»). Авторы: Гайсин С. Н., Зайдес С. А., Цвик Л. Б. Устройство для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей запорной трубопроводной арматуры.

11. Bobarika I., Demidov A., Bukhanchenko S. Hydraulic model and algorithm for branched hydraulic systems parameters optimization. Procedia Engineering Ser. «International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017» 2017. С. 1522-1527.

12. Zaides S.A., Gaisin S.N. Creating sealing surface of shutoff assembly of pipeline fittings. Chemical and Petroleum Engineering. 2017. С. 1-5.

УДК 629.735.3

Исследование влияния методов ремонта полимерного композиционного материала на прочность

А.А. Стуров, А.Е. Пашков

Приведены результаты испытаний на прочность образцов из полимерного композиционного материала (ПКМ), восстановленных с помощью различных методов ремонта.

Ключевые слова: ремонт, углепластик, повреждения ПКМ, испытания на прочность.

Введение

Во время эксплуатации изделий из ПКМ [1,2,3,4] существует вероятность появления различных повреждений, которые могут привести к расслаиванию и разрушению полимерной матрицы, что в результате приводит к разрушению детали и поломке изделия. Для восстановления изделий из ПКМ существует несколько методов ремонта: «Ступеньки», где каждый слой снимается с определенным шагом и «Конус» слои от центра снимаются под определенным углом. Эти методы дают разный процент восстановленной прочности, для их сравнения были изготовлены 4 варианта образцов:

1. Цельные;
2. Отремонтированные методом «Конус»;
3. Отремонтированные методом «Ступеньки» с шагом 12мм;
4. Отремонтированные методом «Ступеньки» с шагом 6мм.

Все образцы согласно ГОСТ 25.601-80 будут иметь габариты Высота/Длина/Ширина как 30 x 20 x 2.2 мм.

Общий вид пластинки показан на рисунке 1.

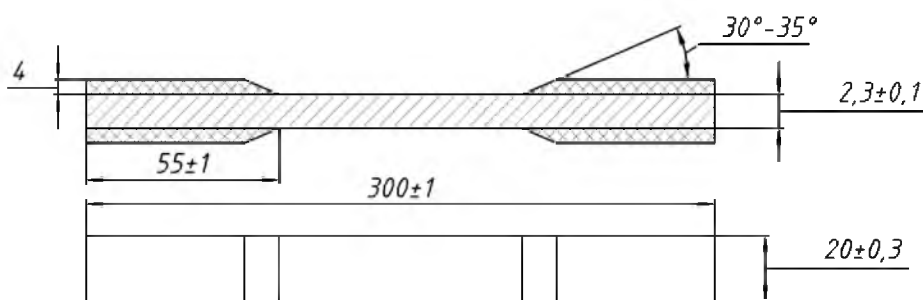


Рис. 1. Общий вид пластинки

Последовательность изготовления пластинок для испытаний:

1. Все образцы были изготовлены из одной пластины 320 x 320 x 2,2 мм.
2. Пластину разрезали на 4 одинаковых блока, один из которых сразу нарезали на 3 части, остальные блоки подвергли ремонту.
3. После проведения ремонта и последующего отверждения все нарезанные и отремонтированные пластинки собрали вместе и с каждой стороны по краям приклеили дополнительные губки необходимые для зажима в тисках испытательной машины и отвердили .

После разрезали все оставшиеся пластины, в итоге получив 12 шт и сделали на каждой пластине узкие места для разрыва.

Все образцы испытывали на универсальной испытательной системе напольного типа «Instron® 5982», применяющиеся для одноосных статических испытаний на растяжение — сжатие. Машина позволяет проводить испытания в соответствии с ASTM E8 / E8M, ГОСТ 1497.

Характеристики:

- усилие 100 кН (22,500 фунтов силы);
- испытательное пространство 1430 мм по вертикали и 575 мм по горизонтали;
- Ход траверсы – 1330 мм;
- точность измерения нагрузки: $\pm 0.5\%$ от чтения до 1/500 способности датчика нагрузки (датчики нагрузки серии 2580);
- частота одновременной регистрации данных до 1 кГц по каналам нагрузки, удлинения и деформации;
- диапазон скоростей от 0,005 до 1016 мм/мин;
- Захваты механические клиновые для испытания плоских и цилиндрических образцов при температурах $-70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- настраиваемая панель управления;
- автоматическое распознавание датчиков нагрузки и экстензометров;
- Комплект статических экстензометров;
- Специальное программное обеспечение Bluehill;
- дополнительные настройки высоты и ширины

Методика испытаний, схема закрепления

Все образцы по очереди были закреплены в тисках с помощью шероховатых губок, после чего были подвергнуты разрушающему контролю на разрыв для сравнения прочности отремонтированных пластинок относительно цельных и выбора вида ремонта, подходящего под те или иные виды нагрузок, приходящихся на деталь. Схема закрепления пластинок в испытательной машине приведена на рисунке 2.

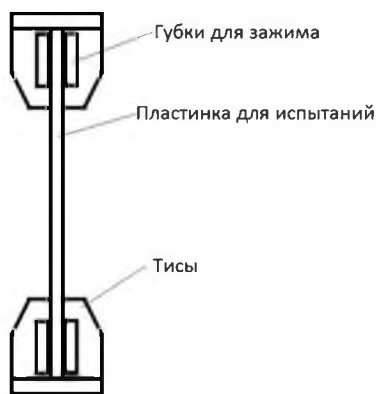


Рис. 2. Схема закрепления пластинок в тисках

По результатам испытаний в программе Bluehill строилась диаграмма растяжений, которая для наглядности была разделена на 4 части и по которым были построены таблицы нагрузок и деформаций.

Анализ результатов испытания на прочность

Цельная пластинка

Для определения прочности неотремонтированных образцов разрушению были подвергнуты пластинки №4, №5, №6, в результате испытаний была получена диаграмма разрушения, показанная на рисунке 3.

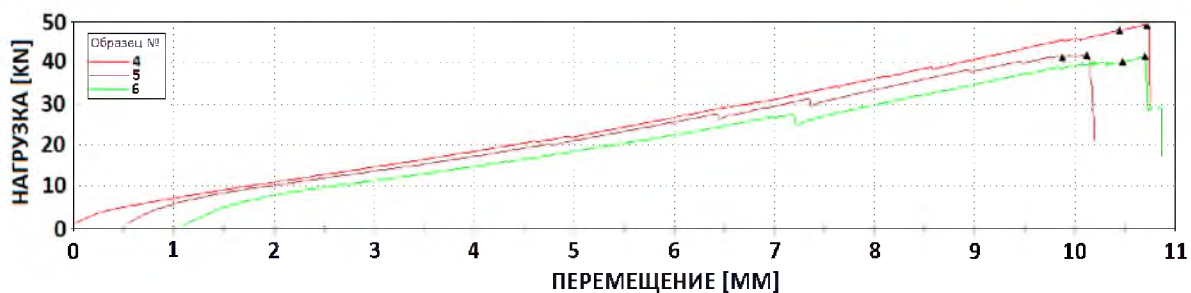


Рис. 3. Диаграмма разрушения цельных пластинок

На основе полученных значений нагрузки разрушения были вычислены значения предела прочности цельных пластинок и занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Предел прочности для цельных пластинок

№	Технология ремонта	Ширина, мм	Толщина, мм	Длина зоны ремонта, мм	Нагрузка разрушения, Н	Удлинение до разрыва, мм	Предел прочности, Н/мм ²
4	Цельная	19,35	2,20	-	49356,4	10,8	1159,42
5	Цельная	19,35	2,24	-	42018,7	9,7	969,42
6	Цельная	19,62	2,23	-	41529,2	9,6	949,18
ср		19,44	2,24	-	41774,0	9,7	959,30

Примечание к таблице 3.1: У пластинки №4 сорвало прижимные накладки, вследствие чего её результат в расчетах не учитывается.

Исходя из полученного предела прочности можно сказать, что 1 мм² держит нагрузку в 960 Н. Полученные характеристики мы возьмем за эталон и будем сравнивать с характеристиками, полученными от отремонтированных пластинок.

Цельные пластинки разрушались не сразу, а плавно по нитям, со звуком лопнувшей струны и отогнутыми в разные стороны нитями

На рисунке 4 показаны пластинки после разрушения.



Рис. 4. Разрушение пластин под нагрузкой

«Ступеньки» 12 мм

Для определения прочности неотремонтированных образцов разрушению были подвергнуты пластинки №10, №11, №12, в результате испытаний была получена диаграмма разрушения, показанная на рисунке 5.

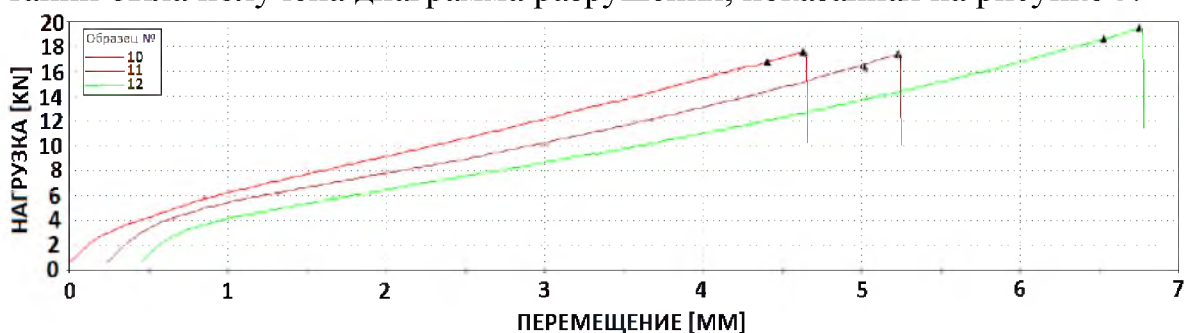


Рис. 5. Диаграмма разрушения для ремонта «Ступеньки» с шагом 12мм

На основе полученных значений нагрузки разрушения были вычислены значения предела прочности для пластинок отремонтированным методом «Ступеньки» с шагом 12мм и занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Предел прочности для «Ступеньки» с шагом 12мм

№	Технология ремонта	Ширина, мм	Толщина, мм	Длина зоны ремонта, мм	Нагрузка разрушения, Н	Удлинение до разрыва, мм	Предел прочности, Н/мм ²
10	Ступеньки 12мм	19,78	2,21	63,70	17597,8	4,7	402,57
11	Ступеньки 12мм	19,62	2,38	64,20	17403,7	5,0	372,71
12	Ступеньки 12мм	19,93	2,44	64,70	19458,2	6,4	400,13
ср		19,78	2,34	64,20	18153,2	5,4	391,80

Как видно из таблицы 2 отремонтированные пластинки разрушились под гораздо меньшей нагрузкой и предел прочности составил 40,84% от исходного. На рисунке 6 показаны пластинки после разрушения.



Рис. 6. Отремонтированные пластинки после разрыва

Как видно пластинки разрушились в месте ремонта, поэтому можно сделать вывод что предел прочности из таблицы 2 относится к клеевому слою и, следовательно, разрушение происходит не по волокнам, а по клеевому слою.

«Ступеньки» 6 мм»

Для определения прочности отремонтированных образцов разрушению были подвергнуты пластинки №7, №8, №9, в результате испытаний была получена диаграмма разрушения, показанная на рисунке 7.

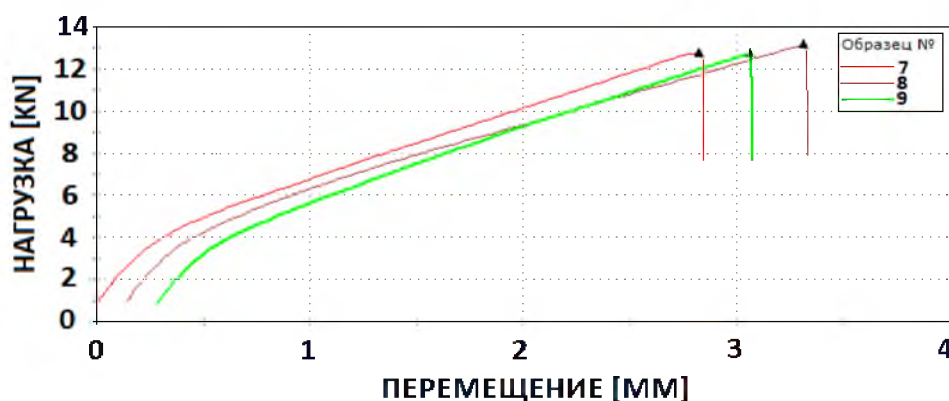


Рис. 7. Диаграмма разрушения для ремонта «Ступеньки» с шагом 6мм

На основе полученных значений нагрузки разрушения были вычислены значения предела прочности для пластинок отремонтированным методом «Ступеньки» с шагом 6 мм и занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Предел прочности для «Ступеньки» с шагом 6мм

№	Технология ремонта	Ширина, мм	Толщина, мм	Длина зоны ремонта, мм	Нагрузка разрушения, Н	Удлинение до разрыва, мм	Предел прочности, Н/мм ²
7	Ступеньки 6мм	19,92	2,24	42,70	12792,7	2,8	286,70
8	Ступеньки 6мм	19,80	2,26	42,30	13185,6	3,2	294,66
9	Ступеньки 6мм	19,45	2,22	41,80	12757,9	2,9	295,47
ср		19,72	2,24	42,27	12912,1	3,0	292,28

Как видно из таблицы 3 отремонтированные пластинки также разрушились под гораздо меньшей нагрузкой и предел прочности составил 30,91% от исходного, но при этом длина зоны ремонта меньше на 35% по сравнению с методом «Ступеньки» где шаг 12 мм. Пластинки разрушились в месте ремонта, следовательно, нагрузку также несет клеевой слой.

«Конус»

Для определения прочности отремонтированных образцов разрушению были подвергнуты пластинки №1, №2, №3, в результате испытаний была получена диаграмма разрушения, показанная на рисунке 8.

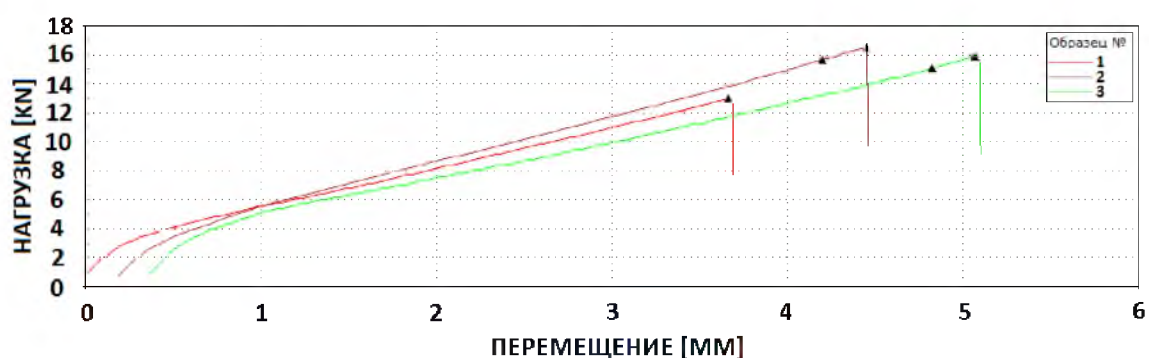


Рис. 8. Диаграмма разрушения для ремонта «Конус»

На основе полученных значений нагрузки разрушения были вычислены значения предела прочности для пластинок отремонтированным методом «Конус» и занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Предел прочности для «Конус»

№	Технология ремонта	Ширина, мм	Толщина, мм	Длина зоны ремонта, мм	Нагрузка разрушения, Н	Удлинение до разрыва, мм	Предел прочности, Н/мм ²
1	конус	20,03	2,31	55,10	13018,6	3,7	281,37
2	конус	19,96	2,35	55,30	16547,7	4,3	352,78
3	конус	19,33	2,23	55,60	15895,1	4,7	368,75
ср		19,77	2,30	55,33	15153,8	4,2	334,30

Как видно из таблицы 4 отремонтированные пластинки разрушились под гораздо меньшей нагрузкой и предел прочности составил 36,28% от исходного, но длина зоны ремонта меньше на 14% по сравнению с методом «Ступеньки» где шаг 12 мм. Пластины разрушились в месте ремонта, следовательно, нагрузку также несет клеевой слой.

Выводы

Для сравнения методов ремонта между собой по пределу прочности была составлена таблица 5.

Таблица 5 – Процент предела прочности для каждого из видов ремонта

Технология ремонта	Нагрузка разрушения, Н	Предел прочности, Н/мм ²	%
Ступеньки 12 мм	15153,8	391,8	100
Конус	18153,2	334,3	85,32
Ступеньки 6 мм	12912,1	292,28	74,59

Дополнительно построим таблицу 6, где сравним методы ремонта между собой по восстанавливаемой прочности от длины зоны ремонта.

По результатам проведённых испытаний и полученных данных в таблицах 5 и 6 можно сказать, что при использовании каждого вида ре-

монта предел прочности отличается от прочности эталонного цельного образца, отсюда можно сделать следующие выводы:

На прочность соединения в целом сильно влияет площадь контакта связующего со склеиваемым материалом. Способ «Ступеньки» с шагом 12 мм и длине ремонта 64,2 мм восстановил максимальную прочность из всех видов ремонта. Способ «Конус» при длине ремонта 55,33 мм восстановил 85,32% от прочности метода «Ступеньки» с шагом 12мм. Способ «Ступеньки» с шагом 6 мм и длиной ремонта 42,27 мм восстановил 75,59% от прочности метода «Ступеньки» с шагом 12мм.

Таблица 6 – Сколько Н прочности восстанавливает каждый вид ремонта

Технология ремонта	Нагрузка разрушения, Н	Длина зоны ремонта, мм	Сколько прочности восстанавливает 1 мм площади, Н
Ступеньки 12 мм	18153,2	64,20	282,76
Конус	15153,8	55,33	273,88
Ступеньки 6 мм	12912,1	42,27	305,47

По результатам проведённых испытаний и полученных данных в таблицах 5 и 6 можно сказать, что при использовании каждого вида ремонта предел прочности отличается от прочности эталонного цельного образца, отсюда можно сделать следующие выводы:

На прочность соединения в целом сильно влияет площадь контакта связующего со склеиваемым материалом. Способ «Ступеньки» с шагом 12 мм и длине ремонта 64,2 мм восстановил максимальную прочность из всех видов ремонта. Способ «Конус» при длине ремонта 55,33 мм восстановил 85,32% от прочности метода «Ступеньки» с шагом 12мм. Способ «Ступеньки» с шагом 6 мм и длиной ремонта 42,27 мм восстановил 75,59% от прочности метода «Ступеньки» с шагом 12мм.

Следовательно, при ремонте высоконагруженных деталей необходимо применять метод «Ступеньки» с шагом 12 мм. При ремонте средненагруженных деталей или при малом пространстве для ремонта лучше всего подойдет метод «Конус», т.к. его главной особенностью является угол в 3 градуса, а не ступеньки, что позволяет при увеличении количества слоев выигрывать в площади ремонта, при этом не сильно уступая методу «Ступеньки» по прочности. Метод «Ступеньки» с шагом 6 мм был взят для сравнения с методом «Конус», т.к. при угле в 3 градуса использовался шаг также в 6мм, как показали испытания этот метод самый слабый в плане прочности, поэтому его можно использовать в слабонагруженных и неответственных деталях при необходимости сильной экономии площади ремонта, иначе лучше использовать метод «Конус».

В связи со спецификой эксперимента полученные данные рассматривались как предел прочности связующего для различных видов ремонта и

сравнивались только между собой, а не восстановление прочности изделия в целом.

Список использованной литературы:

1. Чашин Н.С. Обработка точных отверстий в смешанных пакетах набором инструментов // В сборнике: Авиамашиностроение и транспорт Сибири Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. 2016. С. 83-87.
2. Иванов Ю.Н. Сверление отверстий в смешанных пакетах // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1 (5). С. 1402–1406.
3. Чашин Н.С. Исследование технологии обработки отверстий малых диаметров в полимерном композиционном материале на робототехническом комплексе / Н.С. Чашин, Ю.Н. Иванов, А.В. Сидорова, Е.Н. Семенов, А.А. Стуров // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 6 (125). С. 39-48.
4. Стуров А.А. Восстановительный ремонт отверстий в полимерном композитном материале на основе углепластика с помощью «термоболта» // В сборнике: Авиамашиностроение и транспорт Сибири Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 402-404.

УДК 62-91

***Теплоизоляционное энергопокрытие для выработки электроэнергии.
SmartEnergyCoating***

И.Ю. Поспелова, А.С. Бондаренко, Д.А. Корнилов, М.Я. Поспелова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Разрабатываемое Умное энергопокрытие. SmartEnergyCoating может использоваться в качестве теплоизоляционного покрытия, которое способно компенсировать и выравнять тепловые нагрузки элементов конструкции. При этом эффект достигается за счет теплокомпенсирующих элементов на основе фазопереходного материала. Кроме теплозащитных свойств, покрытие способно самостоятельно вырабатывать энергию. Выработка электроэнергии осуществляется с помощью термоэлементов с работой по принципу Пельтье.

Ключевые слова: Умные сети, Умное покрытие, альтернативная энергия.

Экологическая ситуация в мире характеризуется бурным ростом потребления энергии, в том числе энергии возобновляемых источников. Развитие технологий вызывает увеличение нагрузки на экологию, и это в свою очередь вызывает необходимость поиска новых технологий для восстановления и поддержания экологического баланса. Умное покрытие экологически чистое, оно позволяет сократить химические и тепловые выбросы в атмосферу Земли, наращивая при этом количество электроэнергии, вырабатываемой автономно. Умное покрытие позволяет обеспечить независимое получение электроэнергии в любых полевых условиях.

В отдаленных от централизованных путей районах существуют затруднения с производством и своевременной доставкой в нужном количестве электрической энергии. Это объясняется качеством сетей, а иногда и отсутствием необходимости проложения капитальных сетей из-за временного пребывания или удаленности рабочей точки от централизации. В этих условиях необходимо предусмотреть устройства, которые смогут самостоятельно вырабатывать электричество, не используя дорогостоящее топливо или ископаемые источники энергии.

Авторами было разработано покрытие, которое можно наносить на различные поверхности, и способное вырабатывать энергию на основе термоэлектрического эффекта. Это покрытие способно самостоятельно вырабатывать электроэнергию независимо от источников энергии ископаемого топлива и даже наличия солнца, ветра и других альтернативных источников. Вместе с выработкой электроэнергии оно обеспечивает стабильный температурный режим работы любых конструкций за счет включений с фазовым переходом.

К достоинствам разрабатываемой системы относятся: единственно пригодный способ получения энергии на малом пространстве; отсутствие движущихся частей, это делает систему высоконадежной; не требуется регулярно менять хладагент (заряжать фреоном, потому что его нет в конструкции); нет чувствительности к вибрациям (важно для транспорта); возможность плавного и точного регулирования температурного режима; экологичность; термоэлектрические устройства не содержат ядовитых хладагентов (фреонов, как компрессионные холодильники, или аммиака, как адсорбционные холодильники); произвольная ориентация в пространстве и поле тяжести; малая инерционность; легкость перехода из режима охлаждения в режим нагрева.

Режим стабилизации температурного поля

Фазопереходные включения позволяют поддерживать стабильный температурный режим в толще и на поверхности конструктивных элементов и обеспечивают стабильный температурный режим элементам Пельтье.

Теплоемкостная аккумуляция основана на способности веществ запасать энергию при нагревании и охлаждении. При этом количество аккумулированной энергии зависит от температуры, на которую нагревается

теплоаккумулирующего материала, и его удельной теплоемкости. Аккумуляирование тепловой энергии, основанное на использовании обратимого процесса фазового перехода плавление-затвердевание является эффективным способом сохранения теплоты. В этом случае в качестве теплоаккумулирующего материала используется фазопереходный материал. При фазовых переходах на единицу объема запасается гораздо большее количество теплоты, чем без изменения фазы. При этом процесс зарядки и разрядки может быть осуществлен в узком температурном диапазоне, что оказывается очень важным при необходимости работы аккумуляторов теплоты в условиях небольших температурных напоров [1]

Класс аккумуляторов с фазовыми переходами может разделяться на установки для производства тепла и холода с диапазоном рабочих температур T . Например, $T < 20^\circ \text{C}$, низкотемпературные ($20^\circ \text{C} \leq T < 200^\circ \text{C}$), среднетемпературные ($200^\circ \text{C} \leq T < 500^\circ \text{C}$), высокотемпературные ($500^\circ \text{C} < T$). Наиболее широкое применение нашли низкотемпературные установки, использование которых связано с системами жизнеобеспечения человека, экологически чистыми способами производства энергии и оптимизацией потребления энергии. Применение среднетемпературных установок связано в основном с энергетическими установками и системами утилизации тепла. Высокотемпературные установки известны в применении в металлургии и энергетике.

Для расчета и конструирования аккумулятора с фазовым переходом необходимо знать особенности поведения систем, в которых осуществляется фазовый переход из твердой фазы в жидкую и обратно. [2,3]

В зависимости от того, переходит твердая фаза в жидкую или наоборот, процесс протекает с поглощением или выделением тепла. Эта теплота называется скрытой теплотой фазового перехода. Она затрачивается на разрушение кристаллической решетки при плавлении и выделяется при кристаллизации. Удельная (на кг веса) теплота фазового перехода для данного вещества является величиной постоянной:

$$Q = Q_{\text{ф}} / m \quad (1)$$

где $Q_{\text{ф}}$ – скрытая теплота фазового перехода;
 m – масса.

Если процесс осуществляется при постоянном давлении, то $Q_{\text{ф}}$ постоянна и равна энтальпии фазового перехода $\Delta H_{\text{ф}}$. Кроме того у неорганических веществ температура $T_{\text{ф}}$, при которой происходит фазовый переход, также является постоянной. $T_{\text{ф}}$ называется температурой фазового перехода. Величины $\Delta H_{\text{ф}}$ и $T_{\text{ф}}$ для различных веществ можно найти в химических справочниках или справочниках физических величин.

На основе теплового баланса для поверхности раздела фаз может быть выведено условие Стефана [4]:

$$\rho_{\text{тв}} Q_p \cdot \partial s_n / \partial \tau = \lambda_{\text{ж}} \left. \partial T / \partial n \right|_{n \rightarrow +0} - \lambda_{\text{тв}} \left. \partial T / \partial n \right|_{n \rightarrow -0}, \quad (2)$$

где s_n – перемещение границы раздела фаз в направлении нормали;
 τ - время.

Соотношение (2) позволяет рассчитывать перемещение границы фазового перехода по температурным полям в жидкой и твердой фазах. В то же время само перемещение межфазной поверхности влияет на температурные поля.

Авторами была поставлена задача моделирования возможных способов инсталляции включений с фазовым переходом в «Умное покрытие». Кроме тепловой защиты с помощью фазового перехода покрытие должно обладать элементами хорошей теплопроводности в местонахождения элементов Пельтье.

Вместе с выработкой электрической энергии, Smart покрытие сохраняет полученное тепло и в дальнейшем компенсирует температурную разницу для поддержки стабильности заданной температуры, и тем самым продляет время независимой выработки электроэнергии. Специальные наноструктурные элементы позволяют поглотить избыточное тепло и при необходимости передать его элементам, вырабатывающим электрическую энергию. Таким образом, конструктивные элементы, такие как задвижки, контрольно-измерительная аппаратура и другие элементы находятся в допустимом температурном режиме и получают дополнительную энергию.

Тепловой поток по слою распределяется в зависимости от наличия или отсутствия внутренних источников выделения или поглощения тепла описывается простым уравнением Фурье или добавлением к нему тепла внутреннего источника. При отсутствии внутренних источников выделения или поглощения тепла, выводится дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение Фурье):

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (3)$$

где $\frac{\lambda}{c\rho} = a$, м²/с – коэффициент температуропроводности;
 c — изобарная удельная теплоёмкость;
 ρ — плотность.

В самом общем виде, при неустановившемся распространении тепла по всем трем осям координат, дифференциальное уравнение теплопроводности приобретет трехмерный вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] = a \Delta^2 t \quad (4)$$

где $\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ оператор Лапласа.

В неоднородной материальной среде дифференциальное уравнение объемного температурного поля будет иметь вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0 \quad (5)$$

где λ является непрерывной функцией x и y .

Пространственные температурные поля для практических целей в большинстве случаев достаточно изучить в отдельных проекциях, которые могут быть представлены двумерными температурными полями

При наличии источника с фазопереходным материалом, в котором фронт изменения температуры проходит по уравнению (1), мы можем записать уравнения для определения изотермических линий как

$$\frac{\partial t}{\partial z} = a_1 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + a_2 \sqrt{t} \quad (6)$$

где a_1 , $\text{м}^2/\text{ч}$ – коэффициент температуропроводности нефазопереходных слоев, a_2 – параметр температуропроводности для слоя с фазовым переходом [5].

Однако в результате изменения объема системы жидкость + твердая фаза происходит постепенное изменение положения ее внешних границ, что при достаточной длительности процесса скажется на конфигурации области, занимаемой фазопереходным материалом.

Во многих задачах стефановского типа нельзя пренебречь свободной конвекцией в жидкой фазе, из-за которой интенсивность теплообмена между поверхностью раздела фаз и оболочкой многократно увеличивается. При этом процесс плавления может протекать в условиях закрепленной твердой фазы или находящейся в свободном состоянии. В последнем случае у большинства веществ твердая фаза тонет под действием силы тяжести, исключение составляет вода. Соответственно рассматривается конвекция с *закрепленной* или *незакрепленной твердой фазой*. В таких задачах теплоперенос в жидкой фазе описывается системой уравнений конвективного теплообмена.

В этом случае мы предусматриваем размеры для фазопереходных включений не более допустимого для исключения конвекции.

Моделирование

В зависимости от наружных граничных условий и условий эксплуатации можем рассчитать местоположение термических включений для оптимальной работы конструкции.

На рисунке 1 представлено моделирование общего теплового потока и местоположение фазопереходных включений. Расположение фазопереходного слоя показано голубым цветом. Коричневый цвет – части теплопроводных вставок для элементов Пельтье

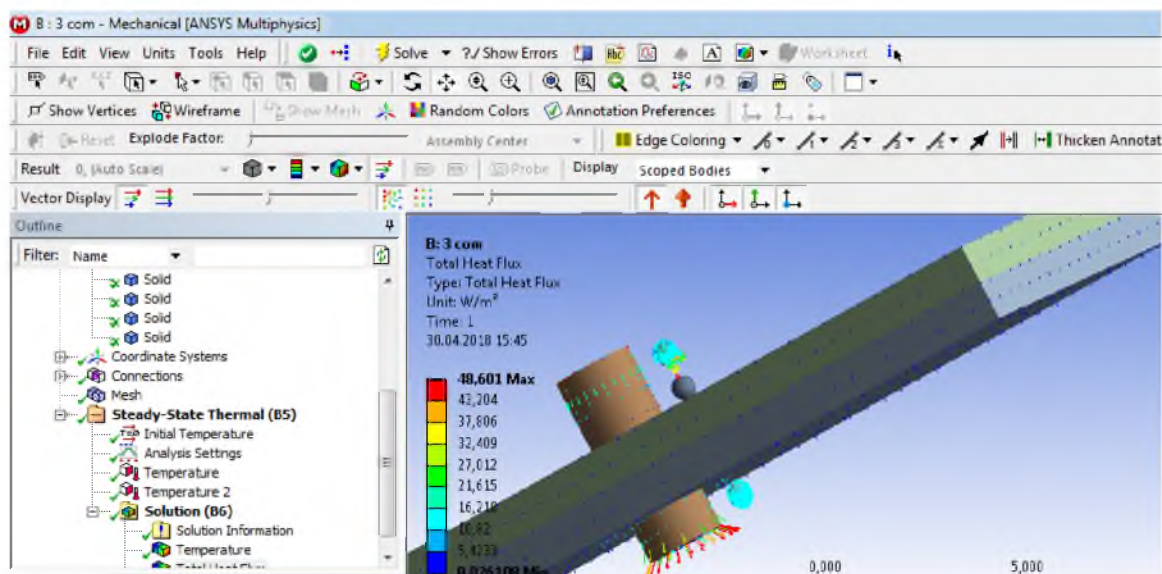


Рис. 1. Моделирование общего теплового потока и местоположение фазо-переходных включений.

На рисунке 2 показано плавное изменение температуры в толще «Умного покрытия». Несмотря на заданную разницу температур 20 и -20 °С, покрытие достаточно плавно удерживает температурный напор и сохраняет заданную разницу. При этом в местах с элементами Пельтье сохраняется температурная разница на необходимом уровне.

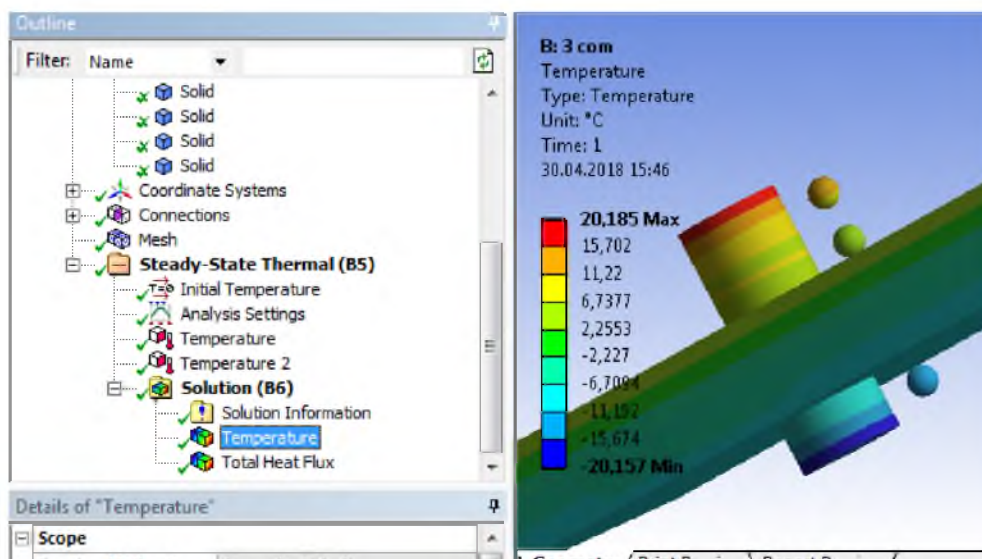


Рис. 2. Распределение температурных линий внутри покрытия.

На рисунке 3 показано значение температурного напора в толще покрытия и в местах теплопроводных элементов. Элементы с заданной точностью проводят температурный уровень в необходимых пределах и с минимальной температурной разницей. Это позволяет получать Заданный температурный напор для выработки электричества.

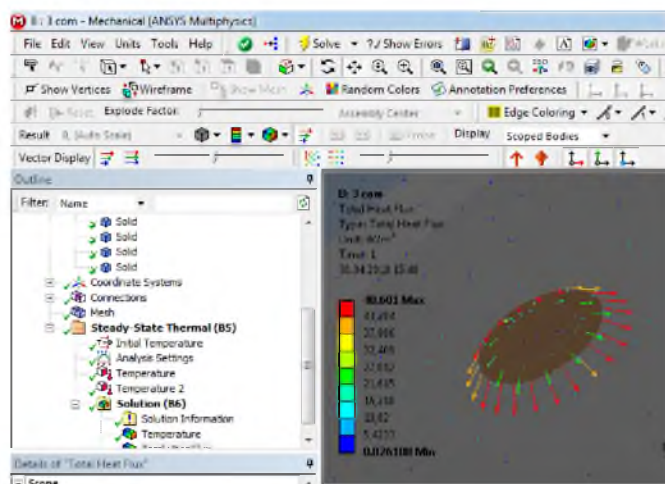


Рис. 3. Местоположение элемента Пельтье для выработки электричества.

В рамках данного моделирования задавались условия работы оборудования, схожие с Сибирскими климатическими условиями.

Таким образом, термические включения с фазопереходным материалом для граничных условий, соответствующих сибирским условиям, при средней минимальной температуре окружающего воздуха -22°C по данным моделирования составляют величину 4-5 мкм с переменным шагом, вычисляемым в зависимости от требуемой толщины покрытия и внутренней температуры. Общую массу и распространение фазопереходного материала в конечном образце более точно можно вычислить с помощью электронной кристалло- и термографии в дальнейшем.

После определения месторасположения изотермических линий на поверхности и в толще материала мы можем говорить о выработке электроэнергии [6-10].

Режимы выработки энергии были смоделированы для различных составов.

Одним из вариантов был принята конструкция с наружным слоем, обладающим хорошими коэффициентами поглощения и минимальным отражением наружных слоев конструкции. Свойства составляющих элементов слоя подобны графеновым аналогам. Это позволяет получать тепловую энергию как можно в большем объеме.

При моделировании тепловоспринимающий наружный слой был принят в учет, как слой поглощения и проведения тепла. В качестве теплоизолятора, в котором находится материал с фазовым переходом, был принят обычный пенополиуретановый слой, или любой другой материал, обладающий хорошими теплоизоляционными свойствами и ценовыми критериями.

В качестве композитного материала с фазовым переходом был принят теплоаккумулирующий материал с включениями на основе парафина в полиэтиленовых капсулах. Величина капсул варьировалась в результате экспериментов.

Выводы

По результатам теплового моделирования можно сделать вывод, что разработанный теплоизоляционный слой, имеющий в составе фазопереходный материал с теплопроводными включениями позволяет распределять температурное поле через теплопроводные включения таким образом, что значение температурной разности возникает непосредственно в местах с элементами Пельтье. Остальные области надежно защищены от излишнего влияния теплового потока. Такое покрытие можно использовать в строительных конструкциях, в трубопроводных системах горячего водоснабжения и отопления. При этом падение температуры для теплоэлектрогенерации будет незначительно, а выходное напряжение достаточным для работы аппаратуры, освещения, контрольно-измерительных приборов.

Список использованной литературы:

1. Росихин Н.А. Особенности расчета аккумуляторов теплоты на фазовых переходах с промежуточным теплоносителем. Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. № 5(17). 2013. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-5-727.
2. Рубинштейн Л.И. Проблема Стефана. - Рига: Звайгзне, 1970. - 232 с.
3. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. - М.: "Высшая школа", 1985. - 480 с.]
4. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. - М.Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 521 с.
5. I. Pospelova. Determination of Optimal Heat-Storage Thickness of Layer for "Smart Wall" by Methods of Nonlinear Heat Conduction Equations for Phase-transition Materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2017) 21–22 September 2017, Chelyabinsk, Russian Federation. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012031>
6. L Martinson, Y Malov. Differential equations of mathematical physics Moscow: Moscow State Technical University of Bauman. 2002.
7. E. Kosova, V. Lebedev. Model of a structural first-order phase transition close to the second. J. of Fundamental Research № 2 (7) 2006, pp. 70-71.
8. V. Alekseev, A. Carabin. New type of thermal accumulators for cooling radioelectronic equipment for space vehicles. Electronic Journal Proceedings of the MAI №49, 2010, Retrieved from: <https://mai.ru/upload/iblock/2b8/novyuy-tip-teplovykh-akkumulyatorov-dlya-okhlazhdeniya-radioelektronnay-apparaty-kosmicheskikh-apparatov.pdf>
9. V. Khvesyuk, D. Ostanko, A. Scriabin, P. Tsygankov, R. Chelmondyev, A. Chirkov Limiting efficiency of thermoelectric heat conversion in

high-temperature power plants Science & Education of Bauman MSTU 3, 2016, pp 81-105

10. V. Kulbachinskiy, V. Kytin, V. Blank, S .Buga, M. Popov Thermoelectric properties of nanocomposites of bismuth telluride with fullerenes Physics and Technology of Semiconductors 45(9) 2011, pp1241-1245

УДК 621.9.01

Анализ процесса врезания на операциях фрезерования кромок на робототехническом комплексе

Е.Н. Бакшеева, А.С. Беломестных, Е.Н. Семенов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье приводятся методика и результаты экспериментального исследования процесса врезания на операции фрезерования кромок на робототехническом комплексе. Анализ выполнен по макро и микро параметрам. Выявлены основные дефекты обработки и причины их возникновения. Сформированы технологические рекомендации по снижению вероятности их проявления.

Ключевые слова: *робототехнический комплекс, финишная обработка, размер фаски, профиль поверхности, врезание инструмента.*

На кафедре технологии и оборудования машиностроения ИРНИТУ проводится активная работа в области автоматизации и роботизации финишных операций, нацеленная по обеспечению высоких технологических показателей в области качества обработки и производительности [2], [3], [8]. Разработанный в рамках данных работ робототехнический комплекс на базе манипулятора «KUKA KR210 R2700 extra» [4] изображен на рис. 1 и предназначен для выполнения операций фрезерования и сверления. В то же время, как демонстрируют результаты исследований, операции фрезерования кромок характеризуются нестабильностью обработки, недофрезерованием и, нередко, зарезами [6].

Целью работы является анализ дефектов и их причин на этапе врезания инструмента при обработке кромок на робототехническом комплексе. На данном РТК осуществлялась технологическая операция – снятие фаски с углом 45° . Финишная обработка осуществлялась конической борфрезой. Данный инструмент имеет 23 зуба и угол при вершине 90° .

В предыдущих исследованиях выявлено, что повышение частоты вращения шпинделя выше 8000 об/мин и увеличение скорости врезания выше 2 мм/с приводят к появлению значительных зарезов, к негативным результатам приводит превышение силовых программируемых уставок более 1 Н. Традиционно обработка проводилась при установке коэффици-

ента усиления KR канала силового очувствления в пределах 0.2...0.4 [5].
Время врезания подбиралось экспериментально.



Рис. 1. РТК на базе робота «KUKA KR210 R2700 extra»

В данном исследовании проведен анализ влияния режимных и настроечных параметров комплекса на профиль обработанной поверхности и размер фаски на операции врезания. При этом существенно изменены принятые режимы: скорость врезания уменьшена с 1 мм/с до 0,5 мм/с, время врезания определялось расчетным способом с учетом взаимного положения инструмента и детали, в целях обеспечения высокого качества обработки частота вращения шпинделя выбрана 8000 мин^{-1} , для реализации высокопроизводительных режимов подача на участке фрезерования кромки увеличена с 5 до 20 мм/с, повышение скорости силового реагирования системы реализовано увеличением коэффициента усиления KR до 0.8.

В качестве заготовок выбраны пластины $150 \times 50 \times 2 \text{ мм}$. Материал – алюминиевый сплав В95ПЧ-Т2.

Размер полученной фаски и профиль обработанной поверхности измерялись с помощью оптического профилометра компании «BRUKER».

Анализ результатов обработки осуществлялся на макро и микро уровнях. Макродефекты, наблюдающиеся на этапе врезания, представлены на рис. 2.



а)

б)

в)

а) зарез детали с последующим инерционным уменьшением глубины резания; б) инструмент не доходит до детали в месте предполагаемого контакта (отсутствует врезание); в) зарез с последующим полным выходом инструмента из детали.

Рис. 2. Макродефекты обработки на этапе врезания:

Причинами указанных дефектов, изображенных на рис. 2 являются: погрешности изготовления, закрепления и позиционирования детали, некорректные (несовместные) режимные и настроечные параметры РТК, а также человеческий фактор.

Результаты профилографирования обработанных поверхностей представлены на рис. 3-7. С учетом координатных ограничений рабочей зоны прибора «BRUKER» диаграммы разбивались на 2-3 участка.

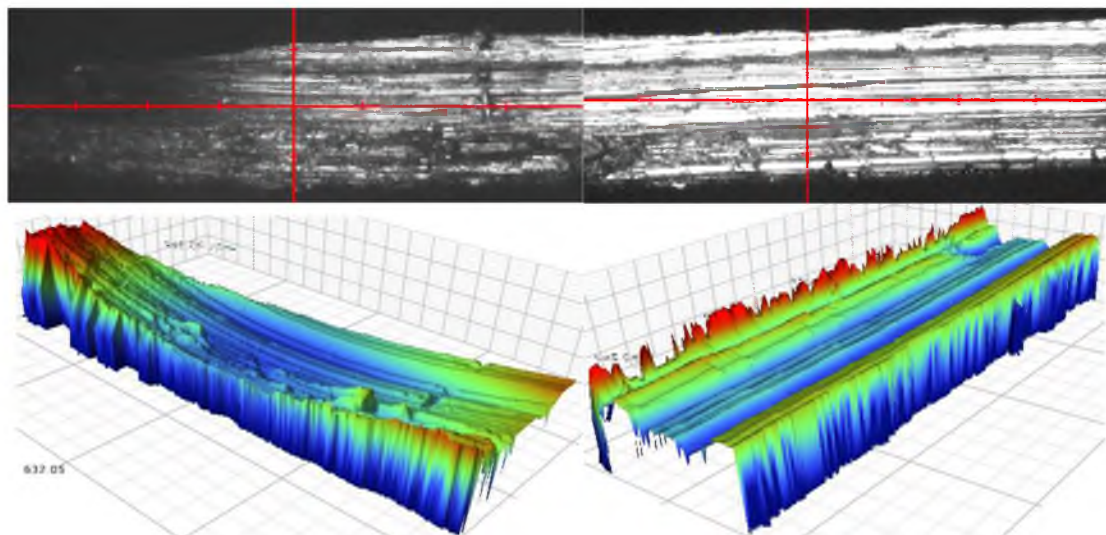


Рис. 3. Фотографии и профилограммы участка врезания для образца № 1, скорость врезания $V = 0,5$ мм/с, участок врезания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

На микропрофиле фаски (рис. 3) присутствуют незначительные дефекты в виде выступов, не влияющие на размер фаски. Дефекты в виде протяженных борозд связаны с выкрашиваем элементов режущей кромки (износом) инструмента. Данные дефекты оказывают существенное влияние на поперечную шероховатость (параметр R_a ухудшается), при этом не снижая продольную шероховатость и размер фаски.

На микропрофиле фаски, показанной на рис. 4, также присутствуют борозды, не влияющие на размер фаски, но сказывающиеся на величине шероховатости поверхности. Изменение профиля свидетельствует о колебательном характере врезания: сначала происходит врезание на максимальную глубину, затем быстрый незначительный отвод инструмента из-за превышения сил резания величины программной уставки с последующим возвратом и окончательным выходом из контакта с деталью. При включении поперечной подачи происходит вторичное врезание по касательной к обрабатываемой поверхности, что приводит к формированию «нитевидной» фаски. Данный дефект связан с превышением временной уставки фактической длительности процесса однократного врезания.

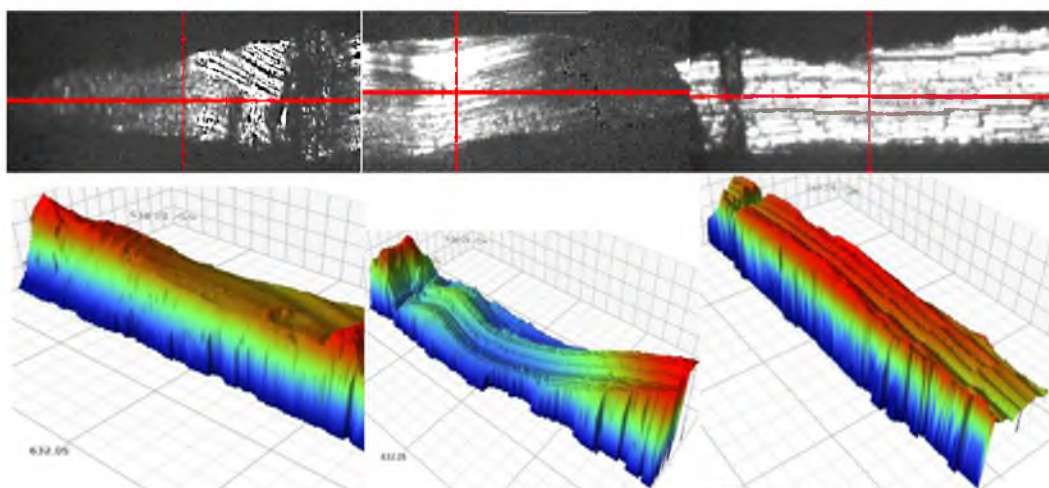


Рис. 4. Фотографии и профилограммы участка врезания для образца № 1, скорость врезания $V = 1$ мм/с, участок врезания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

Наличие поперечных борозд обусловлено мгновенным выводом режущих кромок инструмента из зацепления с материалом детали из-за повышенных значений коэффициента усиления канала силового управления KR.

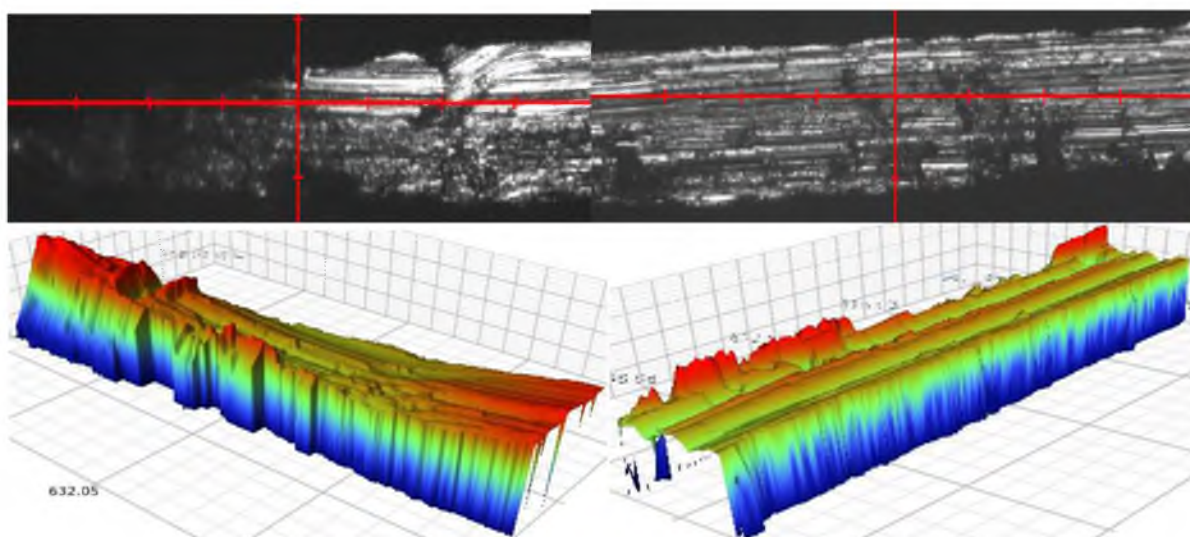


Рис. 5. Фотографии и профилограммы участка врезания для образца № 2, скорость врезания $V = 1$ мм/с, участок врезания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

Дефекты, изображенные на рис. 3 и 5 аналогичны, но на последней профилограмме (рис. 5) присутствует одна поперечная борозда в начальной части участка, свидетельствующая о том, что до окончания времени врезания произошел отвод инструмента на небольшое расстояние, и при включении продольной подачи инструмент выполнил дообработку неровностей, оставленных на этапе врезания.

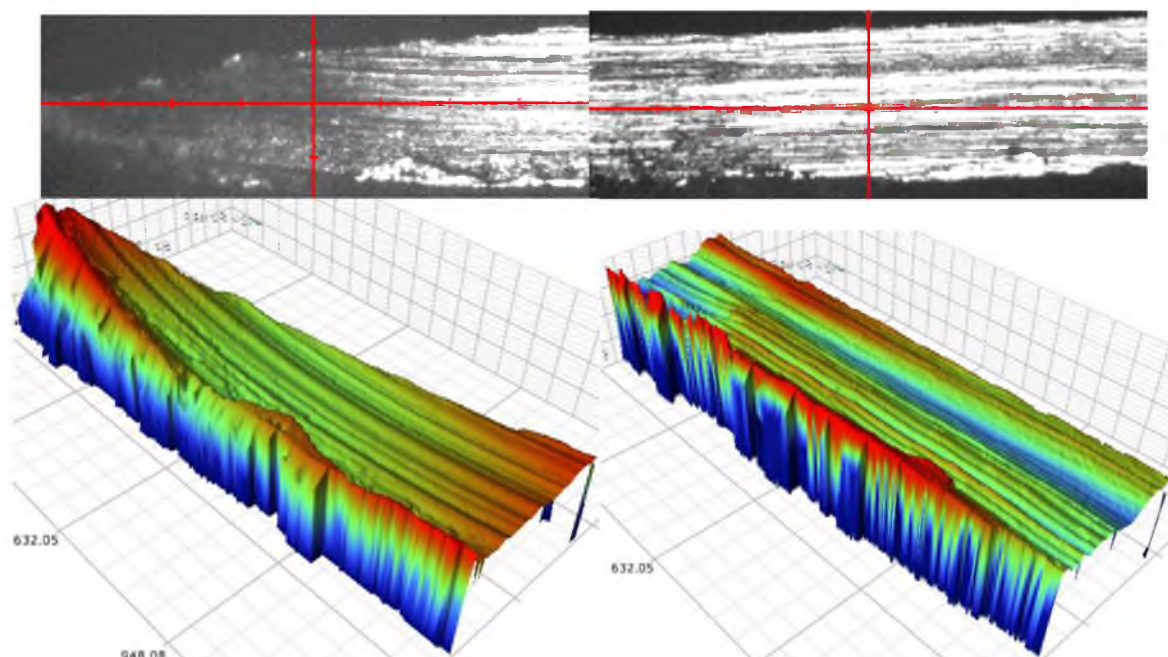


Рис. 6. Фотографии и профилограммы участка резания для образца № 2, скорость резания $V = 1$ мм/с, участок резания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

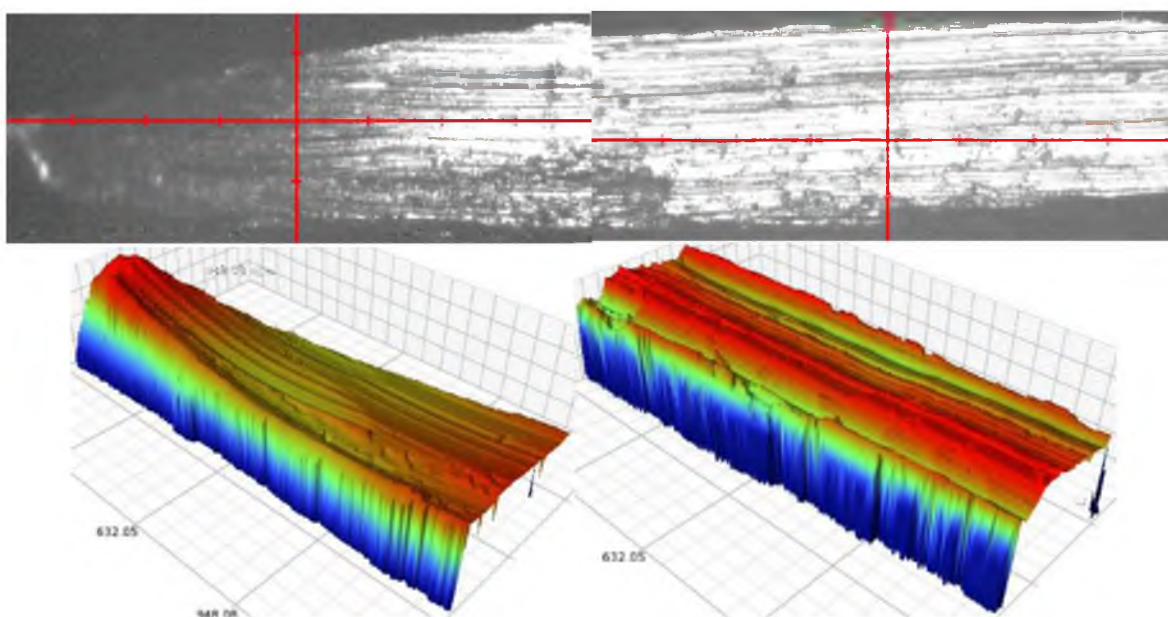


Рис. 7. Фотографии и профилограммы участка резания для образца № 3, скорость резания $V = 0.5$ мм/с, участок резания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

На рис. 6,7 приведены профилограммы обработанных поверхностей без вышеперечисленных дефектов. При обработке назначены и реализованы идеальные режимные и настроечные параметры комплекса (скорость резания, силовая уставка, время работы программы, частота вращения шпинделя, KR, расстояние между исходной позицией инструмента и деталью).

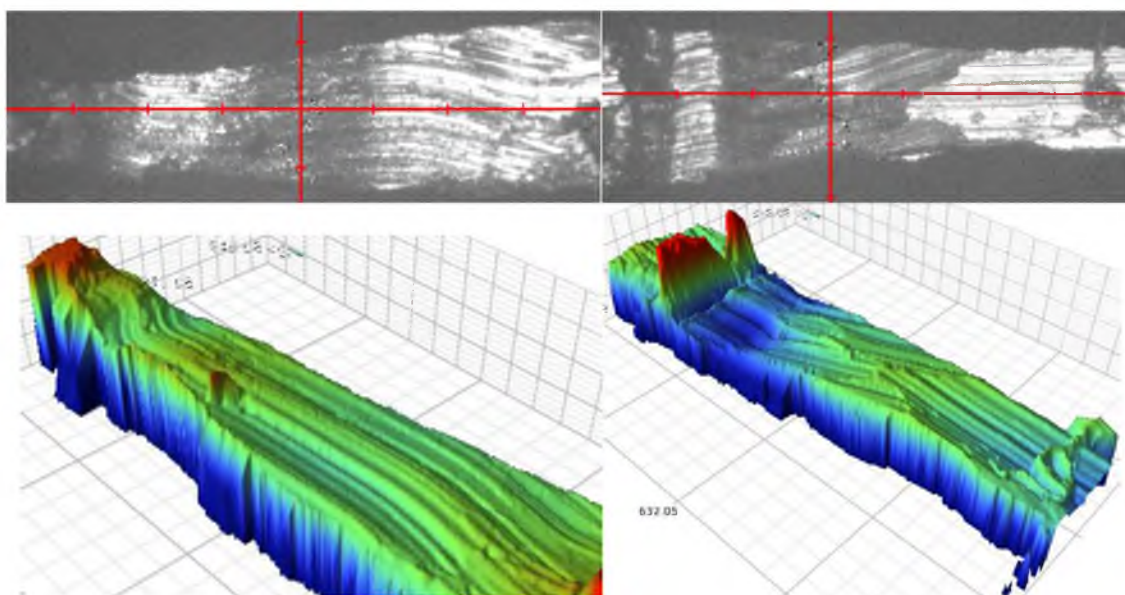


Рис. 8. Фотографии и профилограммы участка резания для образца № 3, скорость резания $V = 1$ мм/с, участок резания инструмента 2,5 мм, движение инструмента слева направо.

Выявленные дефекты, проявившиеся на рис. 8, аналогичны погрешностям обработки образца №1 (рис. 4). В начальной части участка присутствуют волнообразные следы, свидетельствующий о колебательном характере процесса резания. Наличие участка с перекрещивающимися линиями профиля указывает на «качание» инструментальной наладки в плоскости YOZ. Однако, как следует из рис. 8, эти движения не снижают качества и точности обработки.

Выборочные экспериментальные значения фасок обработанных кромок на участках резания при различных скоростях резания для четырех образцов деталей приведены в таблице 1

Таблица 1 - Размеры фаски Z на участке резания у образцов № 1...4

Размер фаски	Скорость резания, мм/с					
	0,5			1		
Z_1	0,2305	0,2277	0,2037	0,1881	0,1492	0,2022
Z_2	0,1633	0,1365	0,1428	0,2192	0,2305	0,2192
Z_3	0,263	0,263	0,2475	0,2319	0,2334	0,1633
Z_4	0,0969	0,082	0,0962	0,1881	0,1648	0,1245

Для оценки полученных результатов использованы показатели точности и надежности технологического процесса [1], такие как K_p – коэффициент мгновенного рассеяния:

$$K_p(t) = \frac{\omega(t)}{T},$$

где $\omega(t)$ – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени t ,
 T – поле допуска.
 K_c – коэффициент смещения:

$$K_c(t) = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T},$$

где $\bar{\Delta}(t)$ – среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени t , характеризует размер отклонения середины поля рассеяния от середины поля допуска.

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{x}(t) - x_0|,$$

где $\bar{x}(t)$ – среднее значение контролируемого параметра в момент времени t , характеризует середину поля рассеивания,
 x_0 – середина поля допуска.
 K_z – коэффициент запаса точности:

$$K_z(t) = 0,5 - K_c(t) - 0,5K_p(t).$$

При анализе назначен допуск на размер фаски 0,1...0,4 мм.

Для скорости врезания 0,5 мм/с коэффициент мгновенного рассеивания, т.е. размер поля рассеивания относительно поля допуска в среднем равен 4,35%, а при скорости 1 мм/с – 10,4%. Это означает, что стабильность обработки при скорости врезания 0,5 мм/с выше, чем при скорости 1 мм/с. Но при этом усредненный коэффициент смещения, отвечающий за смещение середины поля рассеивания относительно середины поля допуска, при скорости врезания 0,5 мм/с хуже и равен 25,22% против 18,91% на скорости 1 мм/с. И по комплексному коэффициенту запаса точности, который включает в свою оценку два предыдущих, можно сделать окончательное заключение. Коэффициенты запаса точности составляют 22,6% и 25,89% для скоростей врезания 0,5 мм/с и 1 мм/с соответственно. Т.к. с увеличением коэффициента запаса точности обработка будет проводиться точнее, можно сделать вывод, что скорость врезания 1 мм/с имеет наибольший запас точности.

Заключение

Результатами экспериментально-аналитического исследования процесса врезания на операции фрезерования кромок на РТК сформирован перечень факторов, оказывающих влияние на качество обработки: скорость врезания инструмента, величина силовой программной уставки, коэффициент усиления в канале силового управления КР, программируемая продолжительность врезания, расстояние от точки врезания до исходной позиции инструмента, частота вращения шпинделя, человеческий фактор.

В целях уменьшения влияния человеческого фактора на качество и точность обработки необходимо выполнять технологическую подготовку операций в САМ- системах.

Увеличение коэффициента усиления в канале силового управления KR до 0.8 приводит к росту быстродействия системы, но и повышает вероятность образования дефектов типа: зарез- нитевидная фаска, поперечные борозды.

Снижение силовой уставки до 0.5 Н позволяет снизить вероятность зареза на этапе врезания.

Влияние скорости врезания на надежность технологического процесса неоднозначно. Уменьшение скорости врезания с одной стороны уменьшает коэффициент мгновенного рассеивания, однако увеличивает усредненный коэффициент смещения. Наибольший запас точности обеспечивается при работе на скорости 1 мм/с.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 27.202 – 83 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. 35 с.
2. Ivanova A., Belomestnyh A., Semenov E., Ponomarev B. Manufacturing capability of the robotic complex machining edge details//International Journal of Engineering and Technology (IJET). Vol 7 No 5 Oct-Nov 2015, p.1774-1780.
3. Semyonov E.N., Sidorova A.V., Pashkov A.E., Belomestnykh A.S. Accuracy assessment of KUKA KR210 R2700 extra industrial robot//International Journal of Engineering and Technology. 2016. T. 16. № 1. p. 19-25.
4. Иванова А.В., Пономарев Б.Б., Савилов А.В., Чапышев А.П. Робототехнический комплекс удаления заусенцев после фрезерования деталей / Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С. 49-53.
5. Бакшеева Е.Н. Разработка алгоритма для технологической подготовки финишной обработки авиационных деталей на робототехническом комплексе / Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. статей VII Всерос. науч.-практ. конф. 2016 г. с. 209 – 213.
6. Беломестных А.С., Иванова А.В., Чапышев А.П. Исследование влияния коэффициента усиления в канале управления скоростью движения робота на технологические свойства робототехнического комплекса механической обработки кромок деталей / Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7 (102). С. 39-47.
7. Эффективное зонирование рабочего пространства промышленного робота Kuka KR210 R2700 extra / А.В. Сидорова [и др.] // Вестник ИрГТУ. 2015 № 12. с. 86 – 95.

8. Пашков А.Е., Чапышев А.П. Автоматизация процесса финишной обработки после дробеударного формообразования. Материалы конференции «Повышение эффективности технологических процессов в машиностроении». Иркутск: ИрГТУ, 2000, с. 28-31.

УДК 21.9. 34.63-5

Исследование возможности подавления автоколебаний при точении с модуляцией скорости резания на токарном станке с ЧПУ

К.С. Вагнер, В.М. Свинин, А.В. Савилов, С.А. Тимофеев

Иркутский национальный исследовательский государственный технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Для создания модуляции частоты вращения шпинделя использована программа фирмы Siemens. При работе на холостом ходу проведена оценка фактической отработки глубины модуляции при диапазоне относительной частоты модуляции от 0.125 до 1 модуляции за оборот, и установлены нагрузки шпинделя. Проведены опыты по подавлению автоколебаний путем модуляции скорости резания. Амплитуда автоколебаний уменьшилась в три раза. Разработаны рекомендации по выбору параметров модуляции.

Ключевые слова: *гашение автоколебаний; точение; модуляция скорости резания; параметры модуляции.*

Введение

Процесс механообработки часто сопровождается возбуждением автоколебаний. Из всех механизмов поддержания и развития автоколебаний наиболее мощным является регенеративный. По оценкам различных ученых он вносит порядка 85% энергии на поддержание автоколебаний. Этот механизм проявляется в том, что текущие колебания технологической системы (ТС) опережают вибрационный след примерно на четверть волны, другими словами, их разность фаз с вибрационным следом составляет примерно плюс 90 градусов [1]. Если принудительным образом изменить этот фазовый сдвиг, то текущие автоколебания лишаются источника энергии и затухают. Одним из методов принудительного изменения этой фазы является модуляция скорости резания, то есть периодическое ее изменение относительно среднего значения. Эта модуляция может изменяться по различным законам: прямоугольному, треугольному и другим, но с учетом инерционности кинематической цепи привода главного движения наиболее рациональным законом является гармонический. Периодическое изменение скорости резания для подавления автоколебаний впервые в

1968 году предложил В.А. Шнепс [2]. Начиная с 70-х годов этот прием стал изучаться японскими, американскими и другими исследователями. Многочисленными опытами было доказано, что модуляция скорости резания путем периодического изменения частоты вращения шпинделя способна эффективно гасить автоколебания.

Начиная с 50-х годов прошлого века модуляцию скорости резания использовали как один из способов дробления сливной стружки. Для этого были разработаны различные механические устройства к токарным, сверлильным и другим видам станков. Начиная с 90-х годов такие устройства были разработаны в Забайкальском государственном университете [3]. Группа ученых из Мичиганского университета [4] занималась исследованием возможности гашений вибраций данным способом. Эти устройства могут быть использованы как на универсальных, так и на автоматизированных станках. Для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) модуляцию скорости резания можно создавать путем программирования характера главного движения станка. Специальной функцией модулирования скорости серийно выпускаемые станки с ЧПУ не обладают. Поэтому требуется разработка специальных программ.

Однако недостаточно изученным оказался вопрос выбора частоты модуляции. Наиболее рациональный подход к выбору параметров модуляции основан на том положении, что прохождение лезвием инструмента одного и того же участка поверхности резания должен происходить с максимально возможной разницей скоростей. Как показано в работе [5] этого можно добиться, когда количество модуляций за один оборот заготовки или инструмента равно половине числа лезвий этого инструмента. Однако с учетом инерционности деталей кинематической цепи главного движения станка это не всегда может быть достигнуто. Поэтому целью представленного в этой статье исследования является экспериментальное изучение возможностей станка модели NEF 400 модулировать частоту вращения шпинделя в диапазоне его рабочих возможностей.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- 1) Проведен поиск научно-технической информации, в результате которой был найден программный код фирмы Siemens [6] для модуляции скорости резания;
- 2) Исследована возможность фактической отработки модуляции частоты вращения шпинделя при 1000 об/мин, и относительных частотах модуляции от 0.125 до 1 модуляции за оборот;
- 3) Определены фактические нагрузки на шпиндель станка, вызванные модуляцией;
- 4) При найденных рациональных параметрах модуляции экспериментально проверена возможность подавления автоколебаний при точении нежесткой детали.

Оборудование и методика проведения опытов:

Для получения информации о возможностях станка по модуляции скорости резания была проведена серия опытов по определению фактической отработки её заданных параметров и контроля нагрузки на шпиндель. Методика проведения опытов состояла в следующем. На работающем станке на холостом ходу последовательно задавали следующие относительные частоты модуляции: 0.125, 0.25, 0.5 и 1 мод/об. На каждой из них изменяли глубину модуляции от 0 до 25 % с шагом 5%, визуально контролируя реальный уровень нагрузки на шпинделе по индикатору на экране стойки ЧПУ. Сбор данных о фактической частоте вращения шпинделя проводили посредством встроенного программного обеспечения станка, а именно функции Servo-Trace, которая на экране монитора строит график изменения во времени частоты вращения шпинделя.

Для определения возможности модуляции скорости резания на токарном станке был проведен ряд опытов. Уровень вибрации при точении измеряли с помощью лазера Polytec OFV-505, луч которого был сфокусирован на заготовке. Силы резания определяли динамометром KISTLER ре 9129 AE20. Скорость вращения шпинделя и нагрузка на него регистрировались системой управления станка. Точение проводили сменной режущей пластиной CNMG 432-MM, установленной в призматическую державку для точения SANDVIK DCLNL 2020K 12 [7]. Заготовка представляет собой вал из стали 45 диаметром 46 мм.

Модуляция частоты вращения шпинделя производилась с помощью специальной программы фирмы Siemens [6] (рисунок 1), которая была найдена в ходе поиска необходимой для исследования научно-технической информации, а затем установлена на станок. Данная программа представляет из себя набор строк на языке G-код и работает по следующему алгоритму: с заданным периодом в секундах изменяется установленная частота вращения шпинделя на некоторую глубину модуляции относительно заранее заданного среднего уровня. Данный алгоритм реализован с помощью двух подпрограмм, одна из которых запускает процесс модуляции, а вторая - выключает. Стоит упомянуть, что данные подпрограммы можно использовать как при программировании в G-кодах, так и при написании программы в Shop Turn.

На рис. 1 указаны подпрограммы OSZI и OSZIOFF, предназначенные для включения модуляции и отключения соответственно. В данной программе частота модуляции задается через период модуляции в секундах. Период модуляции — это обратная величина к частоте модуляции. Чтобы перевести относительную частоту модуляции за один оборот шпинделя в период модуляции в секундах, нужно воспользоваться следующей формулой:

$$\varepsilon f s = \frac{1}{n / 60 * \varepsilon f};$$

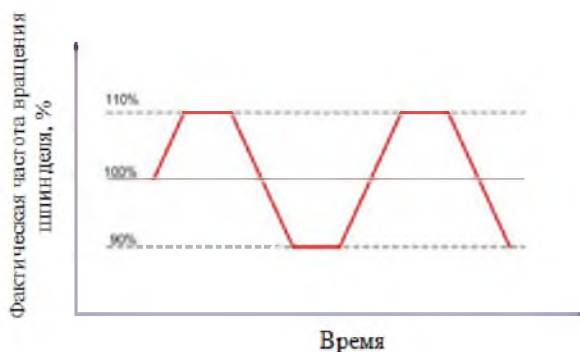
где: εf - относительная частота модуляции за один оборот, -период модуляции (с); n —частота вращения шпинделя (об/мин).

```

PROC OSZI (REAL _OSZI_TIME, REAL _PROCENT)
DEF REAL _TIME_1, _S_1, _S_2, _S, _SP
*
_S=SP/_S[SP_TSHUT]*
_SP=(_S*_PROCENT)/100*
_S_1=_S+_SP*
_S_2=_S-_SP*
SAC_TIMER[1]=0*
_TIME_1=SAC_TIMER[1]*
ID=1 EVERY SAC_TIMER[1] >= (_TIME_1+_OSZI_TIME) DO S=_S_1*
ID=2 EVERY SAC_TIMER[1] <= (_TIME_1+_OSZI_TIME) DO S=_S_2*
ID=3 EVERY SAC_TIMER[1] >= (_TIME_1+_OSZI_TIME*2-0.05) DO SAC_TIMER[1]=0*
RET*

```

а)



б)

```

*
CANCEL(1, 2, 3)*
RET*

```

в)

```

NC/LKS/REDUCING_VIBRATION/EXAMPLE_1.SPF
G95 S1000 M3*
OSZI(2, 10)*
*
ELABORATION*
*
OSZIOFF*
G95 S1000 M3*

```

г)

а) текст подпрограммы включения модуляции; б) график фактической частоты вращения шпинделя с глубиной модуляции 10%; в) текст подпрограммы выключения модуляции; г) пример включения подпрограмм в программу обработки материала с частотой вращения шпинделя 1000 об/мин, глубиной модуляции 10%, период модуляции 2 с.

Рис.1. Программа модуляции скорости резания:

В ходе опытов проводили точение поясков шириной 20 мм на конце заготовки, закрепленной консольно с вылетом 230 мм. Принятая величина вылета заготовки выбрана по методикам, описанным в работах [8, 9]. Параметры режима резания: глубина резания 1 мм, подача 100 мм/мин, частота вращения шпинделя 1000 об/мин. Последнюю модулировали с частотой 0.5 за оборот (период 0.12 с), изменяя глубину модуляции от 0 до 25% с шагом 5%.

Результаты и обсуждение:

Полученные данные о фактической отработке параметров модуляции частоты вращения шпинделя сведены в таблице 1, где А – глубина модуляции, А факт. – фактически обрабатываемая глубина модуляции, Δ – разница между номинальной и фактически обрабатываемой средней частотой вращения шпинделя. Начиная с малых частот и глубин модуляции происходит полное её воспроизведение. При дальнейшем увеличении параметров модуляция обрабатывается с искажениями. По достижении определенного порога, станок в связи с инерционностью ТС обрабатывает модуляцию не в полной мере и её фактическое значение уменьшается. Это проявляется следующим образом: двойная фактическая глубина мо-

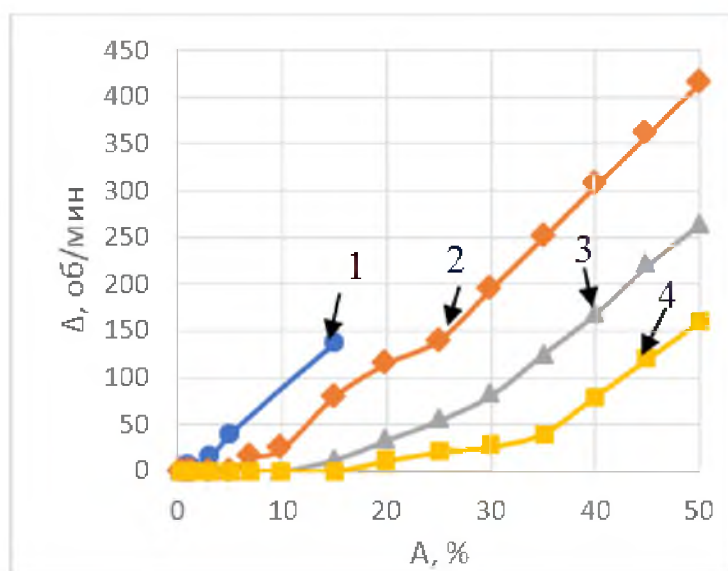
дуляции отрабатывается не полностью, а средняя фактическая частота вращения шпинделя снижается на величину Δ .

Таблица 1 - Отклонения от модулируемых значений.

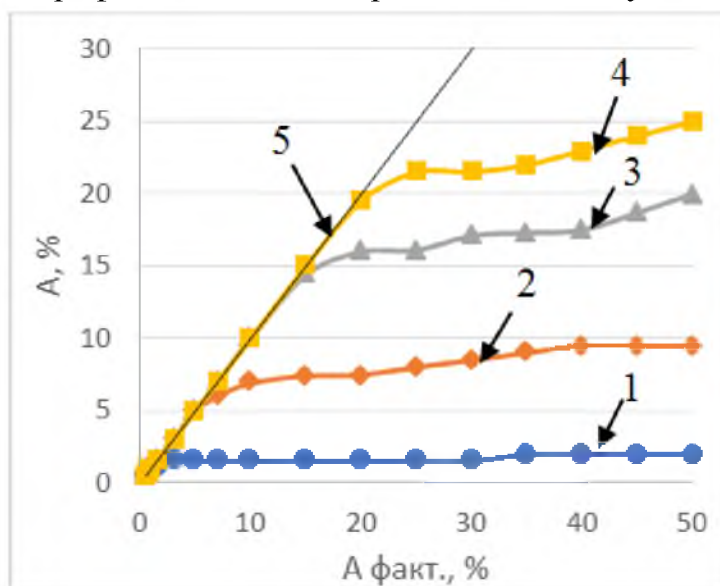
А, %	1 модуляция за оборот		0,5 модуляции за оборот		0,25 модуля- ции за оборот		0,125 модуля- ции за оборот	
	Δ , об/мин	А факт., %	Δ , об/мин	А факт., %	Δ , об/мин	А факт., %	Δ , об/мин	А факт., %
0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5
0,8	0	0,8	0	0,8	0	0,8	0	0,8
1	5	1	0	1	0	1	0	1
1,5	4	1,1	0	1,5	0	1,5	0	1,5
3	14	1,2	0	3	0	3	0	3
5	40	1,2	0	5	0	5	0	5
7	-	-	14	6	0	7	0	7
10	-	-	24	6,9	0	10	0	10
15	137	1,3	80	7,4	12	14,4	0	15
20	-	-	125	7,5	33	16	11	19,5
25	-	-	140	8	37	16,1	32	21,5
30	-	-	195	8,5	81	17,1	26	21,5
35	-	-	250	9	-	-	40	22
40	-	-	305	9,5	168	17,5	80	23
45	-	-	360	9,5	-	-	120	24
50	-	-	415	9,5	264	20	160	25

По данным из таблицы построены графики зависимостей разницы Δ от глубины модуляции (рис. 2) и фактической глубины модуляции от номинальной (рис. 3).

Из графиков на рис. 2 и 3 видно, что с увеличением глубины модуляции до некоторого момента модуляция отрабатывается полностью. Далее появляется разница между теоретическими и фактическими значениями. Например при частоте модуляции 0,25 мод/об её полная отработка происходит до значения глубины 14%.



1) 1 мод/об, 2) 0,5 мод/об, 3) 0,25 мод/об, 4) 0,125 мод/об.
Рис. 2. График зависимости разницы Δ от глубины модуляции



1) 1 мод/об, 2) 0,5 мод/об, 3) 0,25 мод/об, 4) 0,125 мод/об, 5) 0 мод/об.
Рис. 3. График зависимости фактической глубины модуляции от номинальной

Результаты опытов по резанию представлены на рисунке 4, на котором показаны виброграммы перемещений заготовки при резании, осциллограммы сопутствующих ему сил резания и виды обработанных поверхностей. Из этого рисунка видно, что с увеличением глубины модуляции вибрации уменьшаются, это прослеживается как по графикам вибраций, так и по качеству получаемой поверхности. Шероховатость с $Ra=3.7$ мкм уменьшилась до $Ra=1.92$ мкм. Силы становятся более равномерными.

С увеличением глубины модуляции амплитуда автоколебаний снижается практически пропорционально глубине модуляции (рис. 4). Помимо этого, замечено, что при модуляции нагрузка на шпиндель станка была

в допустимых пределах, показываемых специальным индикатором на мониторе стойки ЧПУ. По графику видно, что амплитуда вибрации уменьшилась с 5 мкм до 1,4 мкм, далее повышать глубину модуляции нет возможности, поскольку станок не в состоянии обработать настолько большое ее значение. Таким образом, проведенное исследование доказало возможность гашения вибраций путем модуляции скорости резания.

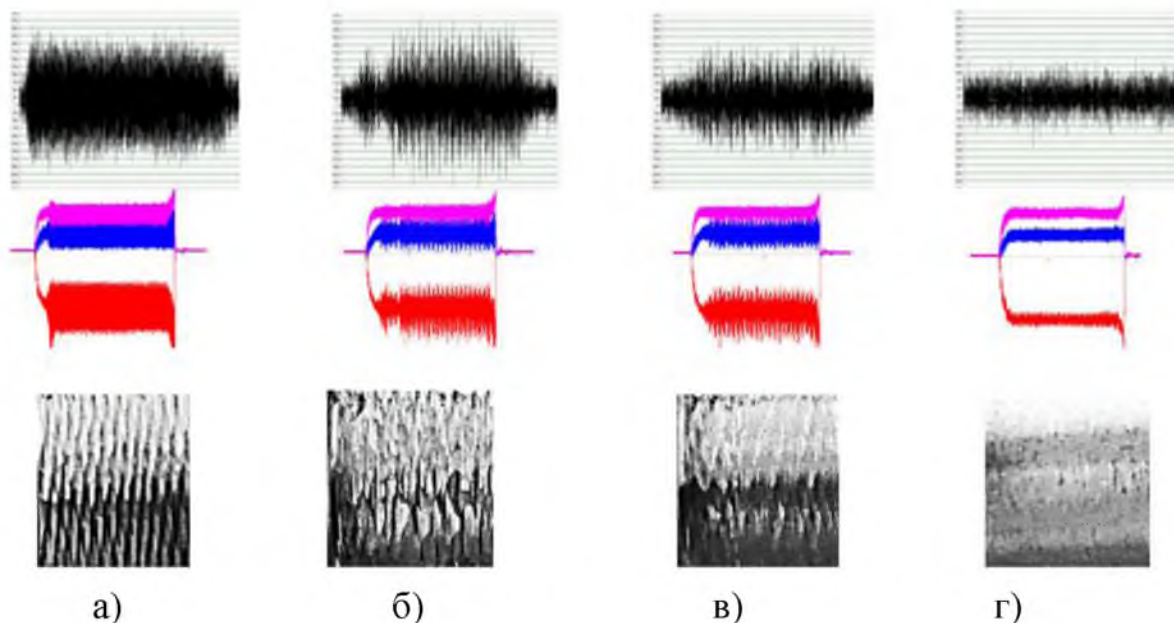


Рис. 4. Виброграммы перемещений (сверху), осциллограммы составляющих силы (P_x , P_y , P_z) резания, виды обработанных поверхностей (снизу): а) без модуляции; б) глубина модуляции = 5%; в) глубина модуляции = 15%; г) глубина модуляции 25%.

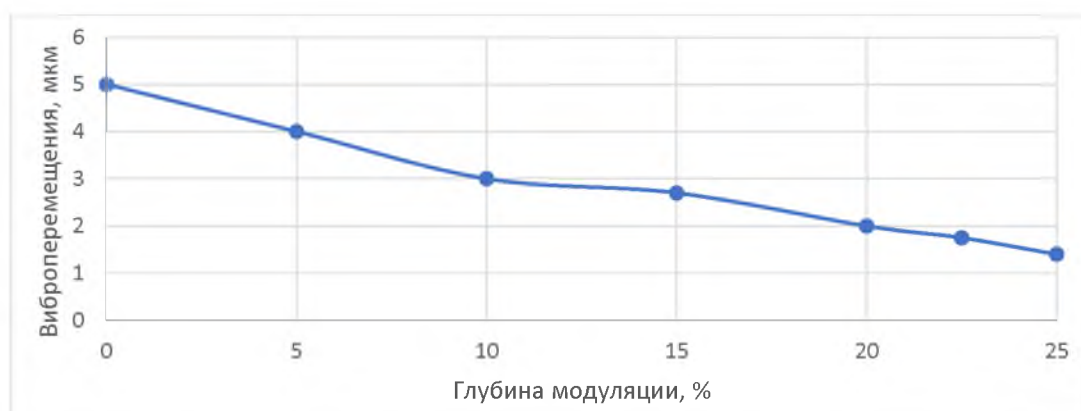


Рис. 5. График зависимости виброперемещений от глубины модуляции

Результаты проведенного исследования позволили выработать следующую рекомендацию по выбору параметров модуляции скорости резания.

Предлагается минимально возможную глубину модуляции выбирать более 1%, а максимально возможную выбирать согласно графика на рис. 3. Относительную частоту модуляции не рекомендуется выбирать равной

числу зубьев инструмента [5]. Её эффективное значение равно половине числа зубьев, и менее в соответствии с возможностями станка (см. рис. 2).

Заключение:

Механическая обработка детали с модулированной скоростью резания представляет сравнительно новое направление в технологии машиностроения. Её практическое применение затруднено в связи с малой изученностью и отсутствия рекомендаций по выбору параметров модуляции. Представленная статья в какой-то мере восполняет этот пробел. В ходе проделанной работы были определены границы возможностей станка по модуляции скорости резания и предложена рекомендация по выбору её параметров для токарного станка на примере обработки при частоте вращения шпинделя 1000 об/мин. Так же опытным путем на конкретном примере доказана возможность гашения автоколебаний посредством модуляции скорости резания. Показатель шероховатости полученной поверхности снизился в два раза по сравнению с обработкой без модуляции.

Список использованной литературы:

1. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. –199 с.
2. Шнепс, В. А. Экспериментальное исследование влияния синусоидального изменения скорости на устойчивость резания / В.А. Шнепс // Вопросы динамики и прочности. – Рига, 1970. - вып. 20. – С. 123-130.
3. Свинин В.М., Пешкова Е.А., Рыбас А.А. Исследование процесса точения нежестких валов с использование устройства модуляции скорости резания. Сборник статей XV Международной научно- практической конференции: в 3 частях. Забайкал. Гос. Ун-т. 2015.
4. Emad Al-Regib a , Jun Ni a,*, Soo-Hun Lee Programming spindle speed variation for machine tool chatter suppression. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 1229–1240.
5. Свинин В.М. Выбор параметров модуляции скорости резания для гашения регенеративных автоколебаниях. Вестник Самарского ГТУ Сер.: Технические науки. - 2006. - N 41. - С. . 135-142.
6. SINUMERIK 828D, 840D sl: Avoiding vibration in slewing gear pieces [Электронный ресурс]. – URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/78452062/sinumerik-828d-840d-sl%3A-avoiding-vibration-in-slewing-gear-pieces?dti=0&lc=en-WW> (Дата обращения: 19.04.2018).
7. Каталог Sandvik Coromant [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 19.04.2018).
8. Серебренникова А.Г., Пятых А.С., Тимофеев С.А. Исследование зависимости сил резания от геометрических параметров токарного резца. Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 241-246.

9. Савилов А.В., Пярых А.С., Тимофеев С.А. Оптимизация процессов механообработки на основе модального и динамометрического анализа. Наука и технологии в промышленности. 2013. № 1-2. С. 42-46.

УДК 629.1-44, 629.11.02

Подготовка инженерных кадров для машиностроительных производств

П.В. Королев¹, М.М. Ратинер²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

²Эбилити Лтд, Израиль, город Тель-Авив,

В статье рассматривается тенденция развития высшего технического образования в России. Сравнивается эффективность двух систем инновационного образования инженеров: система «Дальтон-план» и система «Проблемного обучения» На основе анализа данных анкетирования студентов оцениваются интересы и профессионализм будущих инженерных кадров, а студенты со своей стороны называют главные качества, которыми должен обладать преподаватель. В тезисной форме приведены рекомендации успешных выпускников ИрННТУ по поиску достойной работы.

Ключевые слова: инженерные кадры для машиностроительных производств, добровольное анкетирование, инновационные методы обучения, качества преподавателя, дальтон-план, проблемное обучение, обучаемость на опыте, рекомендации по поиску достойной работы.

Существует достаточно много прогнозов о путях развития Будущей России. Важнейшим фактором, определяющим стратегию развития нашей страны, будет подготовка инженерных кадров для машиностроения.

В прогнозах часто задаются риторические вопросы: «Кто будет строить Будущую Россию?», «В какие руки, старшее поколение страны, передаст эстафету?», «Как и чему учат инженеров - строителей Будущей России?», «Какими качествами должен обладать преподаватель университета?»

Для научного исследования были выбраны студенты двух институтов ИрННТУ: института «Недропользования» и института «Авиамашиностроения и транспорта» в количестве 7 групп, так как выпускники этих институтов в своей профессиональной деятельности должны создавать, эксплуатировать и ремонтировать очень широкую номенклатуру сложнейших механизмов и машин.

Метод научного исследования основан на добровольном анкетировании студентов, которое проводилось в течение четырех месяцев.

В соответствии с программой обучения, студенты этих институтов обязаны изучить такие сложные общеинженерные дисциплины, как: теоретическая механика, сопротивление материалов, теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования и др. Изучение этих дисциплин невозможно без хорошего знания математики и физики.

Знания студентов по математике можно оценить по баллам ЕГЭ при поступлении в ИрННТУ. В соответствии с рекомендациями Рособнадзора можно перевести баллы ЕГЭ в пятибалльную систему оценивания. Анализ баллов ЕГЭ по математике показал, что: 54% студентов имели оценку на уровне двойки и тройки, а 46% - на уровне четверки и пятерки.

Следовательно, половина студентов будет испытывать трудности при изучении общеинженерных дисциплин, требующих знания математики.

Преподаватели ИрННТУ стараются, чтобы студенты, поступившие в университет, успешно закончили обучение и стали профессиональными специалистами. Для этого в ИрННТУ применяют различные системы инновационного образования. Рассмотрим их особенности.

Система инновационного инженерного образования студентов с использованием технологий «Дальтон-плана» (Dalton-Plan) [1], используется авторами на протяжении 10 лет и показала свою эффективность.

Например, совместная работа со студентом ИрННТУ Бушуевым К.С., являющегося по совместительству дублером Министра лесного комплекса Молодежного правительства Иркутской области, позволила подготовить только в 2017 году: 1 доклад на международном симпозиуме, 4 статьи в профессиональных журналах лесной отрасли («Лесной комплекс Сибири», «Лесная индустрия», «ЛПК Сибири»), 5 докладов на научно-практических конференциях разных университетов России [2].

Опыт использования «Дальтон-плана» в показал, что успеваемость студентов возрастает до 95-100%.

В сплоченных группах, где имеется авторитетный староста, «Дальтон-план» принимается «на ура» слабыми студентами, так как часть работы по повышению их успеваемости ложится на плечи сильных студентов.

В студенческих группах, где нет авторитетного старосты, а вся группа часто состоит из нескольких «команд», практически не общающихся между собой, обучение с использованием технологий «Дальтон-плана» отвергается, той группой студентов, для которых процесс обучения не представляет трудностей. Эта группа уверена, что без проблем сдаст изучаемую дисциплину, а помогать отстающим и слабым студентам не намерена.

В этом случае преподавателям приходится использовать методы проблемного обучения [3], известного, как говорят историки, еще со вре-

мен Сократа. Суть этого метода такова: не навязывание студентам своих мыслей, а подведение их к решению проблемы с помощью вопросов.

Проблемное обучение основывается на «теории мышления», разработанной психологами, где под термином «мышление» понимается поиск и открытие принципиально нового.

Алгоритм проблемного обучения состоит из двух важнейших шагов:

шаг 1: преподаватель ставит перед студентом учебное проблемное задание, шаг 2: проблемное задание побуждает студента к решению учебной проблемы и в процессе этого происходит приобретение новых знаний и их закрепление в сознании студента.

При выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин», проблемы выражаются в форме последовательного ряда многовариантных задач, ответы на которых заранее неизвестны.

Например: при проектировании привода конвейера, студент должен обосновать выбор одного конкретного электродвигателя из целого ряда возможных вариантов. Или, обосновать выбор термообработки и материала для изготовления зубчатых колес. Или, обосновать выбор конкретного типа муфт из огромного ряда предлагаемых к использованию. Таких проблемных задач при курсовом проектировании студент решает более десятка.

Приступая к выполнению курсового проекта, студент старается не думать самостоятельно и постоянно обращается к преподавателю с вопросом: «А какой вариант решения данной конкретной задачи мне выбрать?». Преподаватель совместно со студентом начинает рассматривать разные варианты решения данной конкретной проблемной задачи: оказывается, что на первый взгляд решений много, а студент должен выбрать только одно решение. Преподаватель «подводит» студента к принятию конкретного решения со следующим обоснованием: «Я выбираю такое-то решение, потому, что ...» и далее студент обосновывает свой выбор.

После решения второй или третьей конкретной проблемной задачи, студент уже самостоятельно старается решить оставшиеся задачи в курсовом проекте, занимаясь поиском выбора оптимального варианта и принимая на себя определенные обязательства за последствия, которые могут произойти.

Преподаватель рассказывает о конкретных примерах из своей практики и сообщает студенту, что работая на производстве и принимая конкретное решение, будущий инженер должен быть готов к материальной и даже юридической ответственности за принятое решение.

Таким образом, после выполнения курсового проектирования по дисциплине «Детали машин», студент впервые понимает, что выбор и обоснование конкретного оптимального решения из множества возможных зависит от него лично, а качество решения напрямую связано с уровнем его знаний. Такой студент уже готов к выполнению дипломной работы.

Успеваемость студентов при использовании системы проблемного обучения ниже, чем при системе «Дальтон-плана», и составляет в среднем 60-80% на момент окончания сессии. Неуспевающим студентам приходится сдавать долги уже в следующем семестре.

Подводя итог, можно сказать, что с точки зрения психологии, процедура самостоятельного решения студентом цепи последовательных и взаимосвязанных учебных проблемных задач, и является сущностью проблемного обучения. Психологи поясняют, что в этом случае знания преподавателя становятся знаниями студентов не в процессе их передачи, а в результате собственной мыслительной деятельности студентов.

Чтобы преподаватель мог получить положительный результат в своей деятельности, известная отечественная психологическая теория обучения (Ушинский К.Д.) рекомендует «узнать человека во всех отношениях» [4].

Одним из способов выполнения данной рекомендации является добровольное анкетирование студентов.

Студенты, отвечая на вопрос: «Зачем мне необходимо высшее образование?», дали следующие ответы: 63% студентов мотивированы возможностью стать квалифицированными специалистами и устроиться на высокооплачиваемую работу, 26% студентов мотивированы на получение высшего образования возможностью самореализоваться и поднять свой авторитет перед одноклассниками и родителями. Таким образом, 89% студентов мотивированы на получение высшего образования.

Однако на пути получения высшего образования у студентов стоит ряд причин, мешающих им. Студенты, отвечая на вопрос: «Что им мешает учиться в ИрНИТУ?», дали следующие ответы: 30% студентов отмечают, что неудачная организация их учебного процесса и совмещение учебы с работой самих студентов, снижает их успеваемость и мешает им учиться, более 30% студентов самокритично говорят, что им мешает учиться лень, нерасторопность, привычка откладывать все на последний момент.

В психологии причины лени у взрослых и детей сильно различаются [5]. У взрослых людей, основные причины лени следующие: нехватка силы воли, боязнь ответственности, следствие усталости и перегрузки на работе, понимание ненужности выполняемой работы, низкий уровень мотивации (работа, не приносящая удовольствие, и низкая заработная плата) и др.

У детей преобладают иные факторы развития лени: на первом месте стоит отсутствие мотивации. В этом случае задания не интересуют ребенка и выполняются на рутинном уровне, потому, что «так надо», а умственная деятельность практически не востребована.

На втором месте причиной лени является высокая сложность заданий. В случае неудачи при решении какой-то задачи, ребенок теряет уве-

ренность в своих силах и в дальнейшем просто перестает выполнять новые задания.

На третьем месте причиной лени у детей является неправильная расстановка приоритетов: развлечение (интернет, компьютерные игры, телевидение, спорт) превалирует над учебой.

Анализ ответов показал, что студенты 2-3 курсов ИрННТУ, считающие себя уже взрослыми, на самом деле имеют детские, а точнее подростковые причины развития лени. Преподаватель самостоятельно может уменьшить влияние лени на успеваемость студента, известными методами: мотивированием студентов к выполнению проблемных задач и варьированием сложности задач [6].

Рассказывая о собственной лени по отношению к учебе, интересно посмотреть, как студенты оценивают работу преподавателя, который досконально и тщательно проверяет расчеты и чертежи курсового проекта. Студенты знают, что преподаватель затрачивает на проверку одного курсового проекта до 3 часов, хотя мог бы затратить и 15 минут.

Анализ ответов студентов показал следующее: более 50% студентов понимают, что преподаватель качественно проверяет курсовой проект с целью воспитания из студентов будущих профессионалов, настоящих инженеров, для 30% студентов такой преподаватель является примером, так как он добросовестно работает при отсутствии контроля сверху, а это свидетельствует о высшей степени преданности делу и его профессионализме.

Студентов очень заинтересовал вопрос: «Мой любимый преподаватель должен: ...». Авторы не ожидали, что количество ответов на этот вопрос в два раза превысит количество ответов на другие вопросы (рисунок 1). Отмечая желательные качества своего любимого преподавателя, студенты на первое место (34%) ставят уважение к себе и понимание, не исключая требовательности и строгости. На второе место (30%) студенты ставят такое качество преподавателя, как его профессионализм. На третьем месте (12%) стоит справедливость, а на четвертом (10%) – чувство юмора [7].

Также большое число ответов набрал вопрос: «Какие свои качества я, как будущий специалист, укажу в резюме, чтобы меня взяли на работу после окончания ИрННТУ?».

Известно, что кадровые агентства при наборе персонала, требуют наличие у специалиста опыта работы. А у студентов, закончивших ИрННТУ такого опыта работы нет.

Анализ ответов студентов на заданный вопрос показал следующее: на работу без больших проблем после окончания университета смогут устроиться студенты: имеющих опыт работы, те кто желает и дальше учиться и переучиваться, готовых работать больше, чем китайцы, имеющих родственные связи, которые гарантируют им устройство на хоро-

шую работу. Всего таких студентов на 2-ом и 3-ем курсах набирается не более 20%!



Рис. 1. Мой любимый преподаватель должен...

Что написать в резюме? Таким вопросом задаются не только студенты, но и многие специалисты, ищущие работу. Однако резюме молодого специалиста принципиально отличается от резюме специалиста с опытом.

Для специалиста с опытом работы важно показать: какие задачи решались и как они были решены. То есть важен опыт и компетентность.

Выпускники университетов не могут похвастаться законченными и внедренными проектами. Молодому специалисту важно показать: интересна ли была учеба и как легко она давалась.

Если обратиться к рекомендациям кадровых агентств [8] с вопросом: «Какие кадры будут востребованы в ближайшее время?», то в тезисной форме ответ будет звучать так:

1. Безграмотными в XXI веке будут не те, кто не умеет читать и писать, а те, кто не умеет учиться, разучиваться и переучиваться.

2. Такой подход называется: «Learning agility», а его примерный перевод на русский язык означает «Обучение на опыте».

Еще некоторое время в России работодатели будут обращать на этот фактор внимание. А, например, в Израиле, эта фраза сегодня присутствует во всех резюме. Поэтому кроме способности обучаться и переучиваться, в резюме нужно показать также свой круг интересов.

Для студентов будут полезными рекомендации выпускников ИрНИТУ, имеющих стаж работы 10-15 лет, и работающих в настоящее время в

крупнейших российских и иностранных компаниях в Москве. Эти выпускники уехали из Иркутска в Москву, потому, что с их слов, специалистам с высокой квалификацией очень сложно найти достойную по оплате работу в Иркутске [9].

В тезисной форме рекомендации успешных выпускников ИрННТУ по поиску достойной работы звучат так:

1. Посмотреть вакансии и резюме других соискателей (300 штук и более).
2. Заплатить деньги профессионалам, чтобы они составили Ваше резюме.
3. Не писать «стрессоустойчивый» и тому подобный вздор, так как это бесит кадровиков. Такие резюме прямиком идут в корзину для мусора.
4. Постараться «пройти кадровика» и попасть на собеседование к специалисту, своему будущему начальнику.
5. На 3-4 курсе ИрННТУ устроиться на работу по специальности на любую должность с маленькой зарплатой или вообще без оплаты и получить опыт работы.
6. Стандартная процедура работы сотрудника крупной компании: «Обучаемость на опыте» – решил проблему, запомнил, а лучше записал методику выполнения этой работы, в другой раз уже решаешь эту проблему без задержек. Существуют также внутренние порталы баз знаний (wiki) во многих крупных фирмах, на которых сотрудники компании публикуют статьи и инструкции по уже выполненным проектам.

Общие выводы:

1. Преподаватели технических университетов стараются сделать все, что в их силах, чтобы студенты, поступившие в университет, успешно закончили обучение и стали профессиональными специалистами. Для этого преподаватели применяют различные системы инновационного обучения, например, такие как: «Дальтон-план» и «Система проблемного обучения».
2. Низкая успеваемость студентов объясняется тем, что половина студентов, поступивших в ИрННТУ, имели оценку по математике на уровне 2 и 3.
3. 63% студентов, отмечают, что поступили в ИрННТУ с целью стать квалифицированными специалистами и устроиться на высокооплачиваемую работу, а 26% студентов мотивированы на получение высшего образования с целью самореализоваться в жизни и поднять свой авторитет перед одноклассниками и родителями.
4. 30% студентов отмечают, что неудачная организация их учебного процесса и необходимость совмещения учебы и работы самих студентов, снижает их успеваемость и мешает им учиться.

5. Более 30% студентов самокритично говорят, что им мешает учиться лень, собственная нерасторопность, привычка откладывать все на последний момент.

6. Студенты 2-3 курсов ИрННТУ, считающие себя уже взрослыми, на самом деле имеют подростковые причины развития лени, а именно: отсутствие мотивации, высокая сложность заданий, неправильная расстановка приоритетов: развлечение превалирует над учебой.

7. Отмечая желательные качества преподавателя, студенты на первое место (34%) ставят уважение к себе и понимание, не исключая требовательности и строгости. И только на второе место (30%) студенты ставят такое качество преподавателя, как его профессионализм. На третьем месте (12%) стоит справедливость, а на четвертом (10%) – чувство юмора.

8. Рекомендуем ввести в штат ИрННТУ профессионального психолога, который используя законы педагогической психологии, позволит повысить успеваемость и снизить количество отчисляемых студентов.

Список использованной литературы:

1. Королев П.В. Инновационные технологии при обучении бакалавров. – Иркутск, Изд-во ИрГТУ, Вестник ИрГТУ №12 (83), 2013 г., с. 402–406.

2. Борзин А.А., Бушуев К.С., Королев П.В. Стратегия и тактика преобразования лесной отрасли Сибири в высокотехнологичную индустрию в Будущей России. В кн.: «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». Труды XII международного Евразийского симпозиума 19-22 сентября 2017 г. – Екатеринбург, 2017, с. 4-9.

3. http://studbooks.net/55076/pedagogika/organizatsiya_uchebnoy_deyatelnosti_studentov_s_ispolzovaniem_metodov_problemnogo_obucheniya. Организация учебной деятельности студентов с использованием методов проблемного обучения.

4. Ушинский К.Д. Человек как предмет воспитания: опыт педагогической антропологии. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004 г. – 576 с.

5. <https://tutknow.ru/psihologia/6246-kak-poborot-len.html>. Психология: как побороть лень?

6. https://studopedia.ru/14_121297_motivatsiya-uchebnoy-deyatelnosti-i-umstvennoe-razvitiye.html. Мотивация учебной деятельности и умственное развитие.

7. <https://promdevelop.ru/podgotovka-inzheneryh-kadrov-v-mashinostroenii-dlya-budushhej-rossii-vyzovy-i-puti-resheniya/> Подготовка инженерных кадров в машиностроении для Будущей России: вызовы и пути решения.

8. <https://www.talent-management.com.ua/2072-kak-uchatsya-vzroslye-model-kolba-i-fraya>. Как учатся взрослые? Модель Колба и Фрая – обучение, основанное на опыте.

9. <http://ecolife.ru/zhurnal/articles/48244/>. Каким должен быть мой любимый преподаватель? / Подготовка инженерных кадров для Будущей России.

УДК 21.9. 34.63-5

Оценка способности вертикально-фрезерного станка с ЧПУ к модуляции скорости резания для подавления автоколебаний

Д.А. Лановой, А.В. Шутенков, В.М. Свинин, А.В. Савилов, А.С. Пятых

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Программным путем воспроизведена модуляция скорости резания на станке DMC 635. При работе на холостых ходах проведена оценка фактической отработки глубины модуляции при диапазоне относительных частот модуляции от 0.5 до 2 мод/об и установлены нагрузки шпинделя. Проведены опыты по подавлению автоколебаний путем модуляции скорости резания. Амплитуда колебаний уменьшается в 6 раз при сверлении и в 2 раза при концевом фрезеровании. Составлены рекомендации по выбору параметров модуляции скорости резания для гашения регенеративных автоколебаний.

Ключевые слова: автоколебания, модуляция скорости резания, вибрации при сверлении, вибрации при фрезеровании, программный способ, DMC 635, Siemens, параметры модуляции.

Введение

Автоколебания, возникающие при механической обработке заготовок, являются крайне нежелательными из-за ухудшения точности и качества обработки, снижения производительности и ускорения износа инструмента и станка. Существуют различные способы для подавления автоколебаний, их примеры приведены в работах [1], [2], [3]. Однако, одним из перспективных методов подавления автоколебаний является обработка с модулированной скоростью резания. Вопрос программной реализации и изучения модуляции скорости резания на современном металлообрабатывающем оборудовании рассматривался в работах [1], [4], и [5]. Для промышленного применения этот метод ещё недостаточно изучен, в частности, отсутствуют рекомендации по выбору рациональных значений частоты и глубины модуляций. Поэтому изучение возможностей современных станков с ЧПУ для модуляции скорости резания и исследования её эффективности по подавлению автоколебаний представляет актуальную задачу современного машиностроения.

Было выполнено следующее:

- 1) Найдены, в результате поиска научно-технической информации, программные средства для реализации модуляции на вертикально-фрезерном станке модели DMC 635.
- 2) Исследована фактическая отработка глубины модуляции частоты вращения шпинделя в диапазонах от 800 до 4000 об/мин и относительных частотах модуляции от 0.5 до 2 мод/об.
- 3) Определены нагрузки шпинделя, вызванные модуляцией частоты его вращения в выбранной области.
- 4) Опытным путём доказана возможность подавления автоколебаний при работе с рациональными значениями параметров модуляции.

Оборудование и методика проведения опытов

Исследования проводили на вертикально-фрезерном станке DMC 635 DeckelMaHo. Для создания программной модуляции частоты вращения шпинделя было найдено два пути решения. Первая программа была взята из работы [4] и скорректирована под соответствующее оборудование. В ней модуляция производится по гармоническому синусоидальному закону. Выбор данного типа модуляции объясняется тем, что в отличие от другой формы изменения частоты вращения, система будет испытывать наименьшие нагрузки при разгоне и торможении. Вторая программа была найдена у производителей Siemens [6], чей код представлял изменение частоты вращения шпинделя по таймеру с заданной глубиной и частотой модуляции. Таким образом, был проведен эксперимент по фактической отработке глубины модуляции, а также нагрузок, возникающих в процессе выполнения программы при частотах вращения шпинделя от 800 до 4000 об/мин, с различной глубиной модуляции, и относительной частотой модуляции 0.25 мод/об, 0.5 мод/об, 1 мод/об и 2 мод/об.

Для проведения эксперимента в качестве режущих инструментов были выбраны твердосплавное сверло, диаметром 9 мм с углом при вершине 140° и рабочей длиной 46.5 мм фирмы Sandvik Coro Drill delta-CR840-0900-50-A1A и концевая твердосплавная четырехзубая фреза, диаметром 16 мм, углом наклона винтовой канавки 46° , передним углом 15° , задним углом 12° , и рабочей длиной 38 мм, изготовленная на ИАЗ.

Согласно каталогу производителя [7] и измеренных твердостей обрабатываемых поверхностей были назначены рекомендуемые диапазоны режимов резания для сверления. Для фрезерования режимы резания определяли исходя из того, что данный инструмент будет обрабатывать жаропрочные, хромистые металлы и титан [8].

При проведении исследования использовали следующее оборудование: динамометрический стол фирмы «Kistler» для измерения сил при резании, вибропреобразователь AP85-100 для записи виброграмм, профилометр Form Talysurf 200 для измерения шероховатостей, модуль «Sounds and Vibrations» National Instruments, и программа «DynoWare» Kistler для обработки результатов. В ходе проведения эксперимента было выполнено

17 отверстий диаметром 9 мм при частоте вращения шпинделя 3892 об/мин. Глубину модуляции меняли от 0 до 1% с шагом 0.2%, а затем от 1 до 12% с шагом в 1%. Модуляцию скорости резания при концевом фрезеровании проводили на том же оборудовании и программном обеспечении. Но для более точного измерения вибраций непосредственно в зоне резания дополнительно использовали лазерный виброметр Polytec OFV-505. Модуляция скорости резания при концевом фрезеровании проводилась 6 раз. Ширина фрезерования составляла 20 мм, радиальная глубина резания 0,5 мм. Глубину модуляции меняли от 0 до 5% с шагом в 1%. Заход фрезы в заготовку осуществляли по радиусу 2 мм.

Частота модуляции, с которой проводили обработку поверхностей при сверлении и фрезеровании выбрана исходя из данных работы [9]. Исходя из нее, можно сказать, что для сверления оптимальной частотой модуляции будет величина, равная одной модуляции за оборот, а при фрезеровании – двух модуляций за оборот.



Рис. 1. Экспериментальные установки для модуляции частоты вращения шпинделя при: а) сверлении; б) концевом фрезеровании

Для концевой фрезеровки заготовками являются тонкостенные пластины из стали 20 твердостью 110 НВ и размерами 120x100x6 мм, закрепленные в тисках с вылетом 80 мм и шириной 100 мм. Для сверления заготовкой являлась призма из стали 35 твердостью 170 НВ и размерами 105x145x50 мм. Данные заготовки показаны на рисунке 1.

Перед началом исследования влияния модуляции на гашение автоколебаний был проведен модальный анализ при помощи следующего оборудования: молотка с датчиком силы «DynaPluse», пьезодатчика виброускорений Dytran 3225F1, модуля АЦП фирмы «National Instruments» и программного обеспечения «CutPro». Путем удара молотка оценивали коэффициент демпфирования и определяли частоту собственных колебаний сверла и обрабатываемой пластины. Далее полученный сигнал обрабатывали в программе «Cut Pro». Методика построения лепестковых диаграмм устойчивости технологической системы при резании описана в работе

[10]. На основании этих диаграмм выбрали самые неблагоприятные, находящиеся на границе устойчивости, параметры режимов резания.

Результаты и обработка полученных данных

Первая серия опытов по отработке модуляции частоты вращения шпинделя дала следующие результаты. Были построены графики фактических отработок модуляции при частоте вращения шпинделя 800 об/мин (рис. 2).

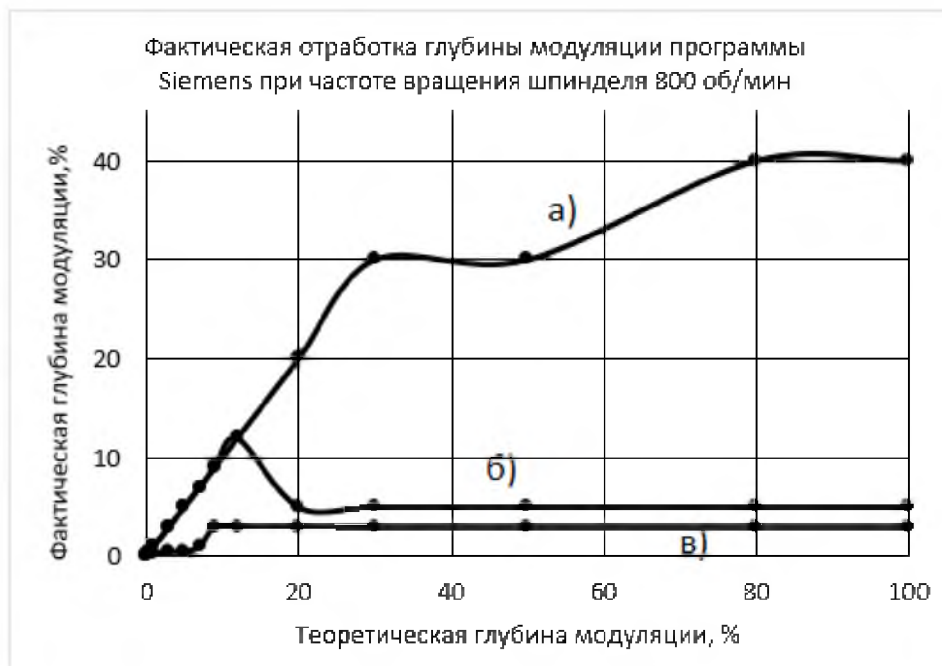


Рис. 2. График фактической отработки глубины модуляции по программе Siemens при частоте вращения шпинделя 800 об/мин, при относительных частотах модуляции: а) 0.5 мод/об; б) 1 мод/об; в) 2 мод/об

На графике изображены фактические отработки глубин модуляции на частотах вращения шпинделя 800 об/мин. Можно наблюдать, что при увеличении параметра относительной частоты модуляции значение фактической отработки модуляции значительно уменьшается. Также, глубина модуляции имеет определенный предел, дальше которого модуляция при заданных параметрах не выполняется. Например, на рисунке 2 для частоты вращения шпинделя 800 об/мин и относительной частоты модуляции 1 мод/об, предельным значением глубины модуляции является 5%, т.е. при дальнейшем увеличении глубины модуляции, фактическое значение данного параметра меняться не будет. Теоретические глубины модуляции выбраны исходя из нагрузки, возникающей на шпинделе станка. Таким образом, при частоте вращения 800 об/мин шпиндель не испытывает нагрузок выше 50% на всем диапазоне модуляции.

В результате выполненного модального анализа были построены лестничные диаграммы устойчивости, по которым выбирали самые неблагоприятные, находящиеся на границе устойчивости режимы. Для сверления такими оказались: частота вращения шпинделя $n=3892$ об/мин, подача

$f=0,2$ мм/зуб, глубина сверления $t=8$ мм. Для фрезерования: частота вращения шпинделя $n=816$ об/мин при подаче $f=0,05$ мм/зуб, радиальной глубине резания $t=0,5$ мм, ширине фрезерования 20 мм.

Вторая серия опытов показала возможности гашения автоколебаний путем модуляции частоты вращения шпинделя. Результаты, полученные при сверлении, представлены на рисунке 3.

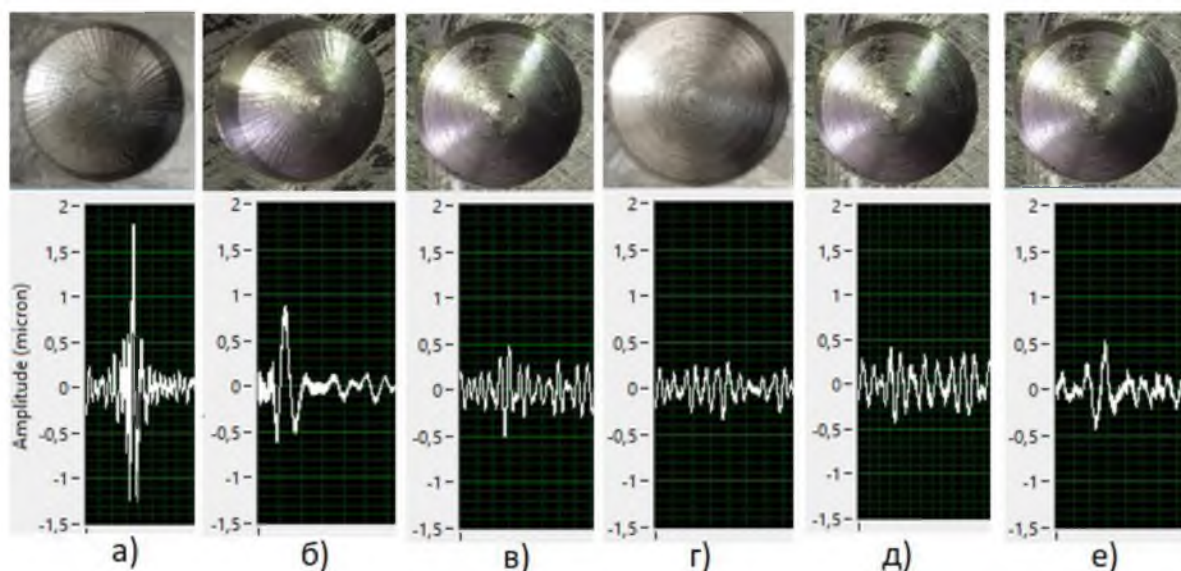


Рис. 3. Вид обработанной поверхности и виброграммы смещений при сверлении с глубиной модуляции: а) 0%; б) 0.4%; в) 0.6%; г) 3%; д) 5%; е) 12%

На виброграммах видно, что при отсутствии модуляции, размах колебаний сверла составляет 3.1 мкм, а поверхность, полученная при резании, грубая. С увеличением глубины модуляции данный параметр уменьшается, что также сказывается и на виде обработанной поверхности. Минимальные вибрации обнаруживаются при глубине модуляции в 3%, а их размах составляет 0,7 мкм. При дальнейшем увеличении глубины модуляции наблюдается обратный эффект. Величина амплитуды вибраций начинает возрастать, что говорит об усилении автоколебаний.

Для модуляции скорости резания при концевом фрезеровании получены результаты, показанные на рисунке 4.

Виброграммы показывают, что при резании без модуляции вибрации имеют размах колебаний в 60 мкм. На обработанной поверхности отчетливо видны следы колебаний. При дальнейшем увеличении глубины модуляции размах колебаний уменьшается, что влияет на обработанной поверхность. Минимальные виброперемещения наблюдаются при глубине модуляции в 3 и 4%, размах колебаний при которых составляет 30 мкм. При дальнейшем увеличении глубины модуляции наблюдается самоторможение подачи, что приводит к некорректной отработке модуляции. Это приводит к образованию «зарубов» на обрабатываемой поверхности, увеличению виброперемещений и сил резания.

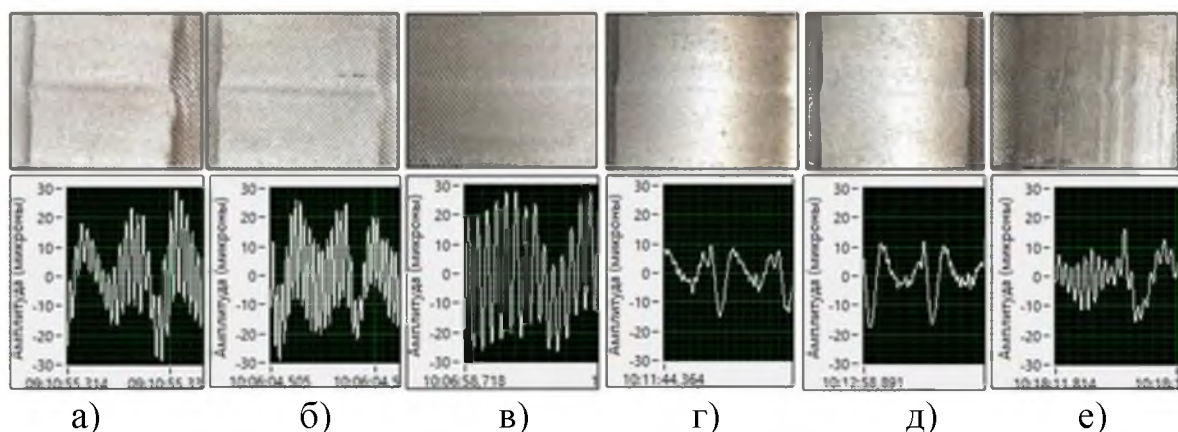


Рис. 4. Виброграммы и вид обработанных поверхностей при концевом фрезеровании с глубиной модуляции: а) 0%; б) 1%; в) 2%; г) 3%; д) 4%; е) 5%

Полученные в опытах данные сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты опытов

№	Глубина модуляции A, %	Относительная частота модуляции f_{mod} , мод/об	Программа, работающая по синусоидальному закону при частоте вращения шпинделя $n = 4000$ об/мин			Программа Siemens при частоте вращения шпинделя $n = 800$ об/мин		
			Шероховатость, Ra	Сила, Н	Виброперемещение, мкм	Шероховатость, Ra	Сила, Н	Виброперемещение, мкм
1	0	1	1.5	110	1.8	3	307	30
2	0.2		1.2	86	1.5	-	-	-
3	0.4		0.95	55	0.95	-	-	-
4	0.6		0.93	50	0.5	-	-	-
5	0.8		0.92	43	0.45	-	-	-
6	1		0.92	39	0.4	4	288	25
7	2		0.91	27	0.35	1	250	20
8	3		0.86	20	0.3	0.8	227	10
9	4		0.91	25	0.35	0.7	192	9
10	5		0.91	28	0.45	1.5	172	15
11	6		0.92	31	0.48	Область некорректной отработки подачи		
12	7		1.1	31	0.5			
13	8		1.2	34	0.52			
14	9		1.3	38	0.56			
15	10		1.3	42	0.58			
16	11		1.35	48	0.6			
17	12		1.37	52	0.6			

По полученным результатам можно сделать вывод, что при сверлении с увеличением глубины модуляции до 3% происходит заметное сни-

жение сил резания и амплитуды виброперемещений. Это влечет снижение высоты шероховатости обработанной поверхности, уменьшая соответственно показатель R_a до 0,86. При концевом фрезеровании увеличение глубины модуляции до 4% позволяет уменьшать амплитуды виброперемещений и силы резания. В результате этого параметр высоты шероховатости R_a снижается до 0,7. Дальнейшее повышение глубины модуляции приводит к обратному результату: виброперемещения и силы возрастают, а качество получаемой поверхности снижается.

Заключение

По результатам проведенных исследований определены возможности отработки модуляции частоты вращения шпинделя. Найдены области, в которых станок DMC 635 может обрабатывать модуляцию без предельных нагрузок на шпиндель. Составлены графики фактических отработок модуляции на частоте вращения шпинделя 800 об/мин, благодаря которому можно точно оценивать величину и полноценность отработки глубины модуляции (см. рис. 2). Наилучшая фактическая отработка глубины модуляции происходит при низких относительных частотах модуляции. Натурные опыты по сверлению показали, что во время работы с модуляцией частоты вращения шпинделя автоколебания уменьшаются в 6 раз, силы резания снижаются в 5,5 раз, а шероховатость отверстий уменьшилась с R_a 1,5 до R_a 0,8. Во время модуляции скорости резания при концевом фрезеровании автоколебания уменьшились в 2 раза, силы резания снизились в 1,5 раза, шероховатость поверхностей упала с R_a 3 до R_a 0,7. Данные опыты позволяют рекомендовать найденные глубины модуляции при назначенных режимах резания для подавления вибраций в промышленных условиях.

Список использованной литературы:

1. R. Engelhardt, S. Lin, R. DeVor, S. Kapoor, A verification of the use of variable spindle speed for vibration reduction in face milling, in: Proc NAMRC, 1989, pp. 115–122.
2. Капшунов В.В. Имитационное моделирование динамики процесса концевой фрезерования с модулируемой скоростью резания // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Чита 2003. 192 с.
3. Внуков Ю.Н., Натальчишин В.В., Гермашев А.И., Кучугуров М.В., Дядя С.И. Применение модуляции скорости главного движения фрезерного станка для гашения регенеративных автоколебаний при фрезеровании тонкостенных деталей. //ISSN 2305-9001. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №3 (72). 2014.
4. М.В. Кучугуров, А.И. Гермашев, С.И. Дядя, канд.техн.наук, А.В. Пирожок, канд.техн.наук, Запорожье, Украина Особенности реализации возможностей управления приводами станков на базе стойки чпуsiemens // Високі технології в машинобудуванні, 2015, випуск 1 (25)

5. Emad Al-Regib a , Jun Ni a,*, Soo-Hun Lee Programming spindle speed variation for machine tool chatter suppression b a Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics // International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 1229–1240; received in revised form 15 April 2003; accepted 8 May 2003
6. SINUMERIK 828D, 840D sl: Avoiding vibration in slewing gear pieces [Интернет -ресурс] <https://support.industry.siemens.com>
7. Каталог режущих инструментов SanvikCoromant «Вращающиеся инструменты», 2015. – 1500с.
8. Каталог СКИФ-М 2015 Металлорежущий фрезерный и сверлильный инструмент для станков, ООО «Скиф-М», Белгород, Россия 484 стр.
9. Свинин В.М. Выбор параметров модуляции скорости резания для гашения регенеративных автоколебаний. //Вестник Самарского ГТУ Сер.: Технические науки.– 2006.–N41.–С. 135-142.
10. Савилов А.В., Пятых А.С., Тимофеев С.А. Оптимизация процессов механообработки на основе модального и динамометрического анализа. // Наука и технологии в промышленности. 2013. № 1-2. С. 42-46.

УДК621.01

***Разработка проекта установки для лазерного спекания
металлических порошков на базе станка с ЧПУ 2206 ВМФ4***

В.Н. Москвитин, А.А. Карамышев, Д.С. Леонович

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В данной статье рассматривается проект создания установки для струйного лазерного спекания и механической обработки на базе горизонтально фрезерного станка модели 2206ВМФ4 с использованием лазера ЛС-1,5 для спекания металлического микропорошка с среде защитного газа. Статья актуальна в перспективе производства станков данного типа отечественным станкопроизводством в качестве аналога зарубежных моделям. Развитие направления струйного лазерного спекания позволит сократить объемы исходного сырья и как следствие отходов отправляемых на вторпроизводство в результате снятия большого объема материала, а также производить корпусные детали сложной формы.

Ключевые слова: *лазерное спекание, установка для спекания, трехмерная деталь, порошковая металлургия, защитная среда, аддитивные технологии.*

Технология лазерной обработки, получившая свое рождение около трех десятилетий назад, в настоящее время переживает пик своего развития и популярности. На данный момент, самой интересной областью применения лазера по праву считается Селективное Лазерное Спекание деталей порошков различного происхождения (SLS-технологии). Эта технология успешно применяется в работе 3D-принтеров и установок для лазерного спекания деталей. Суть технологии заключается в наращивании детали слой за слоем из 3D-модели путём спекания в луче лазера подачей металлического порошка и защитного газа – аргона. Материал в форме порошка выдувается из сопла и попадает на сфокусированный луч лазера. Часть порошка пролетает мимо, а та часть, которая попадает в фокус луча мгновенно спекается и слой за слоем формирует трехмерную деталь. Полученные детали, в зависимости от технологии получения, можно либо применять в машиностроении без последующей обработки, либо с минимальным объемом механической обработки. Порошки различных материалов можно смешивать и получать таким образом сплавы прямо во время печати.

Преимущества: высокая точность и возможность получения деталей из разных сплавов.

Недостатки: очевидная дороговизна технологии и оборудования для ее реализации.

Еще в 50-х годах XX века конструктор и академик Лев Кошкин писал, что видит перспективы развития промышленного производства в технологиях выращивания детали путем сложения, а не путем удаления лишнего материала. Хотя суммарный объем мирового рынка относительно невелик — \$3 млрд по итогам 2014 года, — ежегодные темпы его роста впечатляют: в среднем 20–30%. При этом доля РФ на нем оценивается лишь в 1,5%. Ориентация на западных поставщиков лишает российских потребителей возможности искать новые пути применения аддитивных технологий.

Аддитивные технологии открыли возможность изготовления деталей любой сложности и геометрии без технологических ограничений. Геометрию детали можно менять еще на стадии проектирования и испытания.

Новые технологии позволяют сократить себестоимость некоторых деталей в десять раз, при этом их производство можно наладить на собственных площадях, тем самым устранив риски доставки и взаимодействия с поставщиками [1].

Работы в данном направлении включают в себя: производство металлических порошков, выбор лазера по мощности и оптическим параметрам, системы управления по геометрическому параметру детали, систем подачи порошка и защитного газа и т.д..

Новая порошковая металлургия перспективна для получения ответственных деталей авиационной техники. Оптимальным для Аполучения

легированных порошков сплавов на основе титана, циркония и других высокореакционных металлов следует считать метод вращающейся заготовки, обеспечивающий наибольшую чистоту порошков и их однородность по гранулометрическому составу. В качестве примера можно рассмотреть сконструированные построенные в России промышленные установки ВГУ-2 и ВГУ-3, основанные на принципе бесцентрового вращения цилиндрической титановой заготовки, торец которой оплавляется сосредоточенным источником нагрева, например плазменной горелкой или электрической дугой. Разлетающиеся под воздействием центробежной силы с оплаваемого конца микро капли расплавленного металла затвердевают на лету, образуя микро гранулы правильной сферической формы с чистой блестящей поверхностью [1].

В промышленности лазерного спекания применяют несколько видов лазеров:

Твердотельный лазер - лазер, в котором в качестве активной среды, используется вещество, находящееся в твердом агрегатном состоянии. Одним из перспективных типов является иттербиевый волоконный лазер Рис.1.

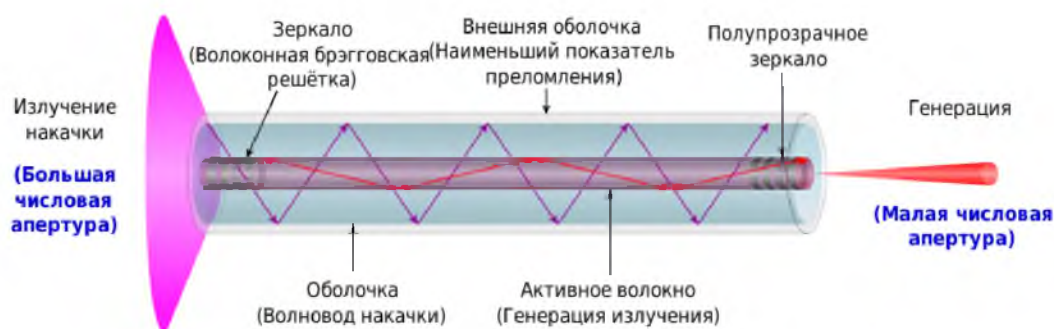


Рис. 1. Схема иттербиевого волоконного лазера

Устройства этого типа представляют собой вариацию стандартного твердотельного источника когерентного излучения с рабочим телом из оптоволокна, а не стержня, пластины или диска. Свет генерируется легирующей примесью в центральной части волокна. Основная структура может варьироваться от простой до довольно сложной. Устройство иттербиевого волоконного лазера таково, что волокно имеет большое отношение поверхности к объему, поэтому тепло может быть относительно легко рассеяно. Волоконные лазеры накачиваются оптически, чаще всего с помощью диодных квантовых генераторов, но в некоторых случаях – такими же источниками. Оптика, используемая в этих системах, как правило, представляет собой волоконные компоненты, причем большинство или все они соединены друг с другом. В некоторых случаях используется объемная оптика, а иногда внутренняя оптоволоконная система сочетается с внешней объемной оптикой. Источником диодной накачки может служить диод, матрица, или множество отдельных диодов, каждый из которых связан с соединителем волоконно-оптическим световодом. Легированное волокно на каждом конце

имеет зеркало объемного резонатора – на практике в волокне делают решетки Брэгга. На концах объемной оптики нет, если только выходной луч не переходит в нечто иное, чем волокно. Световод может скручиваться, так что при желании лазерный резонатор может иметь длину в несколько метров.

Общий вид выбранного лазера ЛС-1,5 приведен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид выбранного лазера ЛС-1,5 для проектируемой установки

Характеристики лазера ЛС-1,5 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оптические характеристики лазера ЛС-1,5

N	Характеристики	Условия измерения	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
1	Режим работы	Непрерывный, квазинепрерывный					
2	Поляризация	Случайная					
3	Диапазон выходной мощности при стабильном режиме генерации	На выходе оптического коннектора	$P_{\text{вых}}$	150		1500	Вт
4	Длина волны излучения		λ_c	1065	1070	1075	нм
5	Ширина линии излучения		$\Delta\lambda$		3	6	нм
6	Время включения/выключения	Максимум выходной мощности			80	100	мксек

Производители лазеров данного типа: IPG Photonics-США; Elmot-Китай; ООО «НПП ЭлМото»-Россия, Санкт-Петербург.

Особенности механической обработки деталей из порошков. Обработку резанием (точение, сверление, фрезерование и т. д.) применяют в

тех случаях, когда прессованием нельзя получить детали заданных форм и размеров, для нарезания внутренних и наружных резьб, получения узких, но глубоких отверстий и т. д. При обработке резанием используют хорошо заточенный и доведенный инструмент, оснащенный пластинками из твердого сплава или алмаза. Спеченные детали из сплавов на основе железа, титана, никеля и других металлов могут также подвергаться различным видам термической или химико-термической обработки.

При работе над дипломным проектом было разработано техническое задание в котором рассмотрены следующие вопросы: Назначение установки и области применения - исследование технологий создания деталей из порошковых материалов методом лазерного спекания. Определение параметров оборудования, входящего в установку. Создание систем управления установкой и методы контроля режимов спекания. Определение уровня безопасности производства деталей методом лазерного спекания (выявление факторов возможных аварийных ситуаций при получении деталей, полученных методом лазерного спекания порошковых материалов).

Технические характеристики разработанной установки:

- Размер спекаемых деталей: 680×500 мм.
- Толщина стенки получаемых деталей: от 1 до 20 мм.
- Материал используемого порошка: титан, алюминий, железо.
- Диаметр порошковых гранул: от 0,2 до 0,4 мм
- Производительность установки: от 0,1 до 50 мм/мин.
- Защитная среда: для деталей, полученных из титанового порошка, защитной средой является аргон; для деталей, полученных из алюминиевого или железного порошка, защитной средой является азот.
- Температура в зоне лазерного воздействия на металл не менее 2000 °С.

Базовый станок - Станок горизонтальный многоцелевой, сверлильно-фрезерно-расточной. Модель 2206ВМФ4 (технические характеристики приведены в таблице 2).

Таблица 2 – Технические характеристика

Число координат	4
Рабочая зона стола	800×600 мм
Точность позиционирования	12мкм
Тип системы управления	2С42, Фанук 6М-Е
Скорость перемещения стола	0-12000 мм/мин
Скорость быстрого перемещения по координатам X,Y,Z	12000 мм/мин
Частота вращения шпинделя	10-3500 об/мин

Технические характеристики системы подачи порошка.

Емкость подающего бункера - 0,2 м³. Принцип подачи порошка: комбинированный. Порошок подается из бункера под давлением 0,15 мПа за счет разряжения в наплавляющей головке 200 кПа. Аэрирование порошка производится с помощью вибрационного устройства и подачи газа в принимающую емкость. Подача порошка в зону спекания регулируется подачей давления, контроль осуществляется по манометру.

Технические параметры головки спекания.

Число подающих порошок сопел-2. Охлаждающий корпус. Циркуляционная водная система охлаждения. Подача аргона/азота - поточная, по всему диаметру. Диаметр - 10-15 мм. Материал – Медь.

Состав установки:

Лазер волоконный иттербиевый ЛС-1.5. Система подачи порошка. Система подачи рабочего газа. Система охлаждения лазерного излучателя. Система охлаждения спекающей головки

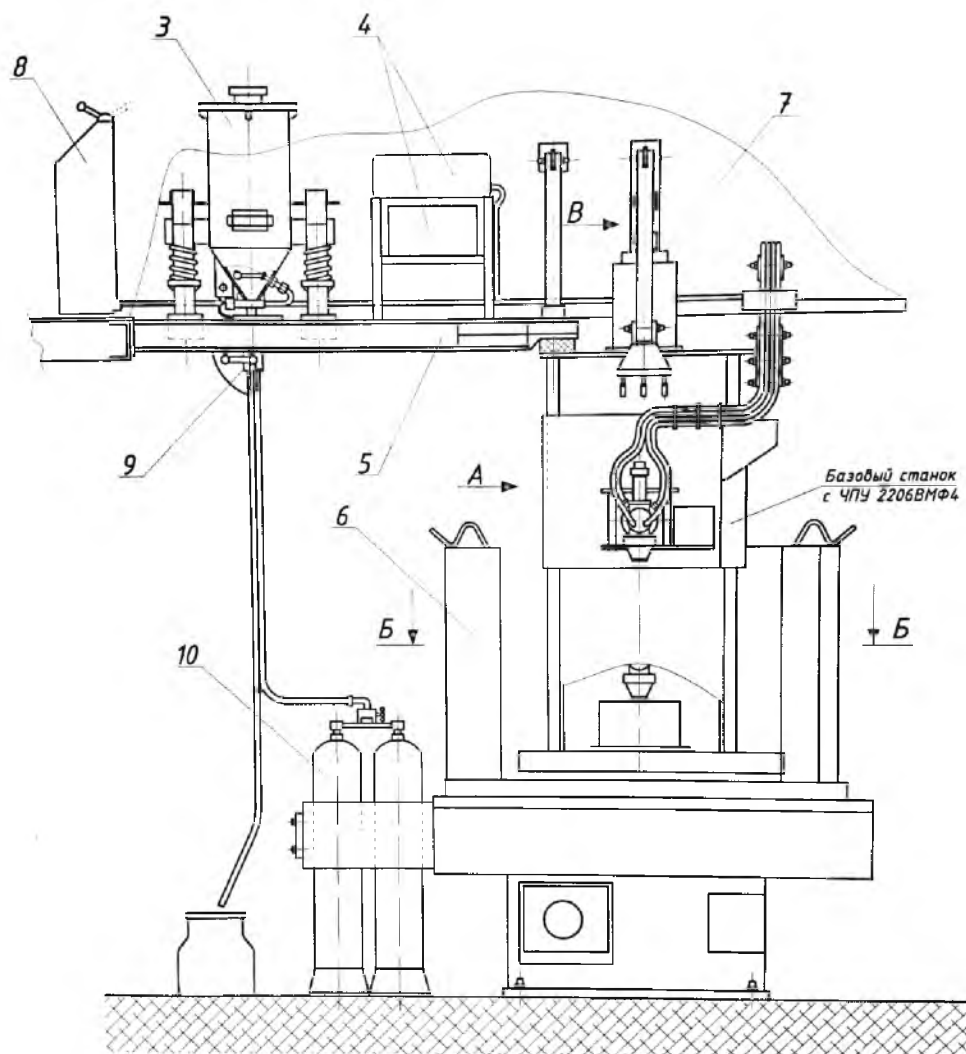


Рис. 3. Установка для лазерного спекания металлических порошков на базе станка Модель 2206ВМФ4

На рисунке 3 обозначено: 3 – устройство подачи порошка; 4 – лазер с системой подачи; 5 – рама опорная; 6 – экран защитный (темный); 7 – манипулятор для снятия спекающей головки; 8 – блок управления головкой; 9 – кран сброса порошка; 10 – система питания защитным газом.

Перспективная установка для струйного лазерного спекания и механической обработки представляет собой модульную конструкцию и состоит из двух рабочих зон (рис. 4).

Первая зона (рис. 4) струйного лазерного спекания включает станок фирмы METROM 6-и координатный вместо шпинделя установлена лазерная головка плавления с подачей аргона и металлического порошка. Для экономии расхода аргона модуль имеет герметичную камеру с откачкой и регенерацией аргона. На верхней раме модуля устанавливается модуль для размещения волоконного лазера мощностью не менее 5÷6 кВт, система подготовки порошка и системы подачи газа и порошка к спекающей головке.

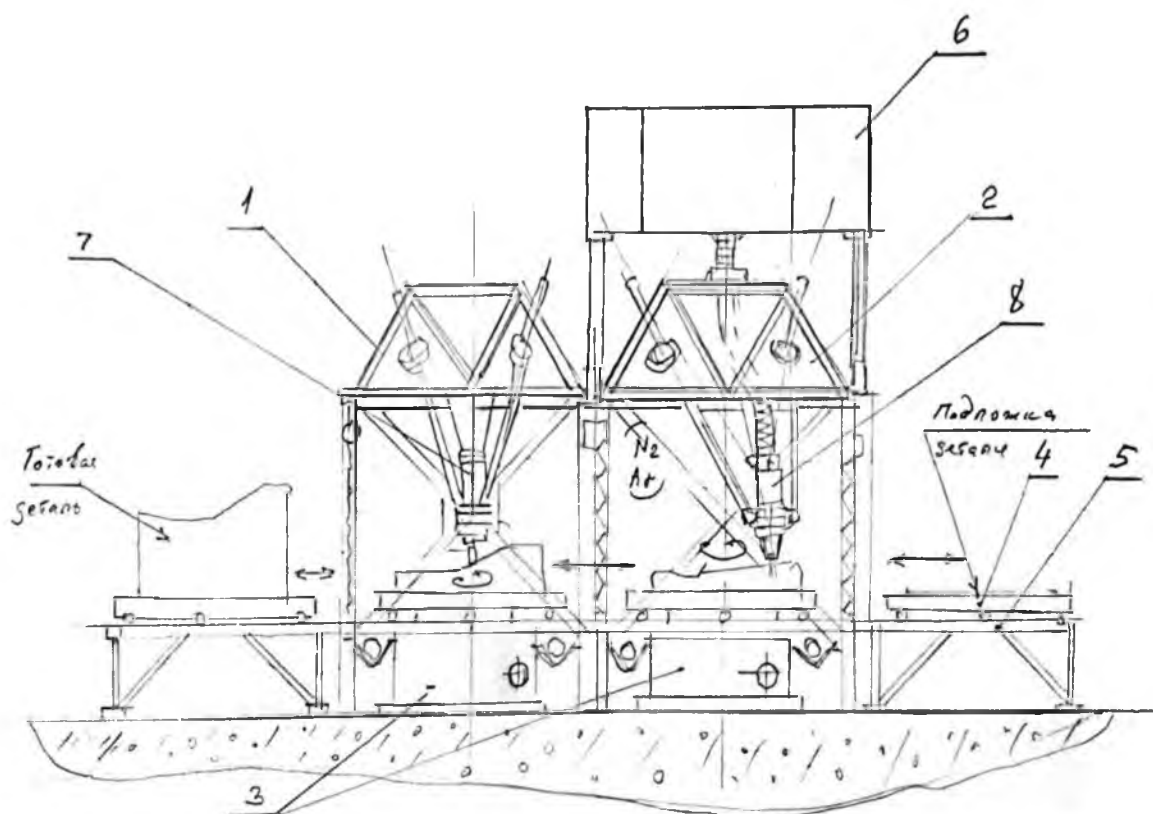


Рис. 4. Установка комплексной обработки спекания – фрезерования на базе станка «METROM»

На рисунке 3 обозначено: 1 – модуль фрезерования; 2 – модуль «спекания»; 3 – поворотные столы; 4 – паллеты; 5 – продольные рельсы; 6 – модуль лазера и подачи порошка и защитного газа; 7 – электрошпиндель; 8 – головка спекания порошка.

Вторая зона воплощает механическую обработку детали после наплавления так же включает 6-и координатный станок фирмы METROM

с эл. шпинделем мощностью 32 кВт. Задача данного модуля – получение точных (5-7 квалитет) поверхностей путем токарной, фрезерной, шлифовальной.

Технические характеристика станка модели P2030:

- 5-ти осевой обрабатывающий центр с ЧПУ;
- Зона обработки: 2000×3000×1000 мм;
- Макс. мощность шпинделя (S6): 32 кВт;
- Конус шпинделя: HSK-A63/A80/A100;
- Макс. частота вращения шпинделя: 24000 об/мин;
- Макс. момент на шпинделе: 115 Н·м;
- Макс. рабочая подача: 45000 мм/мин;
- Макс. ускорение: более 10 м/с²;
- Точность позиционирования: 0,02 мм;
- Точность повторяемости: 0,003 мм;
- Разрешение оси ЧПУ: 0,0001 мм;
- Система ЧПУ: Andronic 2060/Siemens 840D sl.

Выводы.

Для отработки технологии, режимов и конструктивных решений лазерного спекания металлических порошков необходимо использовать готовые станки с ЧПУ б/у и морально устаревшие, т.к. такое решение значительно снижает стоимость установок. В дальнейшем в качестве базовых станков использовать самые перспективные модели частности станки фирмы METROM.

Список использованной литературы:

1. Зеленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении/ М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш// пособие для инженеров-М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. 220с.

УДК 621.91.01

Подавление автоколебаний нежесткой технологической системы при режущо-выглаживающем торцовом фрезеровании

***М. А. Панин, Е. В. Кологреев, В. М. Свинин, А. В. Савилов,
Д. Б. Пайкин, Д. П. Алейников***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Найдено решение по подавлению автоколебаний нежесткой технологической системы при торцовом фрезеровании, заключающееся в конструктивном изменении геометрии режущих кромок пластин. Проведён

эксперимент по обработке заготовки, закреплённой в приспособление, имитирующее нежёсткость технологической системы, фрезой с различными вариантами заточки. Адекватность полученных результатов подтверждена путём сравнения спектрограмм и виброграмм при резании до заточки режущих кромок пластин со спектрограммами и виброграммами, полученными при резании заточенными режущими пластинами

Ключевые слова: *нежесткая технологическая система; нежёсткая заготовка; торцовая фреза; режуще-выглаживающая пластина; подавление автоколебаний; выглаживание обработанной поверхности.*

Введение

В современном машиностроении повышение производительности технологических процессов изготовления деталей является основной проблемой, возникающей в серийном производстве. За счёт интенсификации режимов обработки объём выпускаемой продукции можно увеличить, но при этом в недостаточно жёстких технологических системах возможно появление вибраций, негативно влияющих на качество обработанной поверхности, стойкость режущего инструмента, долговечность используемого оборудования. Существует множество способов гашения автоколебаний, одним из которых является повышение демпфирования в зоне обработки путём совмещения процессов резания и выглаживания. Существует метод токарной обработки с применением комбинированного инструмента на одной державке [3]. Недостатком данного способа является несимметричное нагружение, приводящее к погрешностям формы деталей, и повышенный нагрев инструмента вследствие наличия трения скольжения, приводящий к снижению его стойкости [2]. Существует способ снижения автоколебательных процессов при торцовом фрезеровании, заключающийся в применении инструмента с переменным окружным шагом зубьев [1]. Недостатком данного способа является сложность конструкции. Так же, подавление автоколебаний нежёсткой детали возможно при помощи применения совмещённой обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД). Например, при точении, режущий элемент комбинированного инструмента осуществляет снятие припуска на обработку и обеспечивает точность размера формирующей поверхности, а деформирующий элемент при этом прижимается к обрабатываемой поверхности посредством пружины [4]. Так же, деформирующие элементы могут быть установлены жёстко. Известен способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием слоя металла посредством воздействия на его поверхность роликом, за счёт создания роликом равного по величине и противоположного по направлению усилия деформирования в двух диаметрально расположенных участков детали с последующим снятием припуска [2]. Из используемых методов обработки длинномерных валов наивысшей производительности, при

высоких показателях качества обработанной поверхности и наименьшей себестоимости, позволяет достичь комбинированная обработка резанием и ППД роликами с использованием многорезцовых и многороликовых обрабатывающих головок по принципу бесцентрового шлифования на проход [6]. Все эти методы отличаются тем, что демпфирование создается другим инструментом. Но существует метод совмещения в одном инструменте режущей кромки и выглаживающей поверхности при точении валов [1], это позволило снизить уровень вибраций и глубину их следов, и улучшить шероховатость поверхности. Принято решение применить этот же метод к торцовому фрезерованию. Поэтому целью настоящей работы является экспериментальное изучение параметров дополнительной заточки режущих пластин торцовой фрезы и влияние заточки на эффективность подавления автоколебаний. 89500610243

Оборудование и методика проведения исследований

Для создания податливости к автоколебаниям было изготовлено приспособление, изображённое на рисунке 1. Приспособление представляет собой упругую П-образную державку, закрепленную в станочных тисах. Державка состоит из четырех упругих пластин толщиной 6,5 мм, шириной 90 мм и длиной 400 мм, соединенных опорной пластиной посредством шести болтов М6 и четырех штифтов. Обрабатываемая заготовка в виде пластины закрепляется на опорной пластине девятью винтами М8. Для проведения опытов приспособление устанавливали с вылетом из тисов равным 175 мм. Спектрограмма и виброграмма собственных частот приспособления показали, что при данном вылете заготовки из тисов частота собственных колебаний приспособления равна 162 Гц (см. рисунок 2). Собственную частоту колебаний измеряли датчиком AP 85.



Рис. 1. Приспособление для имитации нежёсткости заготовки

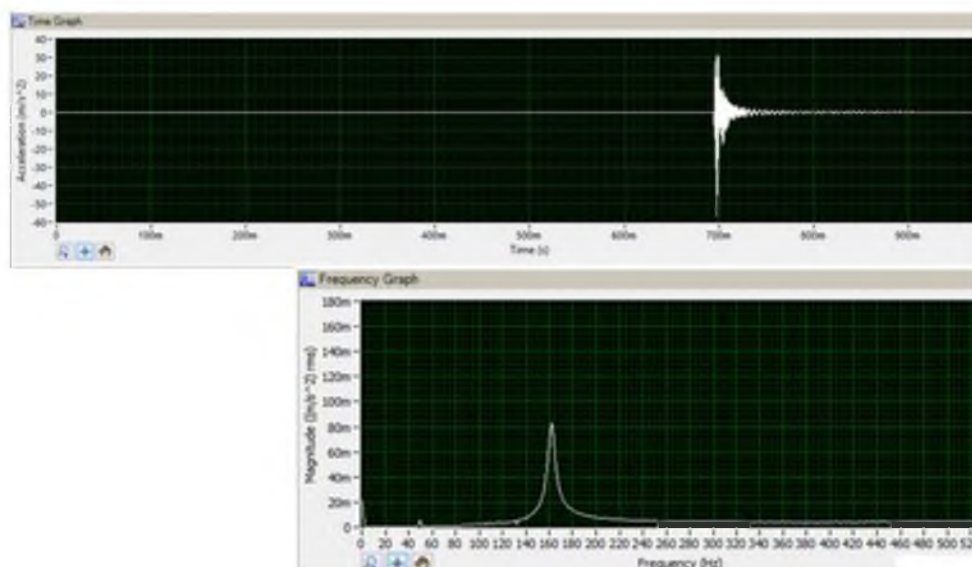


Рис. 2. Виброграмма и спектрограмма собственных частот приспособления

Эксперименты проводились при помощи фрезы, изготовленной на Сестрорецком инструментальном заводе, диаметром 125 мм, с количеством зубьев 10 (см. рисунок 4а).

Во время проведения эксперимента на всех стадиях были приняты следующие режимы резания $t=0,7$ мм.; $n=400$ об/мин; $S_{\text{мин}}=280$ мм/мин; $S_z=0,07$ мм/зуб.

Для экспериментального доказательства решения задачи, перед заточкой режущих пластин заготовка была подвергнута обработке на приспособлении и получены виброграммы и спектрограммы во время обработки на приспособлении не заточенными пластинами (см. рисунок 3).

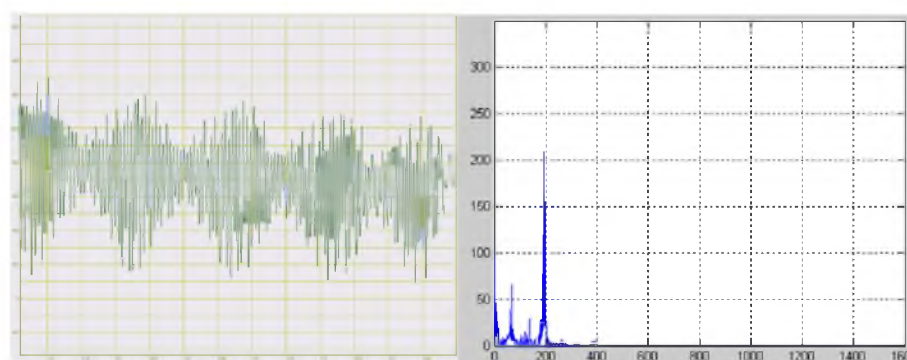
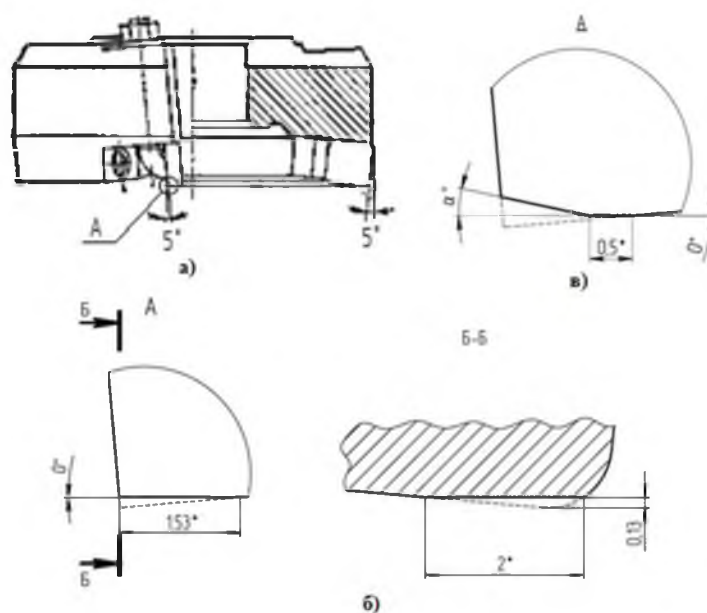


Рис. 3. Виброграмма и спектрограмма после обработки не заточенными пластинами

Режущие пластины фрезы были заточены согласно рисунку 4в с восьмью вариантами заднего отрицательного угла α . Предварительно, на всех восьми гранях затачивался нулевой задний угол до достижения 2 мм нулевой площадки (см. рисунок 4б). Далее, при помощи поворота заточного круга, получали отрицательный задний угол, оставляя при этом 0,5 мм нулевого заднего угла (см. рисунок 4в). При этом отрицательный задний угол α равен 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , 10° , 12° , 14° .



а) используемая фреза; б) заточка нулевого заднего угла; в) заточка отрицательного заднего угла

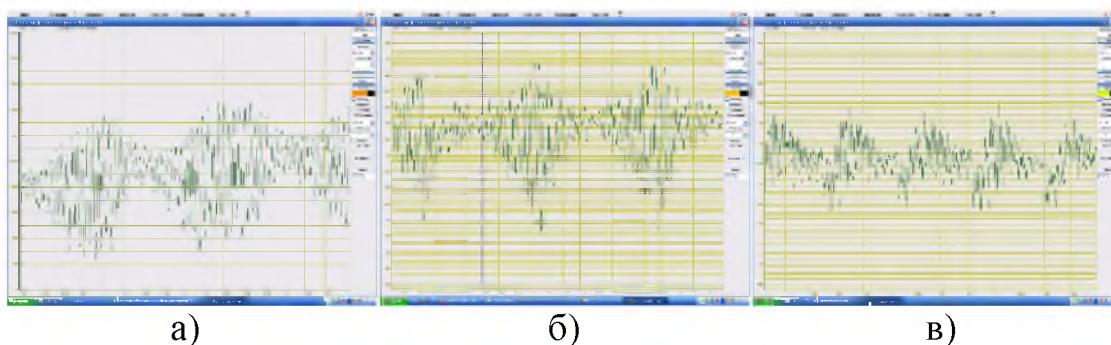
Рис. 4. Заточка режущих граней пластин

После заточки режущих пластин, заготовка была повторно подвергнута обработке в условиях, аналогичных обработке заготовки до получения заточенных пластин для экспериментального нахождения оптимального отрицательного заднего угла. При помощи отрицательного заднего угла α происходит выглаживание поверхности.

Результаты и обсуждение

Результаты представлены в виде виброграмм и спектрограмм (см. рисунки 5 и 6 соответственно). Вначале видны активные вибрации - вынужденные колебания и автоколебания, они выражаются двумя пиками на спектрограмме. В первом случае при резании стандартными пластинами, амплитуда вынужденных колебаний получилась равной 70 мкм, а автоколебания заготовки равны 225 мкм. Далее по графикам виброграмм видим, что при увеличении отрицательного заднего угла, снижаются как вынужденные, так и автоколебания.

Эти результаты выведены в график, представленный на рисунке 7, по которому видно что, вынужденные колебания уменьшились с 70 мкм до 15 мкм, а автоколебания изменились от 230 мкм до 3,5 мкм.



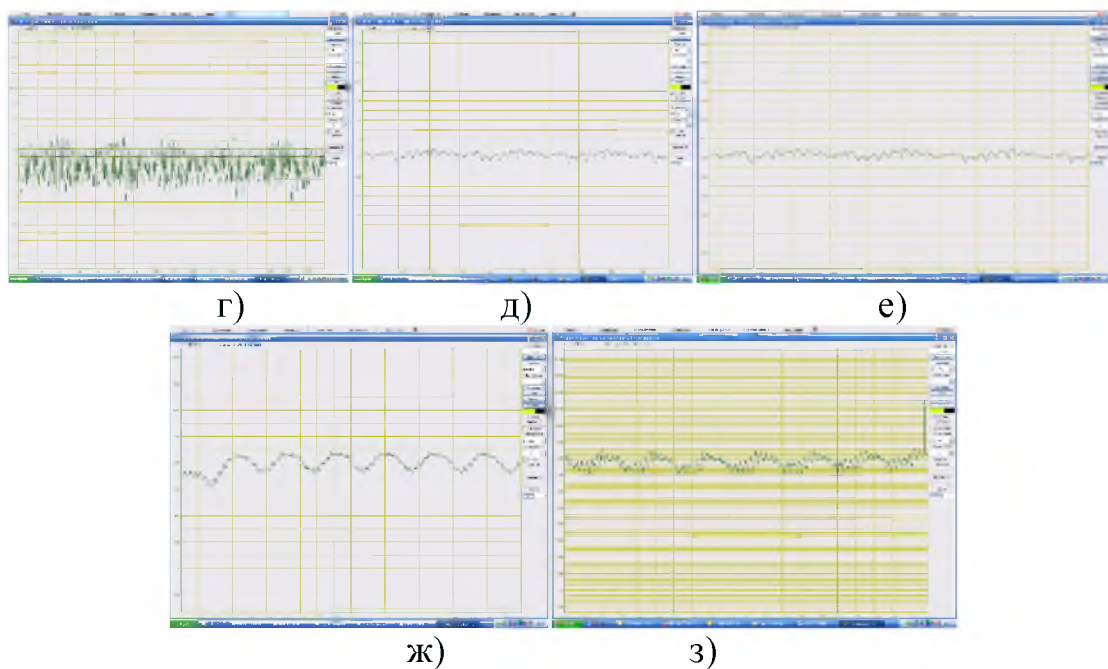


Рис. 5. Виброграммы колебаний заготовки при фрезеровании пластинами с отрицательным задним углом равным: а – 0° ; б – -2° ; в – -4° ; г – -6° ; д – -8° ; е – -10° ; ж – -12° ; з – -14°

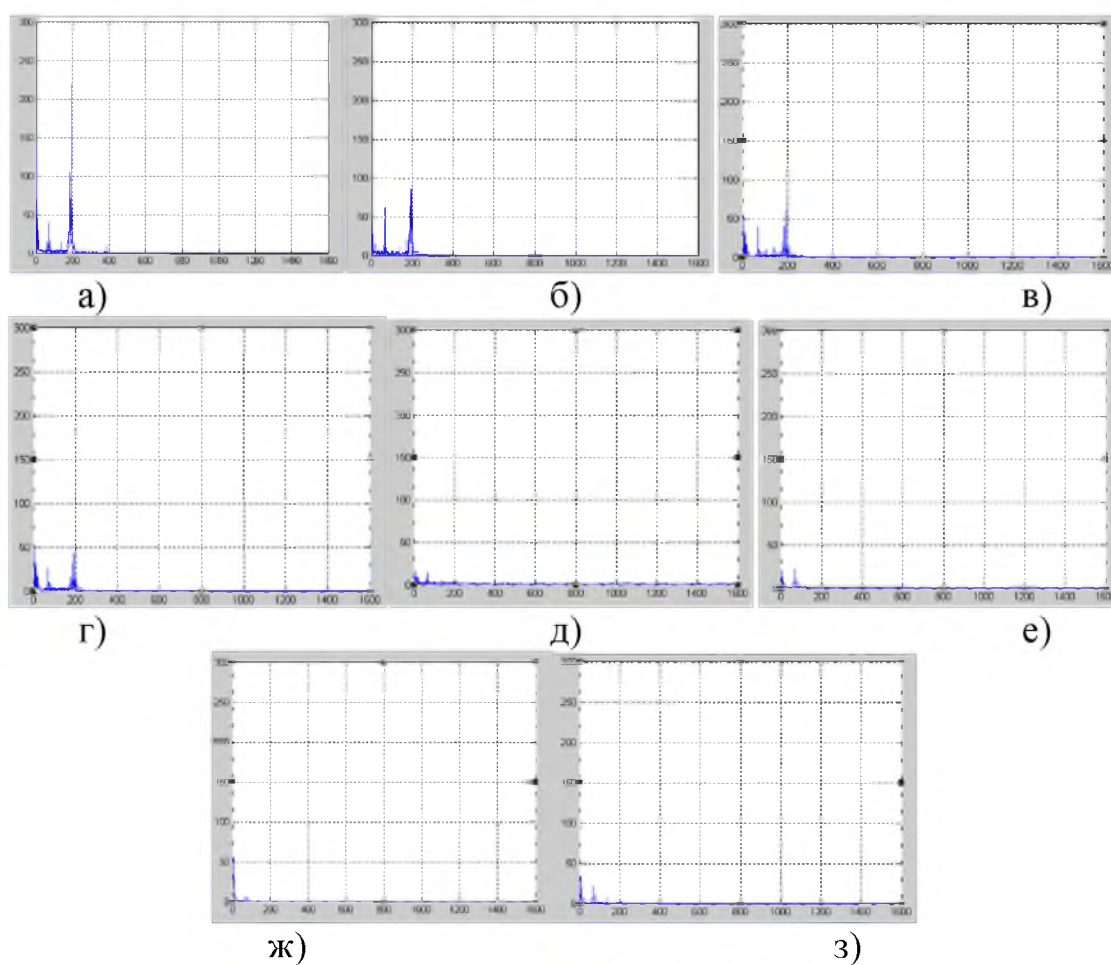
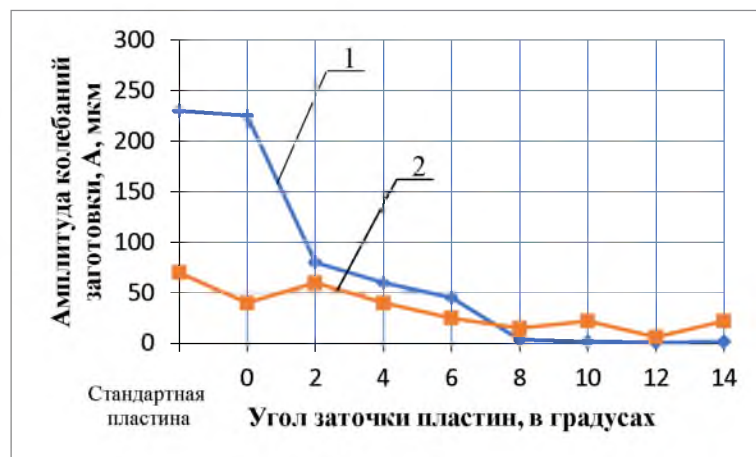


Рис. 6. Спектрограммы колебаний заготовки при фрезеровании пластинами с отрицательным задним углом равным: а – 0° ; б – -2° ; в – -4° ; г – -6° ; д – -8° ; е – -10° ; ж – -12° ; з – -14°



1 - амплитуда автоколебаний заготовки; 2 - амплитуда вынужденных колебаний заготовки

Рис. 7. Зависимость значений, характеризующих вибрации технологической системы, в зависимости от вида заточки режущих пластин

Выводы

Таким образом, лучший результат гашения автоколебаний – в 65,7 раз (с 230 мкм до 3,5 мкм), вынужденных колебаний – в 4,6 раза (с 70 мкм до 15 мкм) – наблюдается при заточке пластин на угол -8° .

Список использованной литературы:

1. Свинин В. М., Самородов П. А., Лобанов Д. В., Скиба В. Ю. Исследование нежёсткой технологической системы при фрезеровании инструментом с переменным шагом зубьев. Системы. Методы. Технологии. 2016 №4 (32) с. 39-44.
2. Патент RU2399460C1. 20.09.2010.
3. Свинин В. М. Самоорганизация вторичных автоколебаний при лезвийной обработке. // СТИН 2006. №1. С.7-13.
4. Потупец А. В., Рыжаков Д. М. Прогрессивные конструкции комбинированных инструментов для СО резанием и ППД. Студенческий Вестник: электронный научно-технический журнал / Могилев: Российско-Беларусский университет, Октябрь 2007.
5. Близнюк С. Н., Довгалева А. М. Упругосилового метод комбинированной обработки резанием и ППД. Вестник Беларуска-Російскаго университета 2009 №3(24).
6. Смольников Н. Я., Отений Я. Н., Журавлев А. И., Никифоров Н. И. Способ комбинированной режуще-деформирующей обработки и устройство для его осуществления. Заявитель и правообладатель Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). - № 2247016; заявл. 30.07.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. № - 10с.

Создание библиотеки режущего и вспомогательного инструмента на основе твердотельных моделей в среде NX

Е.О. Репей, А.Б. Стрелков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Представлены материалы по работе с твердотельными моделями режущего инструмента и оснастки для последующего их добавления в библиотеку системы NX. Трёхмерные твёрдотельные модели инструментов, от ведущих производителей, содержат более детальное описание геометрии, что позволяет выполнять имитационное моделирование и визуализацию удаляемого материала с большей достоверностью.

Ключевые слова: верификация, инструмент, ЧПУ, технологическая подготовка производства, NX CAM, CAD/CAM

Ведущие фирмы поставщики режущего инструмента (Sandvik Coromant, Widia, SECO, Kennametal, Walter, Iscar, Mitsubishi, HAIMEER и т.д.) и технологической оснастки (EWS Tool Technologies, Lang Technik GmbH, SCHUNK, ALLMATIC-Jakob Spannsysteme GmbH, Gerardi SPA и т.д.) представляют доступ к библиотекам твердотельных моделей своей продукции. Скачать 3D модели можно как с сайта компаний, так и через специализированные приложения (MachiningCloudApp, CoroPlus ToolLibrary, Walter GPS, Secolor Selection Guide и т.д.), позволяющие выполнить поэтапную подборку инструмента по множеству параметров.

Наличие 3D модели инструмента или оснастки не только сокращает время на его создание, но и способствует идентичности процесса обработки на виртуальных моделях оборудования [1], и проверки управляющих программ вне станка на основе G- и M-кодов с учётом всей технологической системы «Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь». Это позволяет существенно сократить процесс внедрения управляющей программы на станке и избежать поломки дорогостоящего оборудования по причине недостаточной технологической проработке всех этапов.

Внесения инструмента в базу может осуществляться с помощью библиотеки технологических ресурсов для подготовки производства (MRL), разработчиком которой является Siemens. Доступа к библиотекам MRL может осуществляться как непосредственно из NX (потребуется программа MRL Connect), так и через Teamcenter. Однако сама программа и библиотека поставляются отдельно.

Если номенклатура используемых средств технологического оснащения не велика или необходимо добавить свой собственный сложно профильный инструмент [2], то можно самостоятельно добавлять элементы в библиотеку для последующего многократного использования [3].

Библиотеки *NX* имеют стандартную иерархию классификаторов, что отвечает большинству распространённых потребностей классификации. Класс, вложенный в другой класс, называется подклассом. В базе данных инструментов классом верхнего уровня является инструмент. В библиотеке устройств классом верхнего уровня является устройство и т. д.

Например, в *dbc_tool_ascii.def* родительским классом является *TOOL*. Родительский класс и каждый подкласс определяется с помощью инструкции *CLASS*. В классе *TOOL* задаётся подкласс *MILLING*, а в классе *MILLING* в свою очередь задаются подклассы, такие как *END_MILLS_NON-INDEXABLE*.

Каждый подкласс верхнего уровня имеет тип, определяемый полем *T*. Каждый тип инструмента имеет подтипы, определяемые полем *ST*. Например:

- тип инструмента - Фреза с *T* = 02
- подтипы: Монолитная концевая фреза с *ST* = 01; Сборная концевая фреза с *ST* = 02.

Каждый тип *T* должен быть соотнесён с соответствующим внутренним типом данных *NX*, *UGT*, а каждый подтип *ST* должен соотноситься с соответствующим внутренним подтипом данных *NX* *UGST*. Например, класс **Фрезерные инструменты** с *T* = 02 имеет подкласс **Монолитная концевая фреза с фаской** с *ST* = 05. Класс и подкласс инструментов соотносятся с типом "*Mill*" внутренних данных *NX* с помощью следующих параметров: *UGT* = 01 и *UGST* = 05.

Инструменты, принадлежащие к каждому подтипу, группируются в базе данных с помощью следующих инструкций:

```
#CLASS NAME_OF_CLASS  
#END_DATA
```

За инструкцией *#CLASS* следует имя класса, заданное в файле определения библиотеки, например в файле *dbc_tool_ascii.def*.

В следующей строке после инструкции *#CLASS* содержится инструкция *FORMAT*, в которой перечислены все атрибуты класса. Атрибуты объясняются в комментариях в начале базы данных, на них часто задаются ссылки в *TCL*-коде и прочих файлах с помощью псевдонима, благодаря чему код становится более понятным. Пользовательский тип должен содержать, как минимум, следующие атрибуты, таблица 1.

Библиотека в *NX* поделена на два раздела: библиотека режущих инструментов и библиотека оснастки. В свою очередь библиотека режущего инструмента делится на типы: фрезерование, сверление (осевой инструмент), токарная обработка, другие, проволоочная ЭЭО, лазер. Каждый из

этих типов делиться на подтипы. Для создания оснастки и режущего инструмента используется приложение «Генератор модели станка».

Таблица 1 - Общие псевдонимы

Атрибут	Псевдоним	Описание
LIBRF	Библиотечная ссылка	Уникальная библиотечная ссылка, определяющая инструмент.
T	Тип	Определяет высокоуровневый классификатор библиотеки, например: фрезерный, осевой, токарный инструмент.
ST	Подтип	Определяет подтип класса для данных, например бочкообразные фрезы, центровые сверла, инструменты обработки проточек грани или щупы.
UGT	Тип инструмента UG	Соотносит тип инструмента с внутренним типом NX
UGST	Подтип инструмента UG	Соотносит подтип инструмента с внутренним подтипом NX

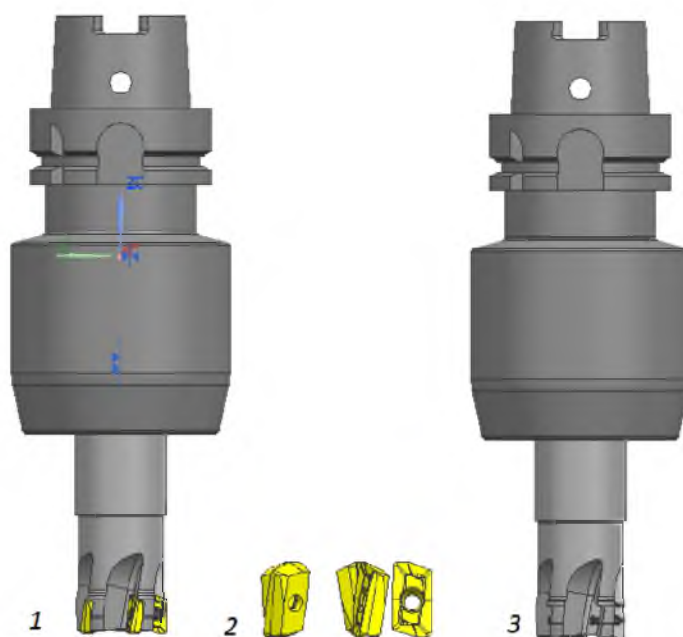
Создание режущего инструмента начинается с подготовленной модели сборки инструмента. Сначала необходимо задать соединение крепления и вершины инструмента, а затем классифицировать его элементы на режущие (CUTTING) и не режущие (NON_CUTTING) (рис.1).

Во фрезерных сборных инструментах пластины обозначают режущие части, а патрон и держатель инструмента рассматриваются как компоненты без резания. Осью вращения должна быть ось *XC*.

Библиотека средств технологического оснащения состоит из разделов *chuck*, *toolholder* и Голова. С помощью класса *chuck* можно подобрать патрон для токарных станков, а в классе *toolholder* хранятся держатели для инструмента, применяемого на токарных операциях. В классе Голова расположена оснастка для роботов, а так же поворотные головки для фрезерных станков. Библиотека со средствами технологического оснащения располагается по адресу

...:\Program Files\Siemens\NX ... \MACH\resource\library\device

сами твердотельные модели хранятся в каталоге *graphics*, а их описание в *ascii*.



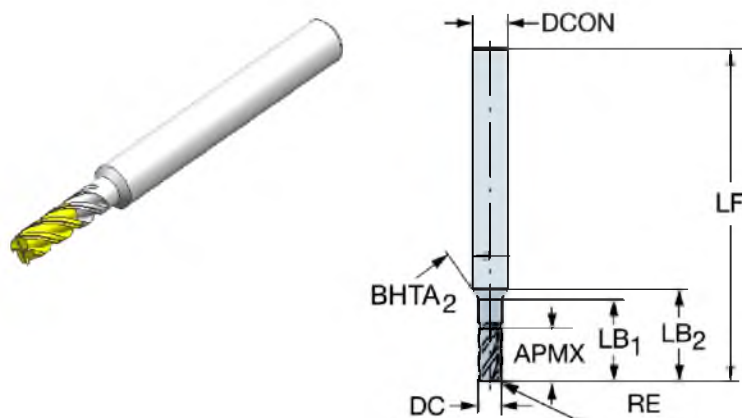
1- Инструментальная наладка; 2- Режущая часть; 3 - Патрон

Рис. 1. Классификация элементов фрезерного инструмента

Информация об инструменте храниться в директории - ...:\Program Files\Siemens\NX ...\MACH\resource\library\tool\metric\ tool_database.dat. В таблице 2 дана классификация для части инструментов.

Таблица 2 - Классификация инструментов в библиотеке NX

Т (тип инструмента)	Lib Type / Библиотечный тип	ST (код подтипа инструмента)	Lib Subtype / Библиотечный подтип	UG/ Тип инструмента UG	UG Type	UGST / Подтип инструмента UG	UG Subtype
02	Milling / Фрезерование	01	<i>End Mills Non-indexable</i> (Монолитная концевая фреза)	01	фреза	01	Инструмент по 5-и параметрам
		02	<i>End Mills Indexable</i> (Сборная концевая фреза)	01	фреза	01	Инструмент по 5-и параметрам
		31	Thread Mills (резбофреза)	02	Drill / осевой инструмент	10	Резбофрезерование
03	Drilling/ Сверление	01	Twist Drills / спиральное сверло	02	Drill / осевой инструмент	00	Standard/ стандартное сверло

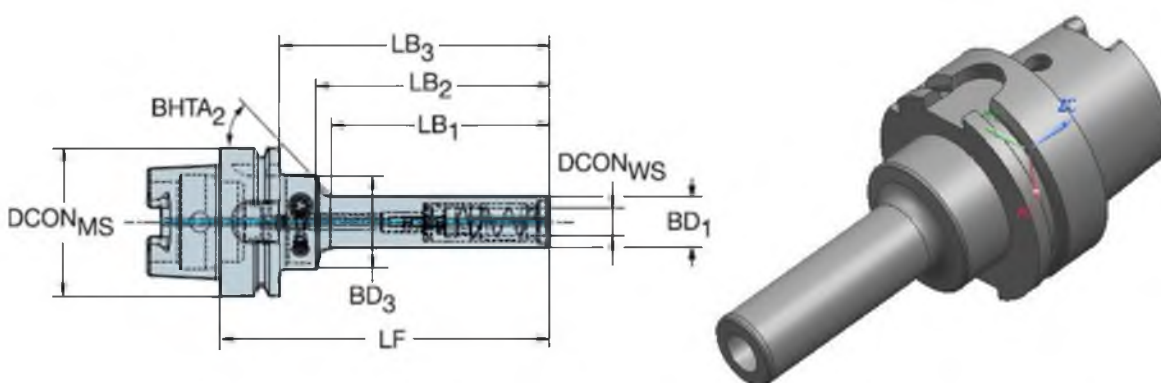


$DC=4$ мм; $DCON=6$ мм; $LB_1=14$ мм; $LB_2=15,73$ мм; $APMX=9$ мм; $LF=57$ мм; $RE=0,2$ мм; $BHTA_2=30^\circ$; $z=4$

Рис. 1. Цельная концевая фреза 2S342-0400-020-PA 1730 CoroMill®Plura

Рассмотрим создание инструментальной наладки, состоящей из монолитной концевой фрезы Sandvik - 2S342-0400-020-PA 1730 CoroMill®Plura (рисунок 1), цилиндрической втулки 393.CF-12 06 40 и переходника от HSK63A к CoroChuck™ 930 - 930-HA06-P-12-109 (рисунок 2).

После создания сборки, и присвоения ей имени 2S342-0400-020-PA_1730_CoroMill_Plura необходимо запустить генератор модели станка и выполнить действие - **Вставить**→**Базовый компонент инструмента**. В открывшемся окне следует задать точку крепления инструмента в шпинделе станка (рис.3) и вершину инструмента (рис.4) – вылет инструментальной наладки. Далее внутри списка TOOL_BASE следует задать режущую часть фрезы - CUTTING (предварительно тело фрезы необходимо разделить) и не режущие элементы NON_CUTTING (хвостовик фрезы, цилиндрическая втулка и патрон).



$DCON_{WS}=12$ мм; $DCON_{MS}=63$ мм; $BD_1=22$ мм; $BD_3=40$ мм; $BHTA_2=55^\circ$; $LB_1=60,8$ мм; $LB_2=66,4$ мм; $LF=109$ мм

Рис. 2. Переходник 930-HA06-P-12-109 от HSK63A к CoroChuck™ 930

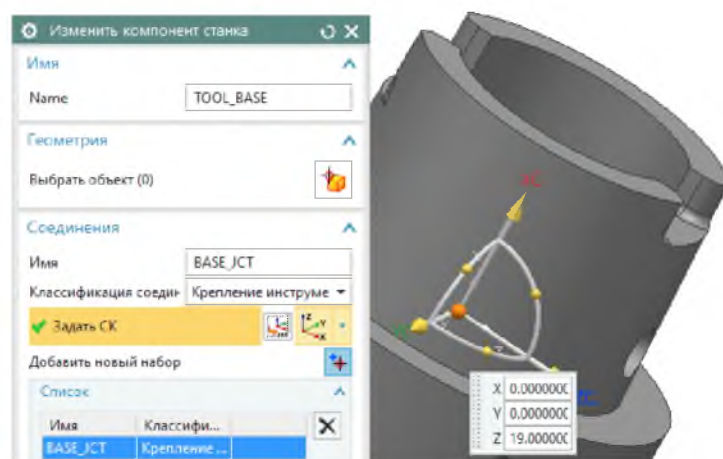


Рис. 3. Задание точки крепления инструмента в шпинделе станка

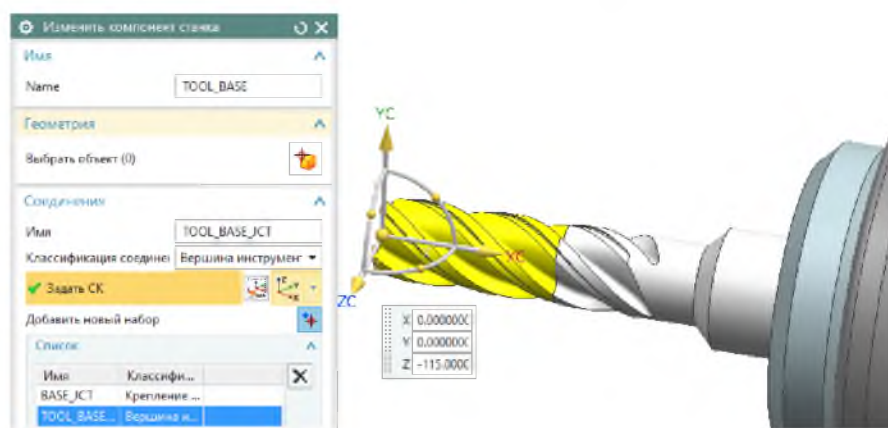


Рис. 4. Задание вершины инструмента

На следующем шаге следует задать геометрию вращения, в результате появится элемент CUTTING_SPUN и будет построено тело вращения режущей части фрезы относительно заданной вершины инструмента (рисунок 5). Аналогичные действия необходимо провести и с геометрией, входящей в NON_CUTTING. Затем файл, вместе с входящими в неё элементами сборки, необходимо поместить в директорию:

...:\Program Files\Siemens\NX ... \MACH\resource\library\tool\graphics,

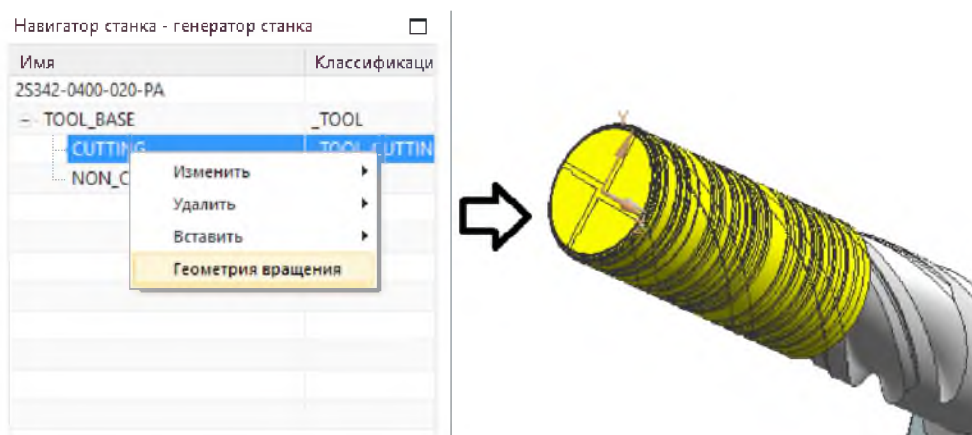


Рис. 5. Задание геометрии вращения режущей части

Для того чтобы инструмент отображался в библиотеке и индексировался его необходимо занести в файл *tool_database.dat* находящийся по адресу: ... : \Program Files\Siemens\NX ... \MACH\resource\library\tool\metric. Внутри файла в раздел END_MILL_NON_INDEXABLE (Монолитная концевая фреза) следует внести запись о параметрах наладки, на рисунке 6 дана структура записи информации об инструменте.

LIBRF/Справочник по библиотеке инструментов	DATA	HLDDES / Описание инструментальной системы	HSK63 A
LIBRF	2S342-0400-020-PA_1730_CoroMil 1_Plura	DIA/ диаметр инструмента	4
T/ тип инструмента	02	FN / количество зубьев	4
ST/подтип инструмента	1	HEI / длина	14
UGT	01	ZOFF / смещение по оси Z	0
UGST	1	DROT / направление вращения (3=по часовой стрелки, 4=против часовой стрелки)	3
DESCR/описание инструмента в библиотеке	Carbide End Mill 4.0	LEN / длина режущей кромки	9
MATREF/ код материала инструмента	TMC0_00002	TAPA / угол конуса	0
MATDES/Описание материала инструмента	Carbide	TIPA / Угол при вершине	0
TLNUM/ номер инструмента		COR1/ нижний радиус	0.2
ADJREG/Регистр настройки		СТН / охлаждающая жидкость	0
CUTCOMREG/		HOFF / смещение по оси Z при симуляции	0
HLD/Система крепления инструмента			

Рис. 6. Структура записи информации об инструменте

Разделы «Номер инструмента», «Регистр настройки» не заполняются так как в каждой программе они могут иметь свои значения.

На рисунке 7 представлены данные геометрических размеров созданной наладки, вызванной из библиотеки инструментов.

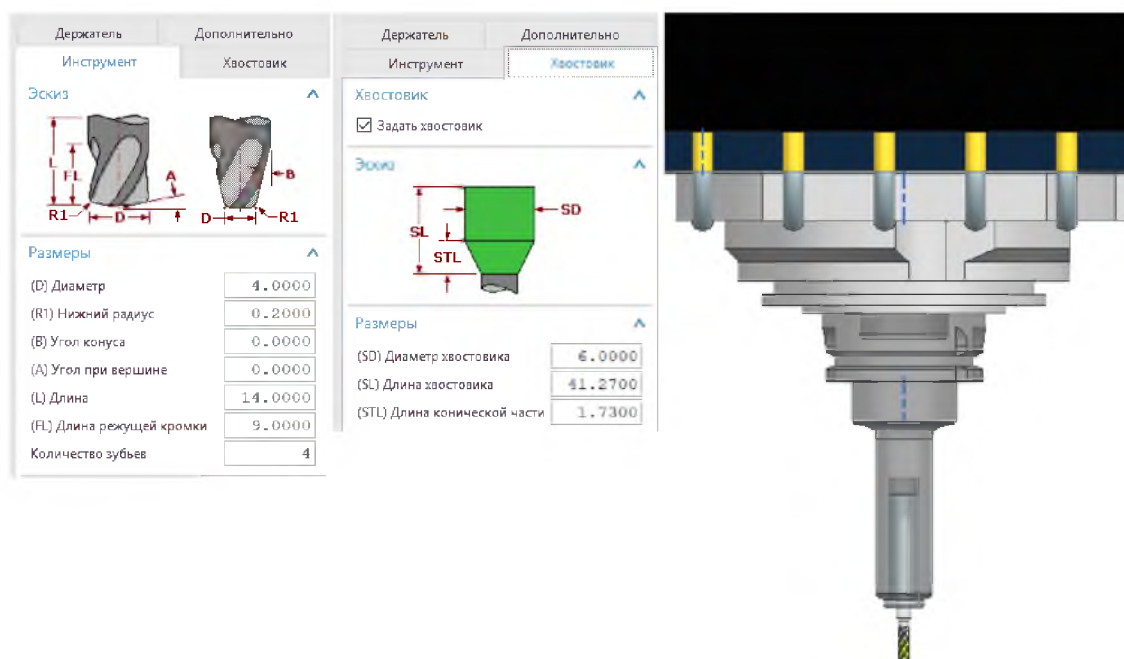


Рис. 7. Отображаемые параметры твердотельного инструмента при вызове его из библиотеки

Список использованной литературы

1. Репей Е.О. Симуляция процессов обработки с использованием виртуальной модели станка в системе SIEMENS NX / Е.О. Репей, А.Б. Стрелков // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб.статей VI Всерос. Науч.-практ. конф. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. - С.281-287.
2. Обзор по материалам разработчиков и зарубежных CAM-изданий. Интеллектуальные возможности современных CAM-систем / CAD/CAM/CAE Observer. 2002. - №4. С.2-7.
3. Смагин А.В. Построение базы данных режущего инструмента в АСТПП / А.В. Смагин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2008. № 48. С.134-139.

УДК 658.512.4

Создание цифрового двойника 5-и осевого фрезерного обрабатывающего центра DMU 60 топоBLOCK в среде NX CAM

Е.О. Репей, А.Б. Стрелков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Статья посвящена проблеме повышения эффективности технологической подготовки механообработки. Представлена процедура созда-

ния кинематической модели станка с ЧПУ DMU 60 моноBLOCK и создания постпроцессора в NX/Post Bulder. Это позволяет использовать виртуальную модель станка для отладки технологического процесса вне станка.

Ключевые слова: верификация, виртуальная модель станка, ЧПУ, технологическая подготовка производства, NX CAM, CAD/CAM

Изменения, происходящие в промышленности под воздействием информационных технологий кардинальным образом, меняют подход к организации производственного процесса. Эти требования отразились в концепции четвертой промышленной революции, более известной как «Индустрия 4.0». Суть её заключается в том, что наш сегодняшний материальный мир соединяется с виртуальным, в результате чего появляется новая цифровая экосистема. Для производства это означает всё большую автоматизацию всех процессов и этапов производства.

Это требует создание цифрового двойника предприятия, что позволит моделировать его работу и заблаговременно выявлять возникающие проблемы при производстве. Согласно концепции *Siemens* для создания цифрового двойника предприятия необходимо выполнить пять шагов [1]. Третий шаг данной концепции подразумевает создание цифрового двойника технологических процессов и оборудования.

Виртуальная модель оборудования позволяет выполнить отладку всего технологического процесса или операции вне станка, потратив значительно меньше времени и средств. Это позволяет получить годную деталь сразу, без пробной обработки. Достичь этого можно за счёт идентичности процесса симуляции в САМ-системе с реальным процессом обработки на станке [2]. В этом случае 3D модели станка, представляющего собой виртуальную среду для проверки управляющих программ ЧПУ. Встроенный симулятор *NX* позволяет обойтись без дополнительного дорогостоящего программного обеспечения такого как *VERICUT*, *CIMCO Edit* и т.д.

Процесс создания виртуальной модели станка состоит из нескольких этапов:

- сбор необходимой информации о станке;
- создание кинематической модели станка с использованием приложения **Генератор модели станка** (*Machine Tool Builder*);
- создания постпроцессора станка с использованием приложения **Генератор постпроцессоров** (*NX/Post Bulder*).

Возможен так же четвёртый шаг, это создание драйвера станка (*MCF* файла) с помощью утилиты *Machine Configurator* [3], являющегося эмулятором стойки с ЧПУ. Он получает на входе коды управляющей программы и преобразует их в движения рабочих органов кинематической модели станка.

Первый этап является не формализованным и включает в себя сбор сведений:

- о габаритных размерах станка и рабочих зонах для построения 3D-моделей компонентов станка;
- кинематике станка, для создания кинематической структуры станка;
- системе числового программного управления.

На втором этапе с использованием приложения *Machine Tool Builder* необходимо наложить кинематические ограничения на компоненты сборки станка включающие в себя:

- зависимости между компонентами кинематики (задаётся дочерне-родительская зависимость между компонентами, что обеспечивает перемещение дочерних компонент при перемещении родительских компонентов);
- оси перемещения станка, линейные и поворотные (т.е. степени свободы);
- соединения, необходимые для автоматической установки инструмента, детали и заготовки в режиме обработки или в процессе симуляции.

Станок *DMU 60 monoBLOCK* имеет поворотный стол вокруг оси *C*, а также поворотную голову вокруг оси *B*. Помимо этого он имеет вертикальное перемещение стола по оси *Z*, продольное и поперечное перемещение по осям *X* и *Y*.

Создание кинематики станка начинается с создания базовый компонент станка - *MACHINE_BASE*, данный компонент может не содержать геометрию, однако в нем должен быть задан ноль станка *MACHINE_ZERO* (рисунок 1), для фрезерных станков в *NX* данная точка должна находиться на пересечении торца шпинделя и его оси. Относительно данной точки будут рассчитываться и задаваться перемещения всех остальных компонентов станка.

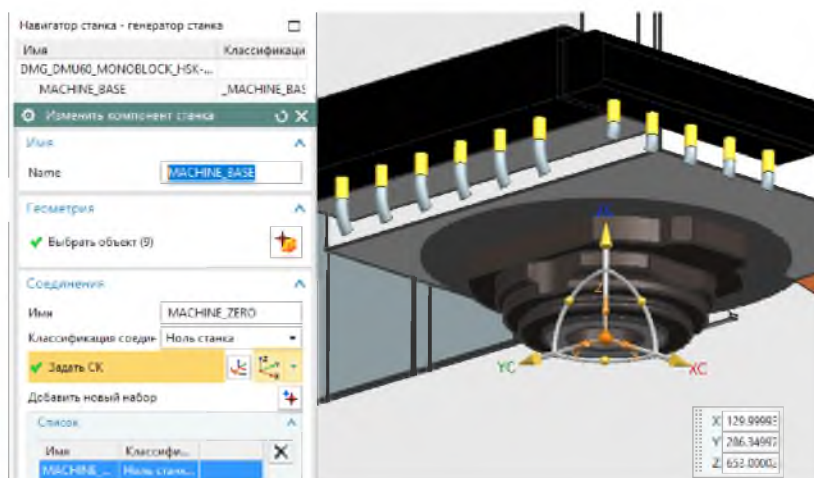


Рис. 1. Задание нуля станка

Следующим шагом будет привязка подвижных органов станка к компоненту *MACHINE_BASE*. Так на данном станке согласно

паспортных данных, предельное перемещение стола по оси Z составляет 560 мм (в сборке стол установлен в крайнее нижнее положение) а ускоренные линейные ходы по осям $X/Y/Z$ – 30 м/мин, линейное ускорение по X,Y,Z – 6, 7, 4 м/с² соответственно. Поэтому необходимо создать компонент станка Z_SLIDE – стол, который включал бы элементы 3D модели, а также задать ось (рисунок 2).

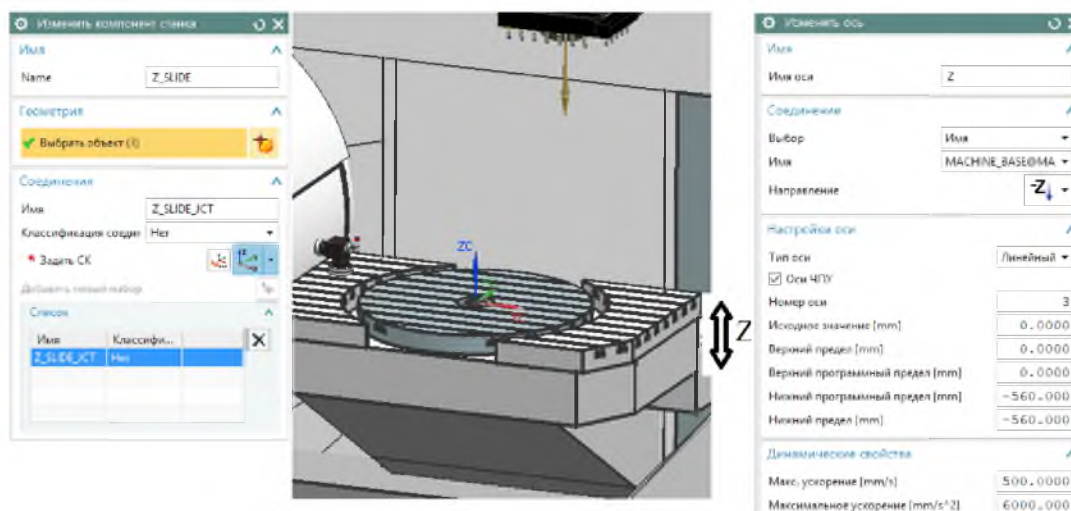


Рис. 2. Задание кинематических ограничений на стол станка

Следующий компонент – поворотный стол C_AXIS_ROTARY должен принадлежать – входить в сборку компонента Z_SLIDE , ему так же необходимо задать геометрию, пределы вращения, скорость и ускорение. Так как обрабатываемая деталь, заготовка и приспособление устанавливаться на поворотную шайбу необходимо создать узел $SETUP$, в который входят элементы:

- $PART$ (деталь) и классификаторы $\_PATR$ и $\_SETAP\_ELEMENT$;
- $WORKPIECE$ (заготовка) – классификаторы $\_WORKPIECE$ и $\_SETAP\_ELEMENT$;
- $FIXTURE$ (приспособление) - классификатор $\_SETAP\_ELEMENT$.

Аналогичным образом необходимо прописать параметры для остальных узлов станка: X_SLIDE ; Y_SLIDE ; B_AXIS_HEAD .

Компонента $SPINDLE$ (рисунок 3) хранит информацию о точке крепления инструмента, а также динамических параметрах шпинделя, помимо этого, для него следует добавить классификатор компонента – $DYNAMIC\_HOLDER$ для осуществления процесса обработки.

Для отображения инструмента в инструментальном магазине необходимо добавить точку его крепления, имя кармана, а так же прописать индикатор держателя и количество инструментов которое может устанавливаться одновременно в данную ячейку магазина (рисунок 4).

На рисунке 3 представлено кинематическое древо подвижных узлов станка $DMU\ 60\ monoBLOCK$ относительно элемента $MACHINE\_BASE$.

Имя	Классификация	Соединения	Имя оси
DMG_DMU60_MONOBLOCK_HSK-...			
└ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO*	
└ Z_SLIDE			Z
└ C_AXIS_ROTARY		C_AXIS_ROTATION	C
└ SETUP	_SETUP_ELEMENT	PART_MOUNT_JCT	
└ PART	_PART, _SETUP_ELEMENT		
└ BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_EL...		
└ FIXTURE	_SETUP_ELEMENT		
└ WZW_DOOR_LEFT		WZW_DOOR_LEFT_JCT	D1
└ X_SLIDE			X
└ Y_SLIDE			Y
└ B_AXIS_HEAD		B_AXIS_HEAD_JCT	B
└ SPINDLE	_DYNAMIC HOLDER	S*	S
└ TOOL_HOUSING			
└ L			L1
└ TOOL_MAGAZINE_1	_DEVICE	TOOL_HOUSING_1	V1
└ POCKET_01	_STATIC HOLDER	T01	
+ TOOL_MAGAZINE_2	_DEVICE	TOOL_HOUSING_2	V2

Рис. 3. Иерархия компонентов станка, оснастки, детали в навигаторе станка

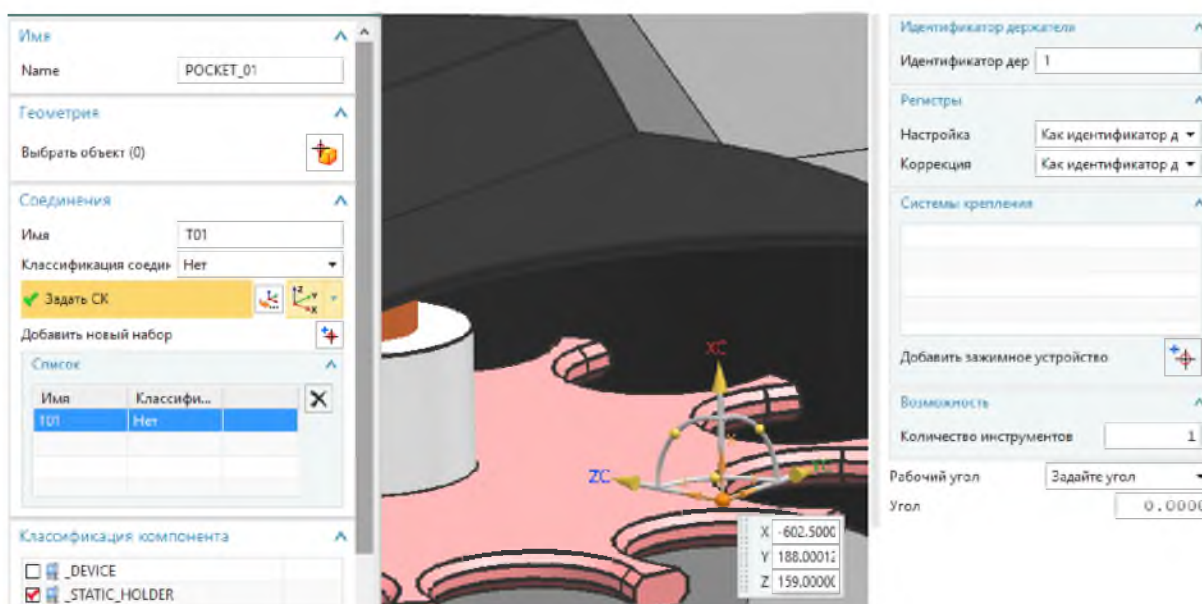


Рис. 4. Задания точки крепления инструмента в инструментальном магазине станка

Следующим этапом является создание постпроцессора станка с использованием *NX Post Bulder* (рисунок 5). В результате данной процедуры будет создано три файла, каждый идентифицированный основным именем и одним из трёх расширений:

- *.*pui* - содержит статическую информацию относительно того, как записан .tcl файл;

- *.tcl – данный файл определяет кадры программы, генерируемые постпроцессором, файл использует язык TCL. Постпроцессор также использует этот файл во время обработки, чтобы генерировать код программы ЧПУ.

- *.def - файл задает всю статическую информация для постпроцессора. Она включает форматы, адреса и кадры программы ЧПУ. Формат этого файла - специальный синтаксис, созданный NX. Этот файл используется постпроцессором после создания траектории инструмента во время генерации программы ЧПУ.

Так как наш станок имеет три линейные оси (X , Y и Z), контурную поворотную головку как четвертую ось B и поворотный стол как пятую ось C то при создании постпроцессора выберем тип станка – **«Фрезерный»** с пред настройками **«5-ти осевой с поворотной головкой и столом»**.

Окно *NX Post Bulder* содержит различные вкладки, параметры можно изменять, используя специальные диалоговые окна и поля ввода. Так на рисунке 6 представлено диалоговое окно настроек управления станком коррекции.

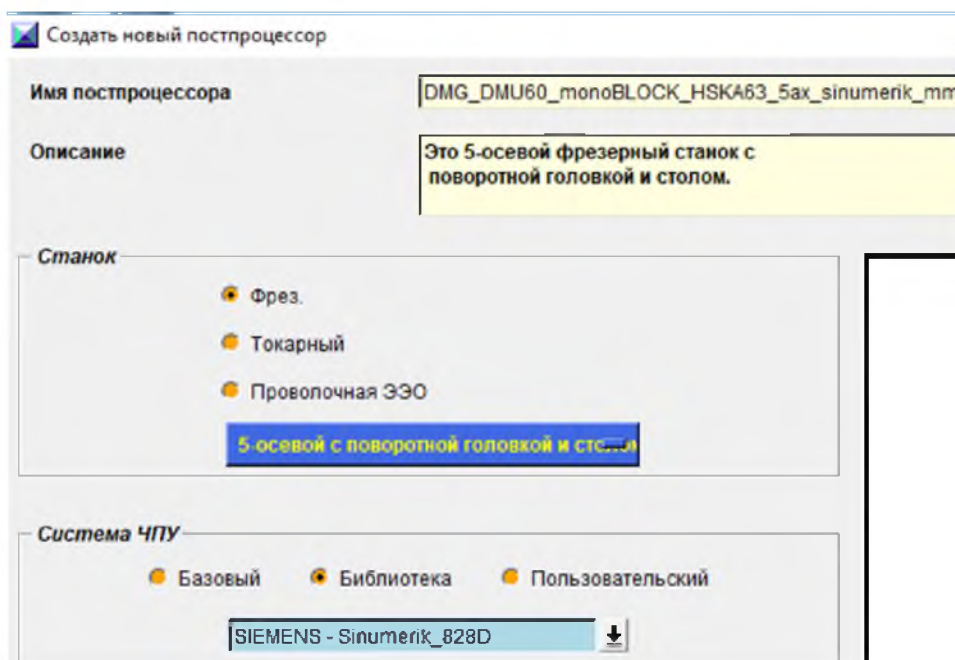


Рис. 5. Задание начальных настроек для нового постпроцессора

Данное меню позволяет задать вывод и параметры, для активации коррекции инструмента. Можете задать три опции: коды включения коррекции инструмента слева или справа от траектории инструмента, максимальное и минимальное значение регистра коррекции инструмента и код плоскости, которые выводит система.



Рис. 6. Настройка включения коррекции

Для установки нулевой точки, исходя из фактического положения заготовки или детали на столе станка необходимо подключить дополнительный постпроцессор для реализации измерительных операций, это так же можно сделать через окно *NX Post Bulder* в разделе «Задание данных ЧПУ»- «Другие элементы данных» (рисунок 7). В *NX* стандартно содержится постпроцессор для системы ЧПУ *Simumerik*, для работы с программным обеспечением *Renishaw Inspection Plus*.

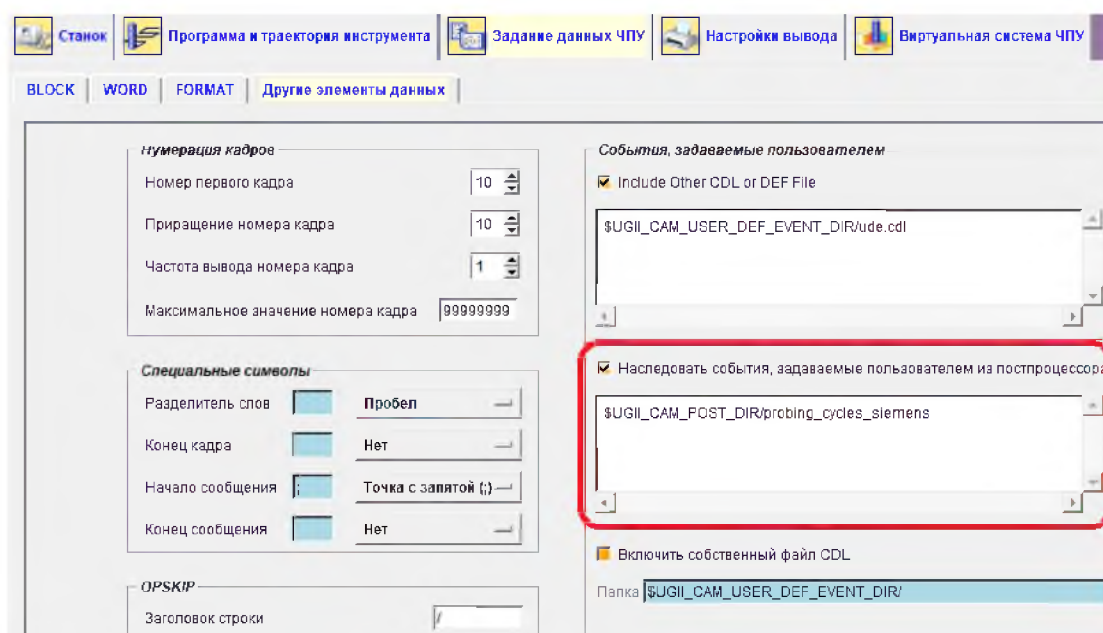


Рис. 7. Подключение в *NX Post Bulder* постпроцессора для реализации на станке измерительных операций

После создания кинематической модели и постпроцессора необходимо поместить станок и файлы постпроцессора в директорию *NX* [4]:
 ... \Siemens\NX... \MACH\resource\library\machine\installed_machines,

а также для вызова станка из библиотеки прописать его в файл *machine_database.dat* в раздел:

... \Siemens\NX 10.0\MACH\resource\library\machine\ascii.

Для проверки работоспособности созданной виртуальной модели станка используем деталь – кронштейн (рисунок 8). Обработке деталей такого типа на 5-и координатном станке по схеме 3+2 позволяет уменьшить количество переустановив и специальной оснастки по сравнению с обработкой на 3-х координатном станке.

Следующим шагом является генерация управляющей программы под требуемую систему ЧПУ, в нашем случае это Sinumerik 840D, и последующая отработка управляющей программы в G- и M- кодах на виртуальном станке. Симуляция обработки на виртуальном станке ведётся непосредственно в G- и M- кодах, так же ведётся проверка на столкновение режущего инструмента, оснастки с обрабатываемой деталью и рабочими органами станка, проверяется превышения пределов перемещения по осям. Ведётся анализ на наличие недоснятого материала или зарезов.

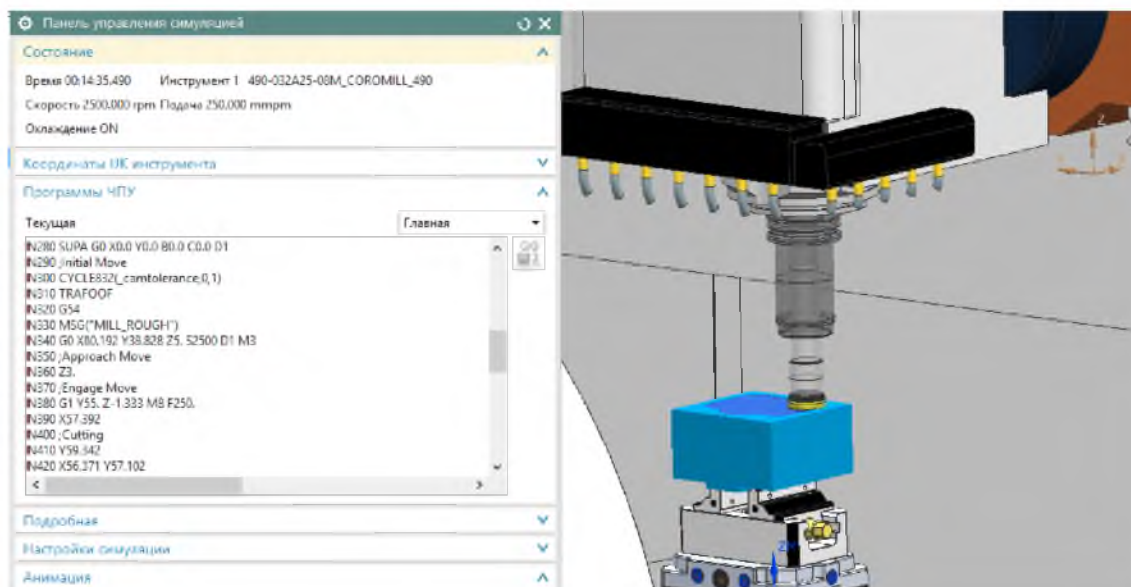


Рис. 8. Черновая симуляция обработки по G- и M-кодам на виртуальной модели станка

Список использованной литературы

1. Siemens о цифровом двойнике, Интернете вещей, российских реалиях и новинках NX 11 http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18627
2. Епифанова О. В. Автоматизация технологической подготовки производства деталей, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ / Епифанова О. В., Троицкий Д. И. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, Вып.3, 2011, с.53-61.
3. Маданов А.В. Применение CSE-технологии для верификации управляющих программ в среде NX 8.0 / А.В. Маданов, А.Р. Гисметулин

// Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 15, №4(4), 2013, с.860-864.

4. Сергеев О.С. Разработка кинематической модели станков с числовым программным управлением с помощью системы *Siemens NX8* / О.С. Сергеев, А.Р. Гисметулин / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.14, № 4 (2) 2012, с.863-867.

УДК 621.91.01

Проблемы повышения производительности при точении авиационных материалов

А.Г. Серебренникова¹, С.А. Тимофеев²

¹Комсомольский-на Амуре государственный университет, 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Рассмотрена проблема повышения производительности при точении нержавеющей сталей применяемых в отечественном авиастроении. Сделан анализ проблем, препятствующих увеличению производительности процесса резания. Изучалось влияние режимов резания на выходные параметры точения. Применялись токарные резцы со сменными многогранными пластинами из твёрдого сплава. Измерялись силы резания и температура. Рассмотрено влияние режимов резания на производительность процесса обработки и температуру.

Ключевые слова: *точение, скорость удаления материала, силы резания, температура резания, остаточные напряжения*

Введение

Повышение производительности процессов механообработки является актуальной задачей современных исследований, так как приводит к повышению конкурентоспособности машиностроительных предприятий за счёт снижения технологической себестоимости выпускаемой продукции. Наибольший эффект от интенсификации процесса резания получают в авиационной, судостроительной и других отраслях, где, на высокопроизводительном оборудовании, изготавливаются детали сложной формы из труднообрабатываемых материалов.

К труднообрабатываемым авиационным материалам относятся титановые и никелевые сплавы, некоторые марки нержавеющей и высоколегированных сталей. При их обработке прилагаются большие силы резания, которые приводят к интенсивному выделению тепла. Температуры в

зоне резания достигают высоких значений [1]. Разогрев инструмента и обрабатываемого материала приводит к негативным изменениям в микроструктуре и свойств и тех, и других. В самом инструменте воздействие высоких сил резания и температур вызывает ускоренный износ режущих кромок. Вследствие этого снижаются допустимые скорости резания и производительность процесса. Для повышения обрабатываемости резанием проводится оптимизация геометрии режущей части инструмента [2] и другие мероприятия. Важную роль при этом играет моделирование процесса точения [3-9].

Также при механообработке некоторых авиационных материалов необходимость контроля предельно допустимой температуры ограничивает режимы резания и возможности по их оптимизации [10]. Например, при обработке титановых сплавов скорость резания не должна превышать 100 м/мин. Увеличение скорости резания выше указанного предела может привести к увеличению температуры до значений, при которых происходят структурно-фазовые изменения в материале, негативно сказывающиеся на его механических свойствах.

Таким образом, оценка затрат энергии на единицу удаляемого материала и сопутствующая процессу резания температура являются важными показателями для разработки технологических процессов механообработки в аэрокосмической промышленности. При этом следует иметь в виду, что используемое на предприятиях технологическое оборудование имеет конкретные технические параметры, определяющие производительность процесса резания. К таким параметрам в первую очередь относятся мощность и крутящий момент привода главного движения. Расчёт режимов резания производят таким образом, чтобы расчётная мощность резания и момент резания были ниже мощности и крутящего момента привода главного движения. Это позволяет избежать перегрузок оборудования. Но при этом в большинстве случаев не учитывается, что объём удаляемого материала, определяется различным сочетанием параметров резания, и этому объёму соответствует различные силы резания и соответственно различные мощность и крутящий момент резания.

Следовательно, оптимизация процессов резания по критерию минимизации энергетических затрат позволит достичь максимально возможной производительности для конкретной технологической системы.

Материалы, оборудование и методы

В качестве исследуемых материалов были выбраны распространённые в отечественном авиастроении титановые сплавы ВТ20 (Ti-6%Al-2%Zr), ВТ22 (Ti-5%Al-5%Mo-5%V) и нержавеющая сталь ЭП817-Ш (Fe-14%Cr-6%Ni-1,5%Mo-1%Mn-0,06%C). Точение выполнялось на токарном обрабатывающем центре с ЧПУ DMG NEF 400 (рис.1). Применялся токарный резец Sandvik Coromant DCLNL 2020K 12 со сменными пластинами CNMG 12 04 08-ММ из твёрдого сплава 1115 (рис. 2). Инструмент

имеет следующие геометрические параметры: главный угол в плане $\phi=95^\circ$; угол при вершине $\varepsilon=80^\circ$; передний угол $\gamma=3^\circ$; задний угол $\alpha=6^\circ$.

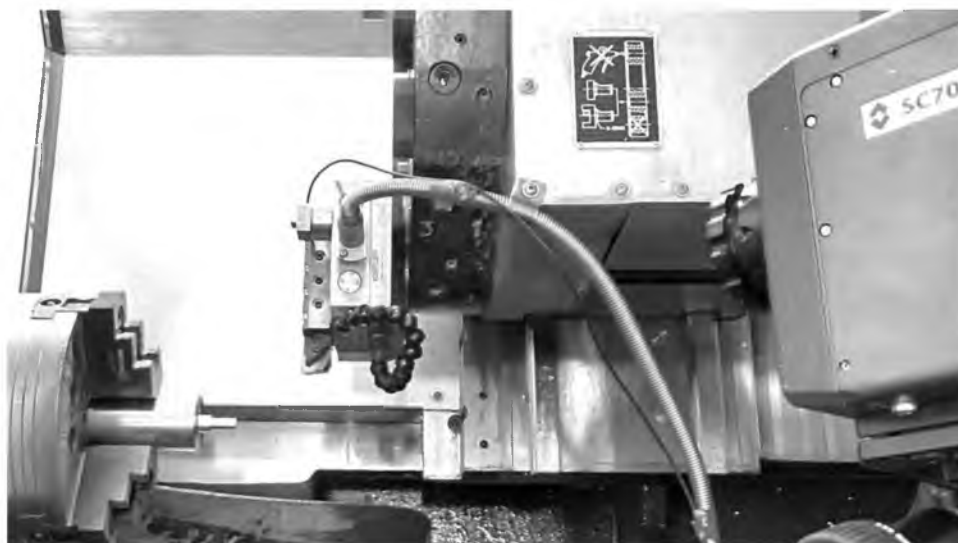


Рис.1 – Рабочая зона станка NEF400 с измерительным оборудованием

Обрабатывались заготовки в виде прутка диаметром 90 мм и длиной 410 мм. Заготовка устанавливалась в трёхкулачковый зажимной патрон. Силы резания измерялись 3-х компонентным динамометром Kistler 9129AA. Температура поверхности детали измерялась тепловизионной камерой FLIR SC7700.



Рис.2 – Токарный резец DCLNL 2020K 12

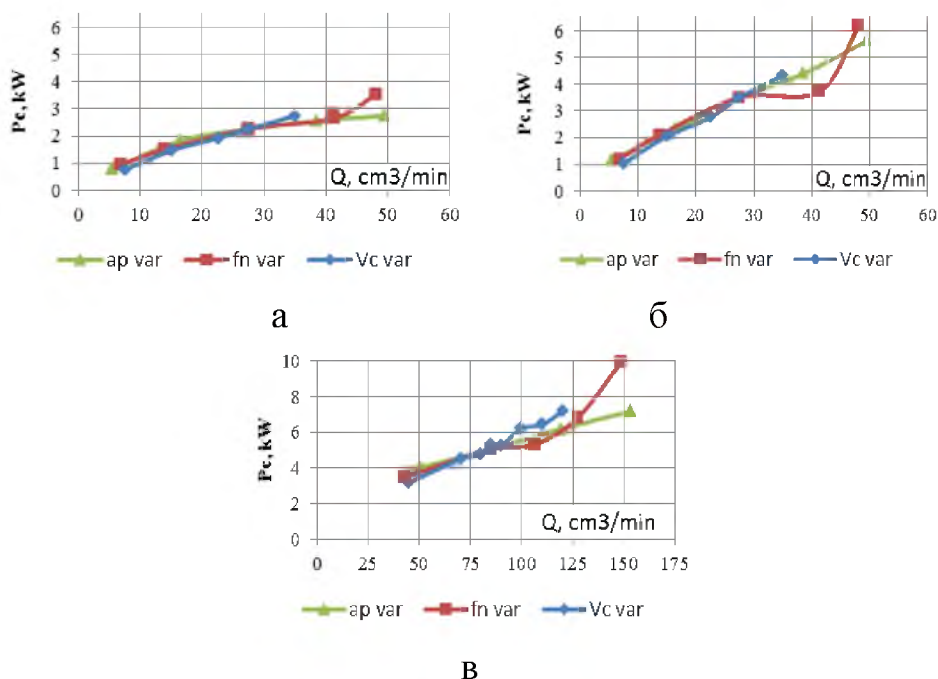
Ввиду высокой жёсткости технологической системы вибрации при резании не учитывались, хотя они оказывают негативное воздействие на стойкость инструмента, качество обработанной поверхности и ресурс оборудования, что отмечается в ряде исследований [11-12]. В случае точения нежёстких заготовок анализу влияния вибраций на производительность процесса обязательно должно быть уделено внимание.

Результаты и их обсуждение

На рисунках 3 показано изменение мощности резания в зависимости от скорости удаления материала при варьировании режимов резания.

Режимы резания изменялись в следующих диапазонах. Для титановых сплавов: глубина резания $a_p=0,5...4,5$ мм; скорость резания $V_c=15...70$ м/мин; подача $f_n=0,05...0,35$ мм/об. Для нержавеющей стали: глубина резания $a_p=1,5...4,5$ мм; скорость резания $V_c=90...240$ м/мин; подача $f_n=0,1...0,35$ мм/об.

Скорость удаления материала была рассчитана по формуле $Q=a_p \times V_c \times f_n$. Мощность резания получена по формуле $P_c=(F_t \times V_c)/6120$, где F_t - тангенциальная составляющая силы резания. Так как для титановых сплавов BT20 и BT22 скорость резания была ограничена 70 м/мин, графики мощности, полученные при варьировании скорости резания, ограничены скоростью удаления материала $35 \text{ см}^3/\text{мин}$ (рис. 3а и 3б).



а- BT20; б- BT22; в- ЭП817-III

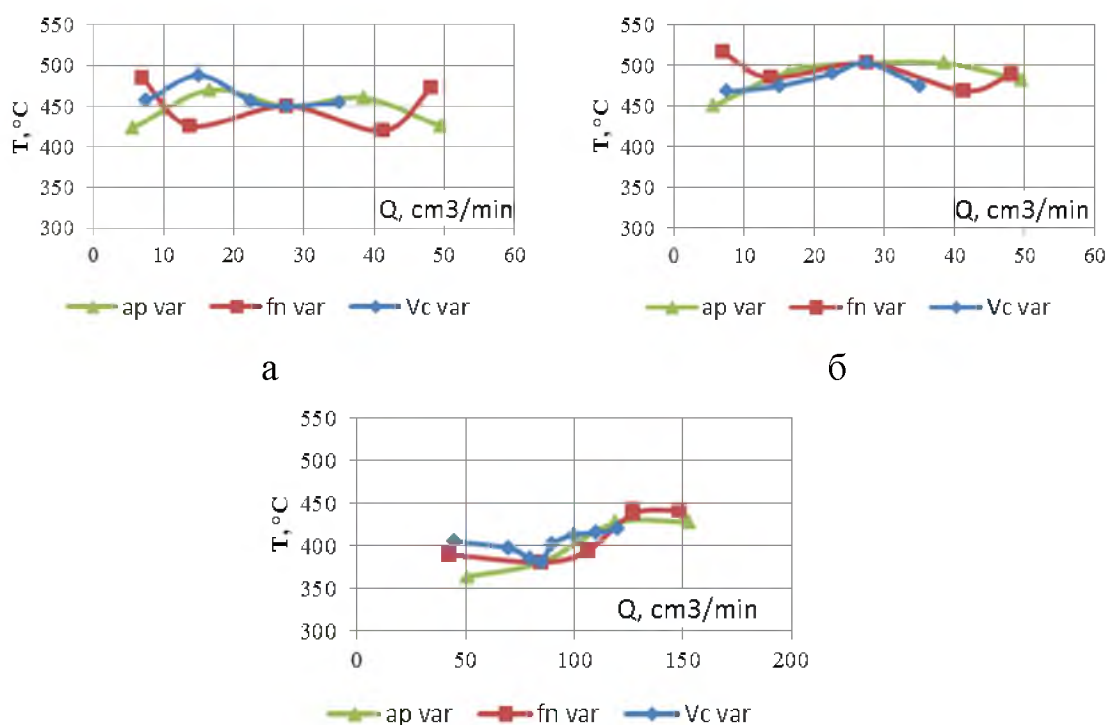
Рис. 3 - Зависимость мощности резания и скорости удаления материала при варьировании режимов резания при точении:

Анализ полученных зависимостей показывает, что при точении титановых сплавов до значения $Q \approx 30 \text{ см}^3/\text{мин}$, затраты энергии примерно одинаковы при рассмотренных сочетаниях параметров резания. При значениях Q в диапазоне $30...35 \text{ см}^3/\text{мин}$ увеличение производительности за счёт увеличения глубины резания и/или подачи предпочтительнее чем за счёт увеличения скорости резания. При этом для сплава BT22 в диапазоне $30...45 \text{ см}^3/\text{мин}$ меньшие затраты энергии зафиксированы при увеличении подачи, но при попытке увеличить подачу до $0,35 \text{ мм/об}$ затраты энергии резко возрастают. Данный факт можно объяснить различием в протекании процессов в зоне деформации для двух титановых сплавов. Геометрические параметры режущей кромки пластин позволяют получить для сплава BT22 экспериментальные результаты,

согласующиеся с классической теорией резания. Похожая картина наблюдается и при точении нержавеющей стали. В диапазоне 85...110 см³/мин меньшие затраты энергии зафиксированы при увеличении подачи, с последующим резким возрастанием при попытке увеличить подачу до 0,35 мм/об.

На рисунках 4 приведены зависимости температуры и скорости удаления материала при варьировании режимов резания. Как следует из данных зависимостей, при обработке титана с максимально достигнутой производительностью 50 см³/мин, в случае работы с максимальной глубиной резания не приводит к существенному росту температуры (рис. 4а, 4б). Более того, при точении сплава ВТ20 с максимальной производительностью была получена температура близкая к минимальной. В свою очередь резание с минимальной подачей приводит к росту температуры. Следует заметить также, что при увеличении производительности более чем в 5 раз, температура практически не изменяется для сплава ВТ20 и увеличивается примерно на 5% для сплава ВТ22.

При точении нержавеющей стали ЭП817-Ш наблюдается пропорциональное увеличение температуры при увеличении всех параметров резания (рис. 4в). При этом при увеличении производительности в 3 раза, температура увеличивается примерно на 15%.



В

а- ВТ20; б- ВТ22; в- ЭП817-Ш

Рис. 4 - Зависимость температуры поверхности и скорости удаления материала при варьировании режимов резания при точении

Заключение

Выполненный комплекс экспериментальных исследований позволяет сформулировать следующие выводы. Токарный резец CoroTurn DCLNL 2020K 12 со сменными многогранными пластинами CNMG 12 04 08-MM из твердого сплава 1015 обеспечивает точение с высокой производительностью титановых сплавов и нержавеющей стали.

В процессе проведения опытов определены режимы резания, которые позволяют минимизировать удельные затраты энергии на единицу удаляемого материала. Также показана возможность повышения производительности без критического роста температуры обрабатываемых материалов.

Предметом дальнейших исследований может стать анализ вибраций, сопровождающих увеличение режимов резания и методы борьбы с ними [13, 14], контроль шероховатости обработанной поверхности, что даст возможность получать высокое качество поверхности даже при черновом точении и структурно-фазовые изменения в материалах, происходящие под воздействием высоких температур и сил резания [15, 16].

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для оптимизации режимов резания при точении титановых сплавов BT20, BT22 и нержавеющей стали ЭП817-Ш.

Список использованной литературы:

1. Отений Я.Н., Мартыненко О.В. Исследование особенностей процесса обработки резанием цилиндрических поверхностей деталей машин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9-3. С. 452-456
2. Современное состояние производства высокопроизводительного режущего инструмента из порошковых быстрорежущих сталей и твердых сплавов / А.В. Савилов [и др.] // Вестник ИргТУ. 2013. № 6 (77). С. 26-33.
3. Родыгина А.Е. Разработка конечно-элементной модели несвободного резания// Вестник ИргТУ. 2010. № 6 (46). С. 56-60
4. Balaji J.H., Krishnaraj V., Yogesvaraj S. Investigation on High Speed Turning of Titanium Alloys//Procedia Engineering 64. 2013. pp. 926-935
5. Jagadesh T., Samuel G.L. Investigation into cutting forces and surface roughness in micro turning of titanium alloy using coated carbide tool// Procedia Materials Science 5. 2014. pp. 2450-2457
6. Chinesta F., Filice L., Micari F., Rizzuti S., Umbrello D. Assessment of material models through simple machining tests// International Journal of Material Forming, Vol. 1, Supplement 1, 2008. pp. 507-510
7. Krainev D.V., Polyanchikova M.Y., Bondarev A.A. Influence of the surface layer characteristics on the regularities of the cutting process// MATEC Web of Conferences 129. 2017. 01045.

8. Belhadi S., Marouki T., Rigal J.F., Bouanouar L. Experimental and Numerical Study of Chip Formation During Straight Turning of Hardened AISI 4340 Steel// J. Engineering Manufacture, Vol. 219. 2005. pp 515-524
9. A.Yu. Nikolaev Simulation of the plain milling process // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol.177. 2017. 012080.
10. Mavliutov A.R., Zlotnikov E.G. Optimization of cutting parameters for machining time in turning process// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering Vol. 327. 2018. 042069.
11. Свинин В.М., Прохоров А.Ю. Гашение автоколебаний закрепленного в центрах нежесткого вала при точении многорезцовой головкой с переменным шагом зубьев// Вектор науки ТГУ. № 2 (36). С. 67-75
12. Свинин В.М., Пешкова Е.А., Лобанов Д.В., Скиба В.Ю. Исследование регенеративных колебаний при токарной обработке нежестких валов// Системы. Методы. Технологии. 2016. №3 (31) С. 47- 52.
13. Eynian M., Altintas Y. Chatter stability of general turning operations with process dumping// J. Manuf. Sci. Eng. 2009. 131 (4) 041005
14. Пятых А.С., Савилов А.В. Определение коэффициентов сил резания для моделирования процессов механообработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2-1. С. 211-216.
13. Николаева Е.П., Никулин Д.С. Применение инновационных средств для контроля качества инструмента из быстрорежущих сталей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 2 (50). С. 73-80.
14. Nikolaeva E.P., Mashukov A.N. Evaluation of Residual Stresses in High-Pressure Valve Seat Sur-facing// Chemical and Petroleum Engineering. 2017. V 53 (7-8) pp 459-463

УДК 658.512

***Принципы автоматизации процесса принятия решений при
разработке маршрута изготовления***

И.В. Фокин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведен типовой метод решения технологических нерасчетных задач, путем составления математического множества, согласно теории типовых решений. Метод основан на формулировании совокупности необходимых критериев применимости и последующем составлении математического неравенства. Такое изображение процесса технологического проектирования показывает путь для формализации самого процесса при-

нятия решений, ведь для этого достаточно описать каким-либо образом весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть применено каждое из них. Полученные данные позволяют свести процесс выбора к проверке соответствия исходных данных к критериям применимости представленных решений, при полном соответствии всех условий совокупности принимают соответствующее типовое решение.

Ключевые слова: автоматизация, технологический процесс, технологическое проектирование, формообразование, производство, формализация.

Процесс принятия решений в построении маршрута изготовления является достаточно сложным и неоднозначным. Сложность выбора решения и прогнозирования его последствий усугубляется тем, что этот процесс практически всегда осуществляется в условиях действия факторов неопределенности и риска, характерных для трудноформализуемых задач. Основной задачей предприятия является обеспечение ритмичности выпуска качественной продукции, решение которой в настоящее время приложено немало усилий.

Развитие современных информационных технологий предоставляет возможность автоматизации процедур, характерных для процесса принятия решения. Применение систем поддержки принятия решений увеличивает скорость формирования решений, повышает их качество за счет математического обоснования выбора альтернатив и использования формализованных экспертных знаний, а также позволяет значительно снизить риск принятия ошибочных решений вследствие снижения влияния человеческого фактора на результат. В данной статье представляется подход к организации интеллектуальной поддержки принятия решений на основе формализации опыта при построении маршрута изготовления новой техники. [2].

В современных исследованиях в области искусственного интеллекта значительное место занимает вывод, основанный на прецедентах (Case Based Reasoning, CBR). CBR – это технология для решения проблем, основанная на опыте. Вывод, основанный на прецедентах, составляет альтернативу экспертным системам, основанным на правилах. Вместо логического контроля событий или объектов для оценки текущей ситуации используется информация о том, как в подобных случаях поступали раньше, т. е. производится анализ прецедентов. Прецедент – это описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации для решения данной проблемы [5].

В традиционной технологической практике анализ и отработка изделия на технологичность и разработка технологического процесса ведется опытными технологами на основе своего опыта, с использованием информации из различных нормативных документов, справочников, рекомендаций и других источников. Такая структура использования субъек-

тивных знаний высококвалифицированных специалистов имеет свои отрицательные черты: носителями знаний являются ограниченный круг лиц, что не позволяет распространять такие знания на широкий круг специалистов. В настоящее время в связи с ликвидацией многих промышленных предприятий нашей страны наблюдается разрыв и даже в отдельных случаях утеря того инженерного опыта, к помощи которого технологи и прибегают при решении каких-либо задач на производстве.

В основу методики положена идея формализации знаний технолога и их онтологическое описание с целью построения на их основе системы поддержки принятия решений, что позволит снизить количество ошибок и уменьшить издержки при производстве за счет анализа нескольких технологических решений и выбора оптимального по составу технологических операций технологического процесса, ее структура и информационная модель представлены на рисунке 1. Методика обладает некой гибкостью в настройке, возможно применение на различных авиационных и машиностроительных предприятиях [1].

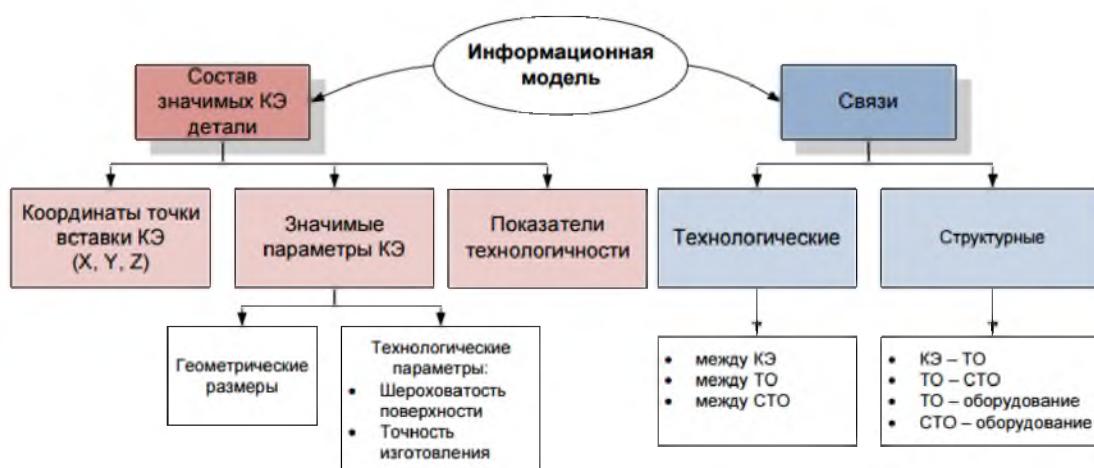


Рис. 1 – Структура и состав данных информационной модели

При ТПП технологом на проработку поступает 3D модель изделия, которая несет в себе набор значимых параметров исходя из которых технологи затем и выбирают подходящий маршрут изготовления.

Рассмотрим более подробно принцип работы предлагаемой методики схематично работа которой представлена на рисунке 2.

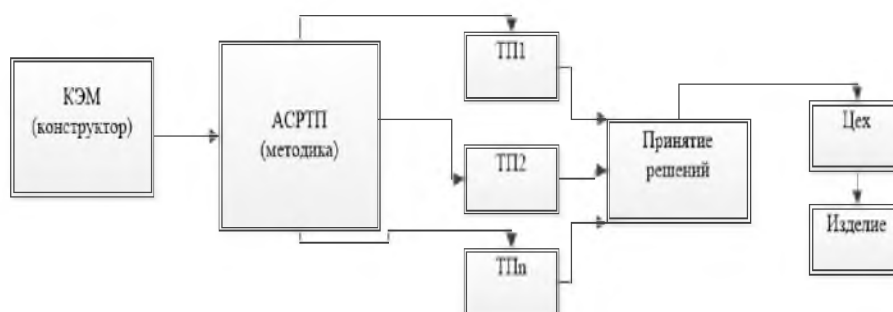


Рис. 2 – Принцип работы предлагаемой методики

Для примера возьмем типовую диафрагму (рис. 3) в своем составе имеет 2 КЭ (Отбортовка и борт), материал, и исходя из модели можно определить из какого полуфабриката будет выполнена данная деталь. Всю необходимую информацию для построения автоматизированного маршрута мы получаем из 3D модели путем ее распознавания.



Рис. 3. Типовая деталь

Далее происходит автоматизированный поиск в существующих классификаторах и БЗ распознанного элемента, для дальнейшего построения маршрута. Например в своем составе деталь имеет КЭ отбортовка, следовательно перед выполнением этой операции нам необходимо выполнить предварительно отверстие в заготовке. Исходя из диаметра отверстия обратимся к классификатору представленному в таблице 1.

Таблица 1 – правила выбора операции выполнения отверстия

Операция/Диаметр в мм.	$D < 5$	$D \leq 5$	$D > 5$
Сверление	+	+	-
Пробивка	+	+	+
Фрезерование	+	+	+

Из информации указанной в таблице 1 можно сказать что при выполнении малых диаметров возможно все 3 вида использования ТО выполнения отверстий, однако выполнение большого диаметра отверстий уже не представляется возможным при выполнении обычным сверлением.

Так же перед любым формообразованием играют ключевую роль материал заготовки, так как это означает необходимо ли осуществлять термическую обработку. Ведь тем самым меняется значение σ_T (предел текучести) и тем самым обеспечить «податливость» материала к его формоизменению. Классификатор термообработки представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Правила выбора операции термообработки

Материал/операция	Отжиг	Закалка	Старение
Алюминиевые сплавы			
Титановые сплавы			
Сталь			

Так же значение марки материала означает, необходимо ли повторная термообработка после формоизменения заготовки.

В свою очередь каждой из рассмотренных выше ТО соответствует свое СТО, это означает что выполнение казалось бы одного и того же КЭ (например отверстие) может выполняться разным способом, разным оборудованием. Это все влияет на технологичность конечного продукта, из-за того, что выполнение одной операции разным путем требует разной квалификации рабочего, обладает разной трудоемкостью и значит разной стоимостью выполнения такого простого элемента.

Тем самым создается вариативное поле по типу как на рисунке 4 при разработке маршрута изготовления даже такой простой детали как показана выше.

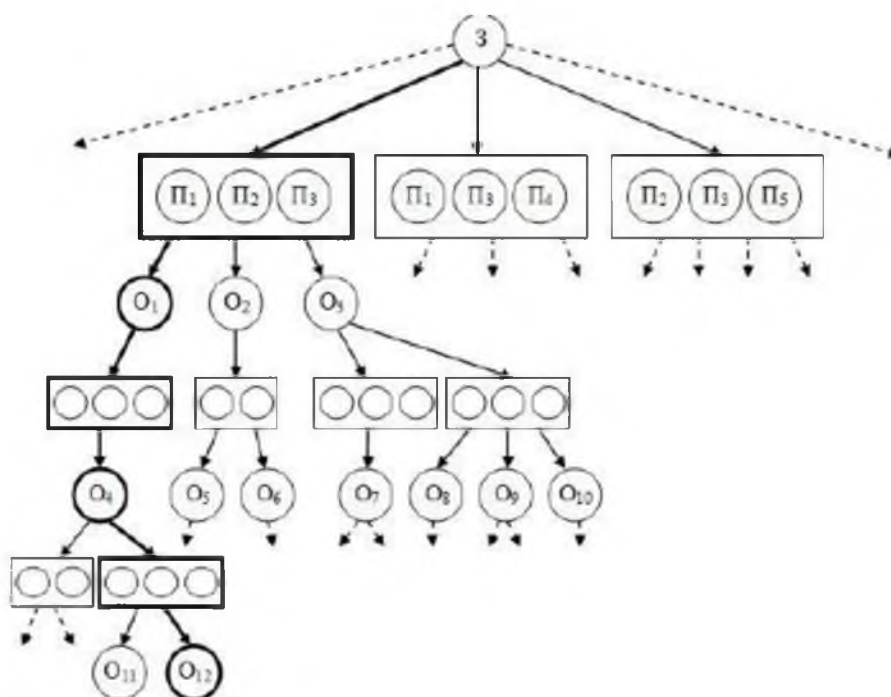


Рис. 4 – Типовое вариативное поле

Из рисунка 4 можно сказать что в своей работе технологи опираются на свой практический опыт полученный из нормативных и любых других технологических документах используемых на предприятии. Но такой принцип работы отнюдь не является самым успешным, ведь при подобной организации работы повышается риск ошибки и тем самым увеличение времени на запуск, что и влечет к повышению стоимости продукта.

Предлагаемая система построения методики позволяет внедрение системы на различных предприятиях машиностроительной отрасли. Интеграция с системой автоматизированного проектирования Siemens NX позволяет импортировать структуры проектируемых моделей изделия в программу и производить анализ конструкции изделия в полу автоматизированном режиме. Модуль «база данных» позволяет вводить информацию об имеющемся на предприятии оборудовании, деталях, сборочных единицах и типовых технологических процессах, которые используются на конкретном предприятии. Модуль «База знаний» предоставляет возможность каждому специалисту добавлять правила формирования технологических процессов изготовления изделия, а также формализовать типовые технологические операции изготовления отдельных конструктивных элементов (КЭ) детали, ведь именно эта информация играет ключевую роль при запуске в производство новых единиц. Результатом работы методики является сравнительная таблица различных способов изготовления рассматриваемого изделия, с оценкой времени, стоимости с учетом заданной технологичности конструкции изделия [1, 2, 12]. В предлагаемой методике каждый технологический объект (ТО, СТО, оборудование, инструмент и др.) находится в непосредственной производственной связи с проектируемым изделием. Такая схема анализа и обработки данных обеспечивает быструю выборку необходимых данных, что значительно сокращает время разработки ТП и дает возможность обеспечить требуемый уровень автоматизации. Преимущества новой системы заключаются в уменьшении трудозатрат и сроков разработки ТП изготовления деталей и сборочных узлов изделий АТ путем использования интеллектуального модуля, интегрированного в систему СУДП Teamcenter [3, 4].

Список использованной литературы:

1. Khusainov, R.M., Sharafutdinov, I.F. Methods of assessing the dynamic stability of the cutting process using UNIGRAPHICS NX. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016) 012042
2. Zenkov E.V. Update of the equations of the limit state of the structural material with the realization of their deformation / IOP Conference Series. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 944 (2017) 012128 (DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012128, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/944/1/012128>).
3. Ахатов Р.Х., Говорков А.С., Жилиев А.С. Разработка и внедрение программного комплекса "Система анализа технологичности конструкции

изделий" при запуске в производство изделий В книге: Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития. Статьи и тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции. 2014. С. 13-14.

4. Гаер М.А., Яценко О.В. Электронная мастер- модель с трехмерными допустимыми отклонениями // Вестник ИрГТУ. 2013. № 12 (83). С. 56–58.

5. Говорков А.С. Методика количественной оценки технологичности конструкции изделий авиационной техники Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 1. С. 31-37.

6. Говорков А.С., Ахатов Р.Х. Представление данных об объектах производственной среды при разработке технологических процессов сборки // Решетневские чтения. 2009. Т. 2. № 13. С. 411-412.

7. Говорков А.С., Ха В.Ч. Разработка автоматизированной системы проектирования технологических процессов изготовления изделия машиностроения на основе трехмерной модели /Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 48-56.

8. ГОСТ 2.051-2013 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения. Введ. 2014–06–01. М. : Стандартиформ, 2014. 9 с.

9. ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. Введ. 2008–08–31. М. : Стандартиформ, 2007. 11 с.

10. Ирзаев Г.Х. Исследование и моделирование информационных потоков конструкторско-технологических изменений на этапах освоения и серийного производства изделий // Организатор производства. 2012. Т. 52. № 1. С. 131–135.

11. Ирзаев Г.Х. Экспертный выбор предпочтительного по технологичности варианта изделия методом аналитической иерархии // Вестник ИрГТУ. 2007. № 1. Т. 1. С. 126–130.

12. Ирзаев Г.Х., Адамов А.П. Исследование системы обработки потоков информации об изменениях в конструкции радиоэлектронных средств на этапах освоения и производства // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 1 (33). С. 7.

13. Ирзаев Г.Х., Адамова А.А. Автоматизация процесса формирования системы показателей для оценки технологичности конструкции изделия // Автоматизация. Современные технологии. 2014. № 11. С. 27–33.

14. Лаврентьева М.В., Говорков А.С. Идентификация объектов структуры электронной модели изделия с помощью выявленных формализованных параметров из конструкторско-технологической среды / Труды МАИ. 2017. № 96. С. 29.

15. Лаврентьева М.В., Ерофеев М.С. Корреляция параметров электронного макета и технологических параметров изделия // В сборни-

ке: Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. 2016. С. 70-72.

16. Чьен Х.В., Лаврентьева М.В. Определение состава базирующих элементов сборочного приспособления при сборке авиационного изделия / Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С. 74-80.

УДК 621.9.06

Технология прототипирования и конструкция антропоморфных манипуляционных устройств

В.А. Фоломеев, А.С. Беломестных

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В данной статье приводятся технология прототипирования и конструктивные решения антропоморфного манипуляционного устройства. Приводится оценка трудоемкости и затрат на изготовление и наладку комплекса. Выполнен сравнительный анализ устройства с зарубежными и отечественными аналогами.

Ключевые слова: *манипулятор, протез, прототипирование, 3D печать, аддитивные технологии.*

В настоящее время у 15 % людей в мире присутствуют нарушения функций и структур организма, препятствующие физической активности, а также мешающие социальной жизни, и около 50 миллионов человек в год становятся инвалидами. Финансовые потери при этом составляют примерно 6%, что равняется примерно 4.5 триллионам долларов. И поэтому антропоморфные модули (АМ), способные выполнять основные функции, максимально приближенные к человеческим, весьма востребованы.

Существует множество способов изготовления мехатронных устройств. В основном это литье, штамповка и механообработка [3], [4], [5], а также, если требуется создать прочные и легкие детали, их изготавливают из углепластика путем вакуумбэгинга, но цена материала и самого процесса изготовления очень высоки. Наиболее перспективным методом следует признать 3-D печать. Аддитивные технологии обладают рядом преимуществ, такими как: быстрое прототипирование, создание сложных объектов; экономичность (отсутствуют отходы); широкий выбор используемых материалов [1], [2].

Требования к разрабатываемому прототипу АМ включали в себя следующие: манипулятор должен иметь антропоморфную структуру, сгибать и разгибать 5 конечностей независимо друг от друга и также поворачивать кисть руки с регулируемой скоростью вращения (0.5-2 с) и на заданный угол (0-90 градусов). Стоимость данного манипулятора не должна превышать пятнадцати тысяч рублей. Требования к материалу изделия: температура плавления более 120°C; Влагопоглощение - не более 20%; Прочность на изгиб/разрыв - не менее 50/50 МПа; Твердость (по Роквеллу) - не хуже R70. С учетом сформулированных требований для манипулятора был выбран экологичный термопластик PLA.

1. С учетом требуемого быстродействия и функциональности разрабатываемого манипуляционного устройства для управления комплексом предложено использовать микроконтроллер «Atmega 2560» и 6 сервоприводов.

Синтез CAD моделей осуществлялся с помощью программы «AutoDesk Inventor», а CAM моделей - с помощью программы «Slicer 3D».

Для изготовления деталей потребовался 3D принтер «Wanhao Duplicator i3», который печатает экструзивным методом.

Сборка корпуса проводилась в следующей последовательности (рисунки 1,2,3):



Рис. 1. Сборка кисти руки

- Сначала выполнялась сборка конечностей. Основные виды работ: выкладка элементов на плазе, сборка клеевых и болтовых соединений, подключение верхних фаланг осуществлялось после внутренней прокладки эластичного приводного элемента.

- Затем была встроена и подключена электронная составляющая (Приводы, Микроконтроллер)

- Далее эластичные приводные элементы подведены к шкивам сервомоторов. Двусторонний монтаж приводов позволил сократить количество двигателей и, таким образом, компактно разместить исполнительную механическую и управляющую электронную части комплекса внутри предплечья (рис. 2).



Рис. 2. Сборка антропоморфного манипулятора

- В заключение выполнены операции сборки корпуса предплечья и прикрепления к кисти (рис. 3).

Разработка системы управления комплексом производилась по следующей методике:

- рассчитаны требуемые силы и моменты;
- по результатам выполнения предыдущего этапа и с учетом кинематики АМ- устройства осуществлен выбор двигателей, редукторов;
- выбран эффективный способ управления двигателями с использованием ШИМ- модуляции;
- сформулирован набор контролируемых параметров и диапазон их варьирования;
- выполнено физическое подключение приводов с обратной связью со встроенными редукторами к выводам микроконтроллера через систему управления;
- синтезирован алгоритм работы системы;
- разработана программа, позволяющая управлять сервоприводами,
- подготовлены ключевые подпрограммы для реализации основных видов захватов манипулятора;
- выполнена первоначальная отладка программы, анализ работоспособности и ошибок функционирования устройства;
- произведена доработка программы согласно техническому заданию.

Сконструированный антропоморфный манипулятор обеспечивает следующие виды программных действий: захват и удержание стакана,

кружки, ручки, ложки, полное сжатие – разжатие кисти, поворот кистевого сустава. В целях повышения удобства пользования комплексом предусмотрена возможность управления скоростью движения суставов, продолжительности выполнения захвата в пределах 0.5...1.5 с и регулировки углов поворота для реализации нестандартных (дополнительных) движений.



Рис. 3. Готовое АМ-устройство

Для оценки трудоемкости выполнен хронометраж процессов на этапах проектирования, конструирования и наладки устройства:

- разработка CAD, CAM моделей 34 ч.
- изготовление деталей – 70 ч;
- подготовка программы и ее отладка – 84 ч;
- Сборка устройства и покраска – 25 ч;

Итоговая трудоемкость технологического процесса составила 213 ч.

Капитальные затраты на реализацию проекта:

- материал (PLA-пластик) – 3000 руб.;
- электронная составляющая – 6000 руб.;
- краска – 500 руб.;
- затраты на электроэнергию - 100 руб.

Трудоемкость изготовления серийного образца по предложенной методике составит, приблизительно, 90 часов.

Итоговая себестоимость данного устройства составила, без учета эксплуатационных затрат 9500 рублей, что существенно ниже рыночных цен на зарубежные аналоги. Например, немецкий мировой лидер по изготовлению протезов «Ottobock» предлагает свои АМ-устройства от 400 тысяч и до 2 500 000 руб. Топовые образцы данного производителя имеют

следующий функционал: расширенный диапазон захватов; настройка комплекса с помощью андроид-приложения на смартфоне; возможность выполнения работ с «тонкой» моторикой, например, завязыванием шнурков; высокая скорость (продолжительность цикла до 0.25 с) и плавность изгибов конечностей; наличие адаптивной системы силового очувствления, позволяющей определять фактуру объекта захвата с автоматической коррекцией скорости сжатия. Бионический протез «Bebionic 3» компании «RSLSteeper» имеет меньшую функциональность, однако розничные цены стартуют от миллиона рублей в зависимости от комплектации. Следует также отметить короткий жизненный цикл технологической подготовки индивидуального образца в этих компаниях. Он составляет не более недели. Российский производственный сегмент компаний-разработчиков бионических протезов представлен несколькими фирмами. Компания «Моторика», создает протезы на основе 3-D печати и частичной механообработки. Функционал таких протезов следующий: 6 основных видов захватов, скорость полного разгибания/сгибания 1.5 с., сила сжатия кисти – 90 Н, силовой контур управляется напряжением мышц. Цена таких протезов начинается со 100 000 рублей, длительность изготовления около недели.

С учетом накопленных знаний и умений, готовой программы, принципиальных и монтажных схем, отлаженной технологии сборки и наладки АМ-комплекса трудоемкость изготовления серийного образца по предложенной методике составляет, приблизительно, 90 часов. Себестоимость системы - 9600 рублей, что существенно ниже рыночных цен на зарубежные и отечественные аналоги.

Синтезированная технология изготовления АМ-устройства имеет явные ценовые преимущества за счёт применения недорогой 3-D печати и оптимизированной конструкции, однако в функциональности пока уступает зарубежным аналогам.

Список использованной литературы:

1. Ракитин С.Ю. Использование 3D принтеров при быстром прототипировании / Наука и образование в XXI веке. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 17 частях. 2014. С. 105-106.
2. Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Павлов В.В. Использование технологии объемной печати в прототипировании экзопротезов верхней конечности / Фундаментальные и прикладные исследования. Технические, естественные и гуманитарные науки сборник научных трудов. Новосибирск, 2016. С. 44-46.
3. Ivanova A., Belomestnyh A., Semenov E., Ponomarev B. Manufacturing capability of the robotic complex machining edge details// International Journal of Engineering and Technology (IJET). Vol 7 No 5 Oct-Nov 2015, p.1774-1780.

4. Semyonov E.N., Sidorova A.V., Pashkov A.E., Belomestnykh A.S. Accuracy assessment of KUKA KR210 R2700 extra industrial robot// International Journal of Engineering and Technology. 2016. Т. 16. № 1. p. 19-25.

5. Савилов А.В. Современные технологии механообработки и формообразования авиационных деталей. / Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2-х томах. 2016. С. 494-499.

УДК 621.757

О проблемах пространственного размерного анализа на современном этапе развития машиностроения

Л.Ф. Хвощевская

Иркутский национальный научно-исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В статье рассматриваются проблемы пространственного размерного анализа механических узлов на современном этапе развития отечественного машиностроительного производства. Исследования показали, что можно выделить несколько основных проблем пространственного размерного анализа: математические модели накопления отклонений в механических узлах; способы и алгоритмы задания допусков на компоненты сборки математические модели и методы для проведения полноценного 2-D и 3-D анализа и синтеза; методы анализа, которые учитывают статистические распределения, не являющиеся нормальными, и возникающие нелинейные эффекты; методы визуализации результатов анализа; методы интеграции пространственного размерного анализа на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства.

Ключевые слова: *машиностроительное компьютеризированное производство, качество изделий, точность, пространственный размерный анализ, допуски, математические методы и модели.*

Машиностроение является ведущей отраслью государства, которая определяет возможность развития других отраслей. Именно машиностроительное производство способствует повышению благосостояния общества, резко увеличивает производительность труда, повышает качество продукции, обеспечивает обороноспособность государства.

Одна из ключевых проблем, стоящих перед современным машиностроением – это создание сложных, конкурентоспособных машин в заданные сроки при минимальных расходах и с требуемым качеством. Вы-

сокая стоимость или плохие эксплуатационные характеристики изделий, в конечном счете, приводят к потере доли рынка.

На современном этапе развитие машиностроительного производства создание изделий невозможно без применения современных CALS – технологий, неотъемлемой частью которых является цепочка CAD/CAE/CAM (проектирование, инженерные расчеты и отработка на технологичность, подготовка производства).

Качество стало одним из наиболее популярных лозунгов двадцать первого века. Международные стандарты серии ISO 9000, принятые более чем в 90 странах мира, позволяют подтвердить качество различных аспектов работы предприятия.

В стандарте ГОСТ Р ИСО 9000-2001 «Система менеджмента качества. Основные положения и словарь» дано следующее определение качества: «Качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям».

К сожалению, в настоящее время большинство изделий (машин и оборудования), выпускаемых отечественным машиностроением, по важнейшим показателям уступают зарубежным аналогам. Мировому уровню качества соответствуют лишь около 20% объема выпускаемой в стране важнейшей продукции машиностроения. Следовательно, повышение технического уровня и качества изделий машиностроения является важнейшей государственной задачей.

Жизненный цикл изделия включает в себя такие взаимозависимые сферы деятельности, как проектирование, производство, эксплуатация, технический сервис. При проектировании и производстве изделий формируются показатели качества, которые проявляют себя при эксплуатации изделия. До 90% от всех отказов изделий происходит по причине их некачественной сборки.

Размерный анализ является ключевым элементом в программах по улучшению качества изделий, снижения общих затрат, и сохранения рыночной доли, а также связующим звеном между конструкторскими и технологическими этапами подготовки производства к выпуску новой продукции и универсальным средством, пригодным для расчета любого изделия или отдельного узла.

В эпоху компьютеризированного производства изделий машиностроения необходимо иметь новые инструменты пространственного размерного анализа, чтобы помочь инженерам-конструкторам и инженерам-технологам проводить анализ с учётом современных требований к качеству производимой продукции.

Изготовление изделий высокого качества в сжатые сроки и оптимизация прибыли требуют точных и эффективных аналитических инструментальных средств, которые тесно интегрированы с CAD- системами твердотельного моделирования.

С проектирования сборочных единиц начинается создание изделия. Сборка является и завершающим этапом производства. Значение и сложность сборки возрастают по мере развития научно-технического процесса, который неизменно приводит к усложнению изделий.

Качество сборочной единицы (изделия) определяется, прежде всего, качеством её ключевых нормируемых геометрических параметров, таких как зазоры (натяги), соосность, углы перекоса собираемых деталей, радиальные и торцовые биения и т.п. Точность геометрических параметров деталей характеризуется не только точностью размеров и элементов, но точностью относительного положения и движения исполнительных поверхностей, точностью показателей макрогеометрии и микрогеометрии.

Взаимозаменяемость является основным показателем качества сборочной единицы, который обеспечивает возможность беспригоночной сборки сопрягаемых деталей в сборочные единицы, а сборочных единиц - в изделия при сохранении всех требований, предъявляемых к работе узла, агрегата и конструкции в целом. Полная взаимозаменяемость является целью большинства проектов по созданию изделий не только в машиностроении, но и в самолётостроении, приборостроении и т.д.

Установление правильного соотношения номинальных размеров деталей и их допустимых отклонений в ответственных размерных связях – один из способов достижения полной взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц и машин. Поэтому при конструировании механизмов, проектировании технологических процессов, выборе средств и методов измерений, т.е. для обеспечения нормальной работы машины или любого другого изделия возникает необходимость в проведении качественного трёхмерного размерного анализа сборочных единиц, который поможет выявить причины несовершенства конструкции на ранних стадиях проектирования. Именно с его помощью возможно достичь определенного, соответствующего служебному назначению взаимного расположения составляющих деталей и их поверхностей, правильного соотношения взаимосвязанных размеров и допустимых отклонений анализируемых параметров деталей, а также обеспечить собираемость деталей и узлов без подгоночных работ и, следовательно, с минимальными затратами на их изготовление и сборку.

Важнейшими задачами при конструировании нового изделия являются как назначение и анализ точностных характеристик отдельных деталей и их элементов, так и оценка их влияния на сборку в целом. Несмотря на то, что назначение допусков на компоненты сборки признается всеми как обязательное условие для достижения необходимых функциональных требований, взаимосвязь между значениями этих допусков и корректной работой конечного изделия до сих пор остается неясной и требует более детального рассмотрения.

Сейчас в отечественном машиностроительном производстве сложилась тенденция к заданию допусков на двухмерных чертежах отдельных

деталей, полученных из 3D-моделей CAD-систем. Такая ситуация происходит вследствие того, что в геометрических моделях современных САПР используется только номинальная геометрия, а допуски носят характер аннотаций. Это отражается затем на процессах производства и сборки, поскольку обменные файлы единой информационной среды не содержат данных о допусках и размерных взаимосвязях в сопряжениях деталей сборок. Как следствие, при сборке узлов изделия выполняются пригоночные работы, которые снижают качество конечного продукта, и увеличивают срок производства.

Анализ отечественной литературы [1-8] показывает, что в России проблема пространственного размерного анализа является актуальной.

Однако следует отметить, что существующие в России методы размерного анализа в большей степени практикуются на основе узкоспециализированных конвенций от инженерии и меньше на математических принципах. Следовательно, полноценный пространственный размерный анализ механических узлов сегодня не делается, а современные разработки программного обеспечения являются лишь частично совместимыми с существующими стандартами.

Зарубежные CAT-системы, такие как CeTOL 6σ, 3DCS, VSA и т.д., позволяют проводить автоматизированный размерный анализ. Однако проведение ежегодных конференций CIRP CAT по проблемам проектирования и планирования системы сборки (в 2018 году такие конференции пройдут в Китае, Токио, Швеции) указывает с одной стороны на то, что эти проблемы и за рубежом являются чрезвычайно актуальными, а с другой стороны на то, что в мировом инженерном сообществе не существует универсальных методов представления и полноценного трёхмерного анализа геометрической информации сборки, которые комплексно охватывают весь спектр проблем.

Назначение оптимальных допусков является важным связующим звеном между проектированием изделия и его изготовлением. Инженеры-конструкторы часто назначают «узкие» допуски, чтобы обеспечить собираемость и функционирование своих конструкций. Производители предпочитают «широкие» допуски, чтобы изготовить детали было проще и дешевле. Поэтому решение этой проблемы позволит разрешить конкурирующие требования конструкторов, проектировщиков и технологов.

Также проблемой при создании качественного изделия является понимание причин и последствий размерных и геометрических вариаций, а также проблема полной и точной реализации функциональных требований в процессе его проектирования и изготовления. Эффективных инструментов для оказания помощи конструкторам в назначении допусков и отслеживании кумулятивных эффектов геометрических и размерных вариаций на ключевых характеристиках сборки уже на стадии проектирования сегодня не существует, поскольку современные CAD-системы ограничиваются номинальной геометрией, а допуски поддерживаются

только в виде текстовых атрибутов, прикрепленных к геометрическим объектам.

Совершенно ясно, что больше неприемлемо произвольно назначать допуски на инженерных чертежах, поскольку эффекты от такого отношения к допускам являются далеко идущими. Мало того, что допуски и вариации влияют на собираемость изделий и узлов, но также они влияют на себестоимость изделия, выбор технологического процесса, оснащение, настройку, требуемые навыки оператора, контроль и измерения, а также лом и доработку. Допуски также напрямую влияют на работоспособность изделия и надежность конструкции, то есть на эксплуатационные характеристики изделия. Некачественные изделия не являются конкурентоспособными на рынке.

Геометрические допуски очень часто используются в аэрокосмической и машиностроительных отраслях промышленности для обеспечения формы и функционирования механических частей. Они отличаются от размерных допусков. Они управляют формой и ориентацией (плоскостность, округлость, перпендикулярность, и т.д.) и месторасположением (позиционные, биение, и т.д.) поверхностей и других геометрических элементов, как определено в стандартах ГОСТ 24643-81, ГОСТ 30893.2-2002, ГОСТ Р 53442-2015. Геометрические отклонения суть источники изменений, которые могут накапливаться, и распространяться через узел так же, как размерные допуски. В зависимости от количества компонентов узла и геометрии, они могут оказывать существенное влияние на получаемые варианты сборки и должны быть учтены в размерном анализе узлов наряду с размерными вариациями.

Таким образом, на современном этапе развития машиностроительного производства решение проблем пространственного размерного анализа подразумевает решение задач по нескольким основным направлениям:

- способы представления допустимых отклонений (допусков), позволяющие учитывать функциональные требования к узлу (изделию), а также дающие возможность учитывать взаимосвязи между допусками, предусмотренными в стандартах;
- математические трёхмерные модели узла (изделия), позволяющие учитывать «неидеальную» геометрию компонентов узла и кумулятивные эффекты геометрических и размерных вариаций компонентов на ключевых характеристиках узла (изделия);
- математические модели для проведения полноценного 2-D и 3-D анализа и синтеза;
- методы анализа, которые учитывают статистические распределения, не являющиеся нормальными, и возникающие нелинейные эффекты;
- методы визуализации результатов анализа;
- интеграция пространственного размерного анализа на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства.

Научные исследования по этим направлениям проводятся в лаборатории размерного анализа на базе ИРНИТУ под руководством профессора Д.А. Журавлёва.

Список использованной литературы:

1. Масыгин В.Б., Мухолзоев А.В., Шаимова С.Б. Методы автоматизации размерного анализа технологических процессов в России // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6-1. – с. 44-49.
2. Журавлёв Д.А., Шабалин А.В. Методика пространственного размерного анализа в системе ГеПАРД // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 8. – с. 58-65.
3. Журавлёв Д.А., Калашников А.С., Гаер М.А. Геометрическое моделирование деталей и сборок с пространственными допусками в САПР нового поколения // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения». – Иркутск, 2005. – С. 35-38.
4. Гаер М.А., Хвощевская Л.Ф. Дифференциально-геометрический подход для анализа трёхмерных размерных цепей // Вестник ИрГТУ. – № 10. – 2014 г. – с. 32-38.
5. Хвощевская Л.Ф. Анализ точности 2D-сборки на основе модели векторного контура // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Тенденции развития науки и образования» – Тамбов, 2015. – Т.3. – с. 149-153.
6. Филькин Д.М. Система автоматизированных расчетов пространственных размерных цепей // Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях: материалы международной научно-практической конференции (16-18 ноября.2009 г. г. Брянск) /под ред. В.И. Аверченкова. – Брянск: БГТУ, 2009. – С. 62-63.
7. Скворцов А.В. Автоматизированная система комплексного размерного анализа в среде CALS/ИПИ-технологий // Вестник машиностроения. — 2007. — № 5. — С. 36-42.

Улучшение эргономической характеристики мотоциклов

А.Г. Осипов, М.А. Савина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83

Дана историческая справка по мотоциклам, представляющим легкие колесные транспортные средства. Показано неблагоприятное влияние механических колебаний и вибраций на технику и организм человека. Проанализированы преимущества и недостатки систем поддрессоривания легких колесных транспортных средств. Приведена схема вибрационного стенда. Рассмотрены перспективы улучшения эргономической характеристики мотоциклов за счет управляемых пневморессор, оборудованных системами, регулирующими рабочее давление пневмокамеры подвески в зависимости от температуры газа.

Ключевые слова: *мотоциклы, механические колебания, вибрация, влияние вибрации на человека, защита от вибрации, плавность хода, вибрационный стенд, экспериментальные системы поддрессоривания, улучшение эргономической характеристики мотоцикла за счет управляемых пневморессор.*

Статистика показывает, что около 80 % поломок и аварий транспортных средств являются результатом недопустимых механических колебаний. Особенно неблагоприятное влияние на техническое состояние и эксплуатационные свойства транспортных машин оказывают относительно небольшие механические колебания, называемые вибрацией от английского слова vibration.

Колебания отличаются более низкой частотой, составляющей порядка 15-18 Гц, и тем, что организм человека улавливает отдельные циклические периоды. Для вибраций характерны более высокие частоты, воспринимаемые слитно. Границы вибрационной чувствительности человеческого организма составляют 15-1500 Гц [1].

Согласно ГОСТ 24346-80 «Вибрация. Термины определения» под вибрацией понимают движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты. При вибрации тело или его составные части, периодически перемещаясь, проходят через одно и то же положение устойчивого равновесия [2].

Следует отметить, что вибрация не только оказывает отрицательное влияние на техническое состояние и эксплуатационные свойства транспортных машин, но и неблагоприятно воздействует на организм человека, управляющего транспортным средством или находящегося в машине в качестве пассажира. Считается, что наиболее вредные для организма человека вибрации находятся в диапазоне частот 20-250 Гц.

Результаты исследований, проведенных медицинскими работниками и специалистами гигиены труда, показали, что продолжительные воздействия вибрации на организм человека приводят к физиологическим изменениям в организме и развитию вибрационной болезни – ангионевроза. При этом у больного человека наблюдается нарушение функционирования сердечно-сосудистой и нервной системы, желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательного аппарата, а также кожных анализаторов.

Установлено, что механические колебания с частотой до 3-5 Гц вызывают реакции вестибулярного аппарата и способствуют появлению расстройств, связанных со смещением массы крови в сосудах, т. е. нарушению сердечно-сосудистой системы и появлению синдрома укачивания, так называемой, морской болезни. При колебаниях с частотами от 3-5 до 11 Гц наблюдаются расстройства, обусловленные возбуждением лабиринтного аппарата внутреннего уха и резонансными колебаниями как человеческого тела в целом, так и некоторых его частей, в частности, желудка, печени и кишечника, т. е. желудочно-кишечного тракта. Колебания и вибрации человека с частотами 11-45 Гц могут сопровождаться функциональными расстройствами ряда внутренних органов, в том числе мочевого аппарата, ухудшать зрение в связи с колебаниями глазных яблок, вызывать тошноту и рвоты. Вибрации с частотами свыше 45 Гц при известной интенсивности вызывают серьезные физиологические изменения в организме человека и приводят к развитию ангионевроза, т. е. виброболести [1].

В результате механического воздействия вибрации на сосуды происходит повреждение внутренней стенки кровеносной артерии, появляются тромбы, которые с током крови переносятся в более мелкие сосуды и их перекрывают. В результате пораженная часть тела синееет, становится холодной, теряется ее чувствительность. Спустя время могут появляться длительно незаживающие язвочки. Этому способствует также сосудосуживающее действие высокочастотной вибрации, а также повышение вязкости крови. В случае общей вибрации, значительно повышается риск инфарктов, инсультов, артериальной гипертензии [1].

В связи с вышеизложенным, рядом нормативных документов, например, ГОСТ 12.1. 012-78 «Вибрация. Гигиенические характеристики и нормы вибрации», СП 4616-88 «Санитарные правила по гигиене труда водителей автомобилей»* и другими документами регламентируются основные параметры вибрации, в частности, среднеквадратичные значения виброскорости в м/с или логарифмические уровни виброскорости в дБ,

виброускорения в м/с^{-2} или в дБ, среднегеометрические частоты актовых полос в Гц.

Для защиты от вибрации транспортных средств, их водителей и пассажиров широко применяются механические, гидравлические, пневматические и комбинированные системы поддрессоривания, в частности, гидропневматические подвески. Наиболее простыми и надежными в эксплуатации являются механические системы поддрессоривания, упругие компоненты которых представлены пружинами, торсионами и листовыми рессорами. Однако они не позволяют обеспечить хорошую плавность хода транспортных средств.

Более комфортные условия езды по неровной поверхности дороги обеспечивают для легковых транспортных средств гидравлические и для грузовых машин пневматические системы поддрессоривания. Однако в отличие от механических систем они являются более сложными и дорогостоящими.

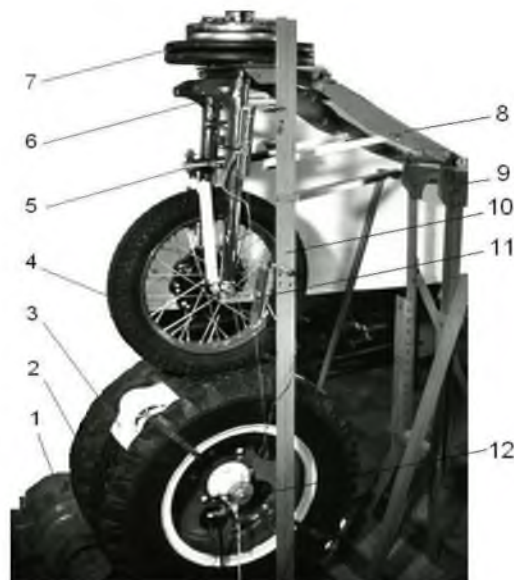
Наиболее оптимальные эргономические характеристики транспортных машин обеспечиваются гидропневматическими подвесками, однако их применение на легких транспортных средствах, к которым относятся мотоциклы, не всегда экономически оправдано.

В настоящее время пневматические подвески находят все более широкое применение в системах поддрессоривания гусеничных и колесных машин, грузовых автомобилей, автобусов, автомобилей представительского класса, тракторов, а также легких колесных транспортных средств, в частности, мотоциклов. При этом особое внимание уделяется защите от вибрации сидений водителей. Для эффективной защиты последних от вибрации применяют пружинные амортизаторы с переменной жесткостью, резиновые растяжки, гидравлические амортизаторы, а также пневморессоры различного конструктивного исполнения.

В настоящее время использование пневматических подвесок в системах поддрессоривания различных транспортных средств, включая мотоциклы, считается перспективным по ряду причин, к которым следует отнести прогрессивные характеристики упругости, удобство компоновки машин, возможность регулирования и стабилизации положения их кузова, а также возможность использования системы управления параметрами пневморессоры.

Следует отметить, что в связи с плохой уравновешенностью малоцилиндровых двигателей уровень вибрации мотоциклов выше, чем у транспортных средств, укомплектованных многоцилиндровыми двигателями, и эргономические характеристики мотоциклов в первую очередь нуждаются в улучшении за счет совершенствования виброзащиты.

Для изучения влияния искусственных неровностей на уровень вибрации и, следовательно, на плавность хода мотоцикла в Иркутском национальном исследовательском техническом университете разработан экспериментальный вибрационный стенд (рис. 1) [3].



1 – электромотор со шкивом; 2 – беговой барабан; 3 – искусственная неровность; 4 – колесо с пневматической шиной; 5 – преобразователь движения; 6 – телескопическая вилка; 7 – нагрузочное устройство; 8 – качающаяся стрела; 9 – вертикальная стойка; 10 – стойка крепления реохорда; 11 – реохорд; 12 – датчик частоты вращения бегового барабана

Рис. 1. Внешний вид экспериментального вибрационного стенда:

Основными конструктивными элементами этого стенда являются: электромотор 1 постоянного тока П-42-У4 с электромагнитным пускателем АП50-2НТ и шкивом привода барабана; двухскатный беговой барабан 2 диаметром 927 мм; искусственная сменная неровность (неровности) 3, устанавливаемая на внешний скат бегового барабана посредством ролико-втулочной цепи; колесо 4 с пневматической шиной; преобразователь движения 5; телескопическая вилка 6 с гидравлическими амортизаторами, жестко закрепленная на конце качающейся стрелы; нагрузочное устройство 7, позволяющее варьировать нормальную силу на колесе съемными грузами; качающаяся стрела 8, шарнирно соединенная с вертикальной стойкой рамы; вертикальная стойка 9, жестко соединенная с основанием рамы; стойка 10 для крепления реохорда; реохорд 11; датчик частоты вращения бегового барабана 12.

Принятая на стенде измерительная аппаратура позволяет получать результаты с допустимой точностью, поскольку случайные погрешности, вычисленные по рекомендациям [4], не превышают предельных систематических ошибок.

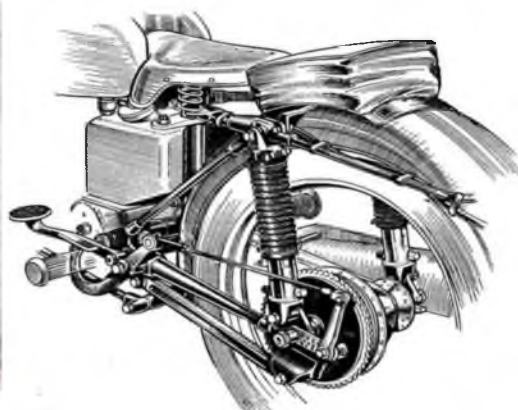
Идею использования пневмобаллона в качестве рессоры на колесных транспортных средствах приписывают американскому исследователю Вильяму Хамфризу. Его не коммерческий проект, с двумя пневмоэлементами над осью автомобиля, относят к 1901 г. [5].

Первые образцы мотоциклов, оборудованные пневморессорами (рис. 2,а), появились в 1907 году под флагом британской компании ASL (Air Springs Ltd – «Воздушные пружины»). Реальное воплощение пневморес-

соры получили на спортивных моделях мотоциклов Гарольда Виллиса, инженера английской компании Velocette, в 1939 г. (рис. 2,б) [6].



а)



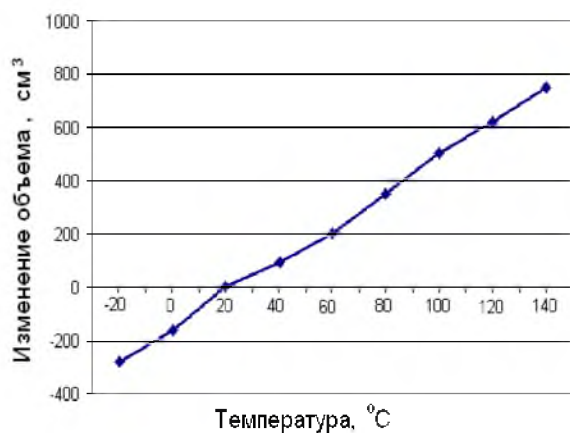
б)

а – модель ASL с пневмоподвеской обоих колес, 1910 г.; б – задняя подвеска с гидропневматическими амортизаторами гоночного Velocette КТТ, 1939 г.

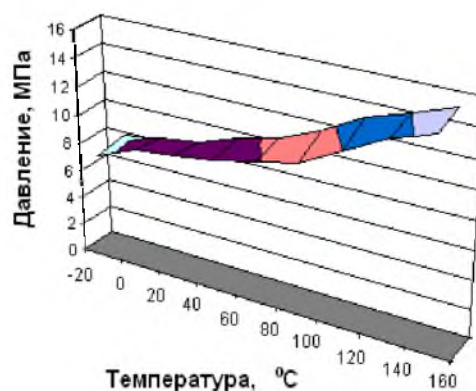
Рис. 2. Первые образцы мотоциклов с пневморессорой:

Однако, наряду с прогрессивными характеристиками, основные компоненты пневморессор обладают свойством менять свой объем и давление, а значит жесткость и упругость, в зависимости от температурных условий (рис. 3) [7].

В начальный период применения пневматических подвесок эту особенность относили к конструктивным недостаткам пневморессор, и пытались всячески бороться с этим. Однако в данной работе предлагается другой подход к решению обозначенной проблемы, поскольку вполне очевидна зависимость между жесткостью пневморессоры и температурой ее рабочего тела.



а)



б)

а – изменение объема; б – изменение давления

Рис. 3. Изменение параметров пневморессоры при изменении температурного режима:

Данное обстоятельство позволяет сделать предположение о возможности управления параметрами пневморессоры, а именно, ее жесткостью и упругостью за счет изменения температурного режима, т. е. нагрева или охлаждения рабочего тела пневморессоры.

Для обоснования вышеизложенного предположения и решения обозначенной проблемы были созданы два экспериментальных образца мотоциклов, оборудованных дополнительными пневморессорами (рис. 4).

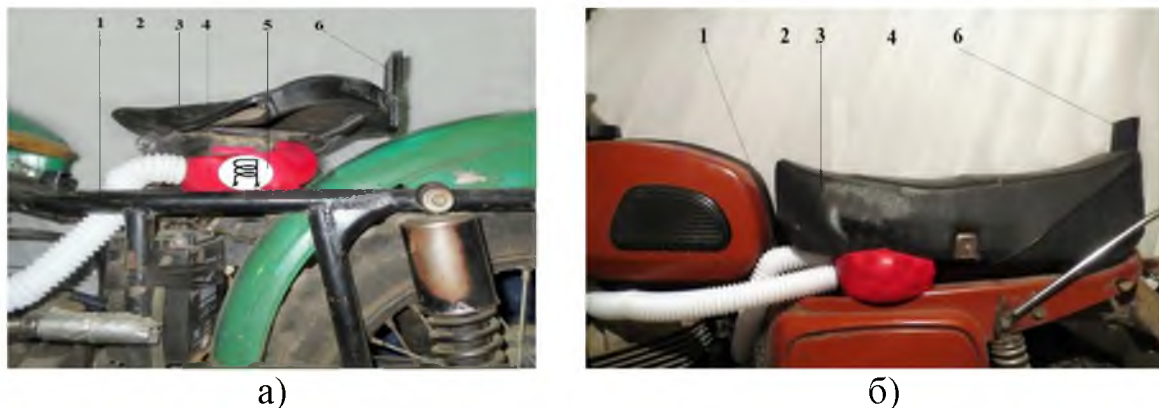


Рис. 4. Экспериментальные мотоциклы, оборудованные пневморессорой: а – на базе тяжелого мотоцикла «Урал» со встроенным в пневмокамеру нагревательным элементом; б – на базе легкого мотоцикла «Восход» с системой подогрева пневмокамеры за счет отвода тепла от двигателя

На рис. 4,а показана схема установки пневморессоры 4 между рамой 1 и креслом водителя 3. Внутри пневморессоры находится встроенный нагревательный элемент 5, работающий от бортовой электросети мотоцикла «Урал».

Охлаждение пневморессоры происходит за счет отбора и подачи по патрубку 2 холодного воздуха из набегающего при движении мотоцикла воздушного потока.

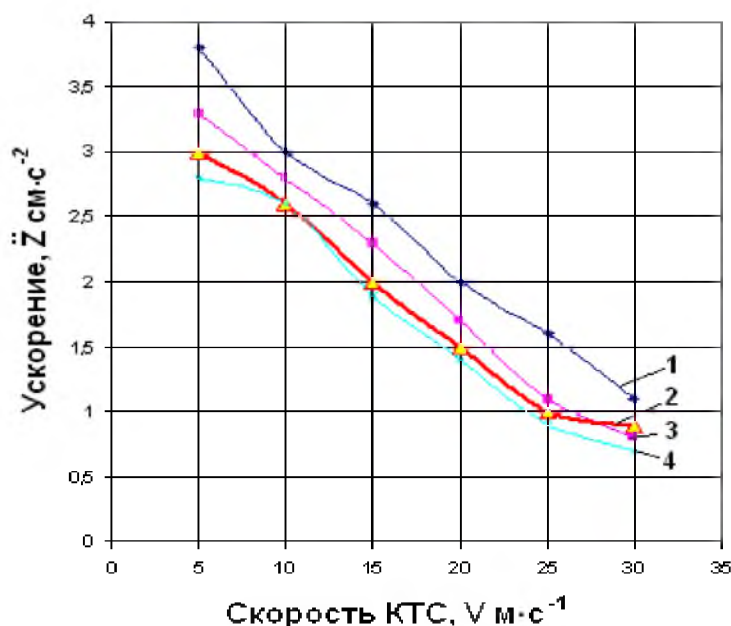
Для контроля амплитуды колебаний и ускорений поддрессоренных масс на кресло водителя 3 установлен прибор 6, анализирующий импульсные ускорения (акселерометр пиковый АП-50М).

На рис. 4,б представлена экспериментальная схема подогрева газа пневморессоры 4, работающая за счет отбора тепла двигателя легкого отечественного мотоцикла «Восход».

Предварительные дорожные испытания первого экспериментального образца на базе тяжелого мотоцикла «Урал» (рис. 5) показали, что наличие даже не регулируемого по жесткости дополнительного пневматического упругого элемента дает положительный эффект, в плане улучшения плавности хода мотоцикла, за счет снижения предельных ускорений.

Дорожные испытания проводились на участке ровного, горизонтального, асфальтированного шоссе, на скоростях движения от 0 до 100 км/ч, при температурах газа в пневморессоре 0, 10 и 20 °С. В качестве неровности, оказывающей импульсное воздействие на мотоцикл, использовался

макет стандартного «лежачего полицейского» с высотой неровности 0,07 м.



1 – стандартная подвеска; 2 – подвеска с пневморессорой при температуре газа $T = 0^\circ\text{C}$; 3 – подвеска с пневморессорой при температуре газа $T = 20^\circ\text{C}$; 4 – подвеска с пневморессорой при температуре газа $T = 10^\circ\text{C}$.

Рис. 5. Экспериментальные исследования плавности хода тяжелого отечественного мотоцикла «Урал», дополнительно оборудованного пневморессорой:

Полученные в ходе экспериментов зависимости подтверждают целесообразность модернизации подвески мотоцикла за счет управляемых пневморессор, оборудованных компенсационными системами, регулирующими объем газа пневмокамеры в зависимости от ее температуры. При этом для регулирования жесткости подвески мотоцикла изменение массы газа пневморессоры, а также массы и объема рабочей жидкости подвески не требуется.

На практике работа системы регулирования жесткости подвески мотоцикла должна осуществляться автоматически, при этом ее алгоритм должен учитывать изменение температуры газа, изменение температуры окружающей среды, переменную массу водителя, скорость движения и характеристику дороги.

Чтобы создать такой алгоритм требуются дополнительные экспериментальные исследования.

Список использованной литературы:

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение. 1972. – 392 с.; ил.

2. Диментберг Ф.М. Вибрация в технике и человек /Ф.М. Диментберг, К.В. Фролов. – М.: Изд-во «Знание». 1987. – 160 с.
3. Осипов А.Г., Королев П.В. Колебания подвески АТС при переезде «лежачего полицейского» - М.: Автомобильная промышленность. – 2014. – № 9. – С. 18–21.
4. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А.Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1985. – 112 с.
5. Изобретение пневматической подвески. Часть 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pnevmopodveska24.ru/blog/istoriya-pnevmopodvesok/istoriya-sozdaniya-pnevmopodveski-chast-1/>
6. Что, можно сказать о пневмоподвеске. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mmoto.tk/%D1%87%D1%82%D0%BE->
7. Осипов А.Г. Программное изделие для расчета характеристик гидропневматических подвесок // Сборник тезисов научных работ Иркутских вузов. – Иркутск: ИОКРСМ, 1993. – С. 128–129.

СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫЕ И ГОРНЫЕ МАШИНЫ

УДК 629.083

Современные тенденции развития строительного объемного гидропривода

Д.С. Бирюков, В.Г. Зедгенизов, С.Х. Файзов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83.

В работе представлены: рынок строительного-дорожной техники, современное состояние и анализ развития строительного объемного гидропривода.

Ключевые слова: *рынок строительного-дорожной техники, объемный гидропривод, перспективы развития.*

В настоящее время рост рынка строительного-дорожной техники продолжается. За первое полугодие 2017 года в России было произведено свыше 2,8 тыс. единиц строительного-дорожной техники, тогда как за аналогичный период прошлого года - 2,35 тыс. единиц. Например, выпуск погрузчиков увеличился в 3,7 раза – до 97 единиц, дорожных катков в 2,3 раза – до 112 единиц, экскаваторов произвели на 21% больше – 606 единиц, автопогрузчиков на 21% – 188 ед., автогрейдеров на 20% – 210 единиц, автокранов на 20% – 1239 ед., автобетоновозов на 15% – 159 ед. [1].

Однако за этот же период почти вдвое вырос импорт строительного-дорожной техники – с 6106 до 11980 единиц. Рост импорта бульдозеров составил 93% (409 единиц), катков -36% (452 единицы), экскаваторов - 208% (1162 единицы), грейдеров -183% (85 единиц), кранов 116% (41 единица), фронтальных погрузчиков -168% (1434 единицы). В денежном выражении поставки строительного-дорожной техники в Россию выросли на 58% до 40,76 млрд. руб.

Всего объем рынка строительного-дорожной техники составил 14 780 единиц, что в денежном выражении составляет 190-200 млрд. руб., при этом на долю отечественных производителей приходится только 34% объема [2].

В силу известных преимуществ объемный гидропривод получил широкое распространение в строительного-дорожных машинах. Объемный гидропривод - это комплекс конструктивно сложных и технологически трудоемких устройств, для изготовления которых необходимы высококачественные материалы, точные литые заготовки из чугуна и алюминиевых сплавов, прецизионные агрегатные станки с ЧПУ и автоматические

линии термической, механической обработки и гальванопокрытий, испытательные стенды и метрологическое обеспечение.

Возросшие в последние годы темпы создания и освоения серийного производства новых машин с гидравлическим приводом являются наглядным подтверждением научно-технического прогресса в отрасли строительного, дорожного и коммунального машиностроения.

На протяжении последних лет в России было создано и освоено производство более 100 типоразмеров новых, технически более совершенных машин с объемным гидроприводом, в том числе гусеничных и пневмоколесных одноковшовых и многоковшовых экскаваторов, стреловых самоходных кранов, одноковшовых фронтальных погрузчиков и лесопогрузчиков, автогрейдеров, грейдер-элеваторов, бульдозеров, рыхлителей, корчевателей и кусторезов, асфальто- и бетоноукладчиков, самоходных катков, снегоочистителей, снегопогрузочных, поливомоечных машин, а также машин для лесозаготовок, лесосплава и добычи торфа.

Особенно возрос выпуск одноковшовых экскаваторов с объемным гидроприводом, ускоренное развитие получили самоходные краны грузоподъемностью 6,3—100 т, комплекты машин для скоростного строительства автомобильных дорог, фронтальные погрузчики и лесопогрузчики, валочно-пакетирующие, мелиоративные, бурильные и другие машины. В результате внедрения современных технологических процессов и совершенствования гидравлического оборудования и машин с объемным гидроприводом в последние годы значительно улучшилось качество их изготовления, повысились продолжительность безотказной эксплуатации и технический ресурс.

На ближайшую перспективу предусматривается создание и освоение серийного производства более 80 типоразмеров новых машин. На основе использования гидрооборудования значительно увеличится выпуск одно- и многоковшовых экскаваторов, кранов на шасси автомобилей, погрузчиков и многих дорожных машин. Предусматривается наибольший темп наращивания объемов выпуска таких строительных машин с гидроприводом, как автобетоновозов, авторастворовозов, автобетононасосов, стрел автономных распределительных с различным вылетом, трубоукладчиков, гидрокопров и др.

В связи с ростом выпуска и расширением номенклатуры ежегодно увеличивается парк строительных и дорожных машин с объемным гидроприводом, находящихся в эксплуатации. Технический уровень объемного гидропривода и входящих в него элементов определяют по значениям параметров, характеризующих гидрооборудование в сравнении с лучшими образцами. Для этих целей обычно используют удельные стоимостные, массовые, энергетические показатели и технический ресурс. Кроме того, к весьма важным показателям эксплуатационных свойств гидрооборудования относятся диапазон регулирования и работоспособность в широком интервале изменения температуры, а также возможность дистанционного

пропорционального регулирования исполнительных механизмов машин. Основными направлениями дальнейшего развития гидрооборудования для перспективных мобильных машин с объемным гидроприводом являются [3]:

- создание унифицированного ряда регулируемых и нерегулируемых аксиально-поршневых гидромашин с наклонным блоком цилиндров и сферическим распределителем на номинальное давление 32, максимальное 40 и кратковременное (пиковое) 50 МПа с повышенным в 1,5-2 раза техническим ресурсом, в том числе предназначенных для гидроприводов с замкнутой циркуляцией и для привода ходовых систем пневмоколесных машин в качестве мотор-колес;

- раздельное и суммарное изменение рабочего объема аксиально-поршневых гидромашин путем поворота блока цилиндров совместно с распределителем, принудительно перемещающимся относительно неподвижной крышки насоса регуляторами дискретного и непрерывного действия, управляемыми автоматически в зависимости от давления в напорной гидролинии или оператором, оказывающим дистанционно управляющее воздействие с помощью блоков гидравлического или электрического управления;

- использование устройств, создающих избыточное давление во всасывающей гидролинии насосов и подпитку гидромоторов для повышения частоты их вращения;

- создание и освоение серийного производства ряда поршневых гидроцилиндров двустороннего действия общего назначения унифицированной конструкции на четыре ступени номинального давления (10, 16, 25 и 32 МПа) в соответствии с требованиями стандартов СЭВ, ГОСТ 16514—79 и ОСТ 22-1417—79 ограниченной номенклатуры;

- совершенствование конструкции секционных и моноблочных гидрораспределителей в целях расширения функциональных возможностей, повышения надежности и технического ресурса, а также создания условий для организации серийного производства на неспециализированных заводах;

- унификация регулирующих гидроаппаратов, увеличение выпуска на специализированных заводах и расширение области их применения для существенного сокращения выпускаемой номенклатуры разнотипных конструкций;

- совершенствование конструкции линейных фильтров в целях применения индикаторов загрязнения и повышения тонкости очистки рабочих жидкостей, а также разработка, освоение серийного производства и применение высокоэффективных центробежных сепараторов для очистки рабочих жидкостей в гидросистемах машин;

- повышение надежности выпускаемых рукавов высокого давления и создание новых с четырехкратным запасом прочности на номинальное давление 32 МПа [1].

При повышении номинального давления до 32 МПа снижаются габаритные размеры и масса гидрооборудования, уменьшается объем рабочей жидкости в гидросистеме, что требует, однако, более надежных уплотнений и гибких рукавов, обеспечения более тонкой фильтрации и установки специальных теплообменников для охлаждения рабочей жидкости. Последнее особенно необходимо в гидроприводах машин большой мощности, с напряженным рабочим циклом (одноковшовых и роторных экскаваторов, погрузчиков, кранов). В связи с автоматизацией технологических процессов в строительном производстве объемный гидропривод должен обладать необходимыми быстродействием и чувствительностью. Следует также иметь в виду, что на практике эффективная реализация преимуществ объемного гидропривода затруднена из-за следующих основных его недостатков:

- значительной зависимости работоспособности и надежности гидропривода от температуры окружающей среды и соответственно вязкости жидкости;

- внутренних перетечек и наружных утечек рабочей жидкости (объемных потерь мощности) вследствие возникновения нарушения герметичности системы, требующих компенсации;

- повышенной чувствительности к эксплуатационным свойствам рабочей жидкости и необходимости в постоянной фильтрации, для удаления загрязнений;

- повышенных требований к материалам, качеству изготовления деталей, а также к тщательности сборки гидрооборудования и машины.

Обычно срок службы машины определяется при проектировании, обеспечивается при изготовлении и поддерживается правильной эксплуатацией. Нарушение режима работы объемного гидропривода, несоблюдение требований его технического обслуживания, установленных нормативно-технической документацией, неизбежно влечет повреждение или отказ в работе. Поэтому повышение эффективности использования огромного парка машин с объемным гидроприводом, уменьшение трудовых и материальных затрат на поддержание их в работоспособном состоянии являются особенно актуальными. Эти задачи могут быть успешно решены, прежде всего, путем повышения:

- технического уровня эксплуатации машин, включая организацию четкой системы технической диагностики, обеспечивающей получение и анализ информации о техническом состоянии гидрооборудования при непосредственном измерении диагностических параметров на машине;

- квалификации и личной ответственности персонала, эксплуатирующего и обслуживающего машины.

Полное своевременное и точное выполнение требований, указанных в паспорте и инструкции по эксплуатации, является важным условием для безотказной работы машин и обеспечения их технического ресурса. Выполнение этих требований способствует более эффективному использова-

нию строительных, дорожных, коммунальных и других мобильных машин с объемным гидроприводом.

Вывод.

Одним из наиболее значимых усовершенствований в конструкции объемного гидропривода стало использование электроники для согласования работы систем и агрегатов машины; продолжается дальнейшее совершенствование гидравлических аппаратов и интегрированных электрогидравлических устройств управления, расширяется ассортимент клапанов; все более широкое применение находит система пропорционального управления с повышенными требованиями безопасности для обслуживающего персонала.

Список использованной литературы:

1. Электронный ресурс: <https://truck-and-bus.ru/news/analytics/19398/>
2. Электронный ресурс: <http://rcmm.ru/dorozhnoe-stroitelstvo/36381-rynok-dorozhnoy-tehniki-rossiya-silna-lish-katkami-i-greyderami.html>
3. Электронный ресурс: <http://www.gidroterra.com.ua/clause.php?id=16>

УДК 67.05; 66.041

***Динамика сыпучего материала на подовой платформе
электрической печи***

Т.Б. Брянских, В.Н. Ляпина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В статье рассмотрено решение задачи создания модели движения сыпучего материала по поверхности подовой платформы электрической печи, позволяющая с учетом экспериментальных данных, установить закономерность времени движения (термообработки) частиц от параметров колебаний платформы, «линеаризованного» коэффициента трения и эмпирического коэффициента, связывающего их.

Ключевые слова: электрическая печь, подвижная подовая платформа, колебательная система, «линеаризованный» коэффициент трения, эмпирический коэффициент.

В процессе совершенствования электрических модульно-спусковых печей появилась новая концепция энерготехнологических агрегатов с по-

движной подовой платформой, способных радикально уменьшить энергоемкость обжига вермикулита до 45...55 мДж/м³ [1]. Энергетические аспекты новой концепции уже рассматривались в ряде работ, поэтому в данной статье акцент сделан на механические процессы движения сыпучих материалов (в том числе и вермикулитовых концентраторов) в тепловом поле по поверхности подовых платформ.

Для создания поступательного движения сыпучих сред есть несколько способов [2]. Здесь рассматривается линейная колебательная система (платформа – пружины), совершающая гармонические колебания.

Колебания подовой платформы печи возбуждаются кинематическим способом ($x_1 = e \sin \omega t$), собственная частота определяется выражением:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4c + c_0}{M}}, \quad (1)$$

а амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) зависимостью [3]:

$$A_2 = \frac{c_0 e}{2\sqrt{[(4c + c_0) - M\omega^2]^2 + \alpha^2 \omega^2}}. \quad (2)$$

M – масса (кг) и c – жесткость пружин (кг/с²) платформы, c_0 – жесткость пружины толкателя, α – коэффициент трения (для платформы на телах качения коэффициент α примерно равен 346 кг/с [4]). Для построения расчетной АЧХ приняты следующие значения: масса M – 105,4 кг, суммарная жесткость пружин $4c + c_0 = 231742$ Н/м². При этом собственная частота равна 46,89 рад/с или 7,47 Гц.

Системы с таким трением обладают высокой добротностью с коэффициентом динамичности k_d 10...12 [4], определяемым отношением амплитуды A_2 к ее значению при статическом смещении платформы на величину e .

На рис. 1 показана расчетная АЧХ платформы, построенная по выражению (2). Здесь же приведена ее экспериментальная АЧХ.

Колебания платформы x_2 , ее виброскорость $\dot{x}_2$ и виброускорение $\ddot{x}_2$ – это гармонические функции: $x_2 = A_2 \sin \omega t$, $\dot{x}_2 = -\omega A_2 \cos \omega t$, $\ddot{x}_2 = -\omega^2 A_2 \sin \omega t$.

Создание транспортного эффекта сыпучей среды требует определенных условий. При пиковом виброускорении силы инерции частиц равны $m\ddot{x}_{2\max}$ и должны превышать удерживающие их силы трения mgf (m – масса частицы, кг, f – коэффициент сухого трения). Тогда частица придет в относительное движение.

В момент перед отрывом частицы справедливо условие:

$$F_{\text{И}} = m\ddot{x}_2 \leq mgf_{\text{П}} \quad (3)$$

где f_{π} – коэффициент трения в покое. В момент отрыва – справедливо равенство:

$$m\ddot{x}_{2\max} = mgf_{\pi} \quad (4)$$

а в моменты пиковых виброускорений, следующие за отрывом, – условие:

$$m\ddot{x}_{2\max} \geq mgf_{\text{д}} \quad (5)$$

где $f_{\text{д}}$ – коэффициент трения скольжения в движении, причем $f_{\text{д}} < f_{\pi}$ [5].

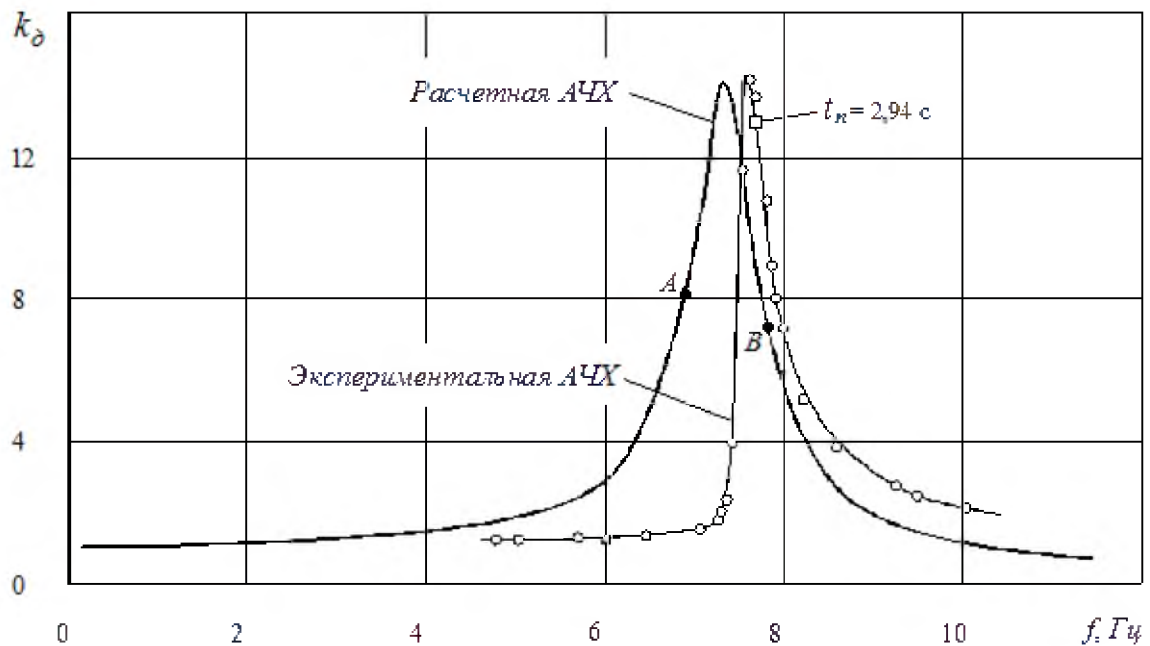


Рис. 1. Расчетная и экспериментальная АЧХ подовой платформы

Одиночная частица на наклонной поверхности самопроизвольно движется при угле наклона $\alpha = 39...45^\circ$. Если $\alpha = 19^\circ$, как у экспериментальной установки, частицы останавливаются даже при наличии начальной скорости, но при колебаниях поверхности поток частиц движется за счет «линеаризация» трения [2]. Значение «линеаризированного» коэффициента трения неизвестно и его следует найти. Обозначим его символом ξ и рассмотрим расчетную схему, рис. 2.

При движении частицы по платформе коэффициент трения снижается до ξ – это первое допущение модели. В моменты реверсирования платформы ее ускорение $\ddot{x}_2$ становится таким, что сила инерции $m\ddot{x}_{2\max}$ страгивает частицу с места и она ускоренно движется под действием сил $mg \cdot \sin \alpha$ и $\xi mg \cdot \cos \alpha$. Движение частицы происходит только внутри каждого периода колебаний T подовой платформы: это второе допущение. Скорость частицы относительно платформы в интервалах времени T оказывает влияние только на коэффициент ξ , определяемый выражением $\xi = \chi / \omega A_2$ (χ –

эмпирический коэффициент (рад·м/с), ωA_2 – амплитуда виброскорости платформы. И это *третье допущение* принятой модели.

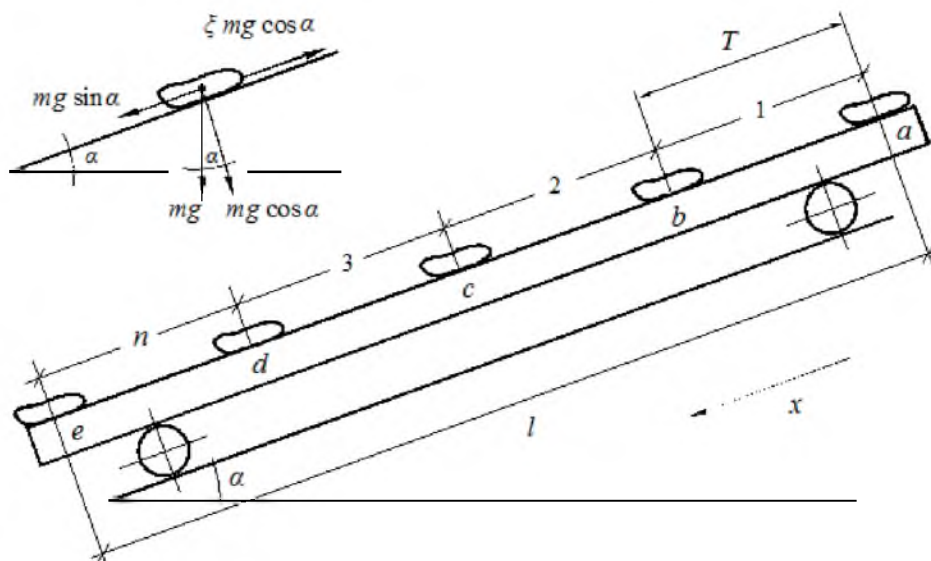


Рис. 2. Схемы сил, действующих на частицу при ее последовательных положениях на платформе

Таким образом, сплошной однослойный поток частиц термообрабатываемого материала, согласно модели, имеет пульсирующий характер: остановка, затем ускорение и т. д. Если найти перемещение частицы за время T на участках 1, 2, 3... n (рис. 2) и просуммировать их, то зная общее количество периодов, можно определить время ее полного движения.

Получим дифференциальное уравнение для одиночной частицы во временном интервале T , исходя из действующих на нее сил, рис. 2:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \alpha - \xi mg \cos \alpha, \quad (6)$$

где t – время движения частицы, $d^2 x / dt^2$ – ее ускорение в интервале времени T .

Сокращая на массу частицы m , разделяя переменные и интегрируя, получим выражения для определения ее скорости v и перемещения x . Стравивание частицы происходит при реверсировании платформы, ($\ddot{x}_2=0$) и начальная скорость для каждого участка (рис. 3) равна нулю: $v_0 = 0$, а для упрощения решения мы смещаем начало координаты x в точки a , b , c , d и e (рис. 3). Поэтому $x_0 = 0$ и решение уравнения (6) будет таким:

$$x = 0,5g(\sin \alpha - \xi \cos \alpha) \cdot t^2. \quad (7)$$

Что бы найти перемещение частицы x за один период колебаний T платформы, нужно приравнять $t = T$, тогда формула (7) примет вид:

$$x = 0,5g(\sin \alpha - \xi \cos \alpha) \cdot T^2. \quad (8)$$

Выразим период колебаний через угловую частоту $T = 2\pi/\omega$, и тогда с учетом равенства $\xi = \chi/\omega A_2$, получим окончательное выражение:

$$x = g(\sin \alpha - \frac{\chi}{\omega A_2} \cos \alpha) \frac{2\pi^2}{\omega^2}. \quad (9)$$

Количество колебаний n , за которое частица пройдет весь путь по платформе длиной L , можно найти из равенства $n = L / x$. Связь между n , полным временем движения t_{Π} и частотой колебаний платформы f , выраженной в Гц, такова:

$$n / t_{\Pi} = f. \quad (10)$$

Выражая из (10) время t_{Π} , заменим n отношением L / x и произведем подстановку $f = \omega/2\pi$, получим:

$$t_{\Pi} = \frac{2\pi L}{x\omega}.$$

Окончательное выражение для времени полного движения частицы в процессе термообработки однослойного потока сыпучего материала будет равно:

$$t_{\Pi} = \frac{L\omega}{\pi g(\sin \alpha - \frac{\chi}{\omega A_2} \cos \alpha)}. \quad (11)$$

На рис. 3. показано изменение времени t_{Π} в области резонанса (рис. 1, точки A и B) при различных значениях χ . В экспериментах при обжиге вермикулита на опытной электропечи, определено время t_{Π} , равное 2,94 с (рис. 1), что позволяет установить значения коэффициента χ . В дорезонансной зоне расчетной АЧХ в диапазоне 7,0...7,1 Гц эмпирический коэффициент χ имеет значения от 0,014 до 0,016. В зарезонансной – вариация χ от 0,013 до 0,016 соответствует диапазону частот 7,78...7,93 Гц.

Указанные диапазоны частот являются очень узкими, поэтому можно обобщить результаты и констатировать, что при собственной частоте колебаний платформы печи, равной 7,5 Гц ($\omega_0 \approx 47$ рад/с), в расчетах можно принимать значение коэффициента $\chi = 0,0145$ (значение амплитуды A_2 в резонансе равно 0,0022 м). При этом «линеаризованный» коэффициент сухого трения ξ равен 0,14.

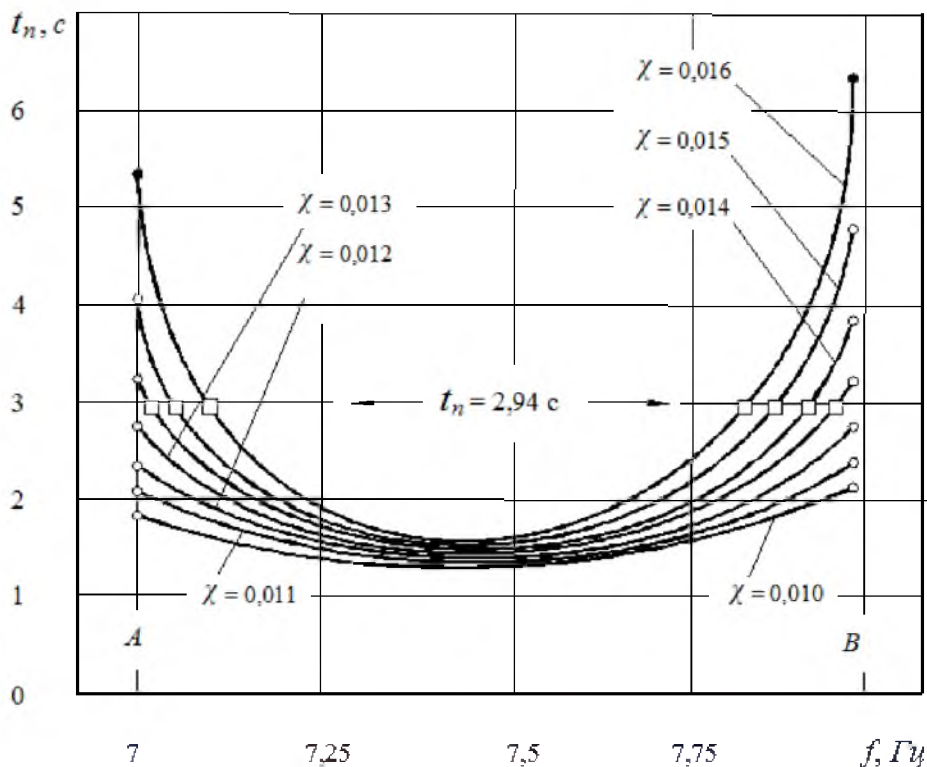


Рис. 3. Графики изменения полного времени движения частиц потока в зоне резонансного пика расчетной АЧХ

Однако, это значение ξ применимо только для режима с параметрами колебаний, указанными выше. Изменение собственной частоты подовой платформы будет приводить к другим значениям χ и ξ . Поэтому, для получения более общего решения задачи, предстоит еще установить зависимость коэффициентов χ и ξ от собственной частоты системы в рамках линейной модели.

На рис. 4 показана экспериментальная установка – опытная печь с подвижной подовой платформой, на которой проводились эксперименты.



1- под, 2- платформа, 3- рама, 4- эксцентрик, 5- пружина толкателя, 6- пружина платформы

Рис. 4. Экспериментальная установка:

Полученный результат можно считать успешным, так как на рис. 1 мы наблюдаем хорошее соответствие расчетной и экспериментальной АЧХ системы, а это указывает на приемлемость искомой аналитической модели и применимость значений коэффициентов χ и ξ в инженерных расчетах.

Список использованной литературы:

1. Nizhegorodov A. I. Electrical roasting system with vibrational batch supply. Russian engineering research. 2017. Vol. 37. No. 3, pp. 180 – 184; doi: 10.3103/S1068798X17030170
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / под. ред. В.Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под. ред. Э.Э. Лавендела. – 1981. – 509 с.
3. Ден Гартог Дж. П. Механические колебания / Дж. П. Ден Гартог. – М.: Физматгиз. – 1960. – 455 с.
4. Nizhegorodov A.I., Gavrilin A.N., Moyzes B.B. Hydrostatic Vibratory Drive of the Test Stand for Excitation of the Amplitude-Modulated Vibrations. J. Phys.: Conf. Ser. 2016. Vol. 671, article number 012037; doi: 10.1088/1742-6596/671/1/012037
5. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии / М.Б. Генералов. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. – 592 с.

УДК 629.083

Стенд для диагностики состояния рабочей жидкости

С.А. Решиков, В.М. Коротаи, А.Н. Стрельников

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83.

Разработан стенд для оценки состояния рабочей жидкости гидропривода (масла), предназначен он для определения содержания металлической стружки в масле. Стенд работает по примеру метода диагностирования по параметрам рабочей жидкости на основе закона Ома. Результаты лабораторных испытаний подтвердили работоспособность этого стенда и подтвердили целесообразность применения для диагностирования рабочей жидкости в гидравлическом приводе строительных и дорожных машин.

Ключевые слова: гидравлическое масло, электропроводность, сила тока, загрязнение рабочей жидкости, износ гидрооборудования, мультиметр, электрическое сопротивление, продукты износа.

Эксплуатационные свойства и чистота рабочих жидкостей оказывают непосредственное влияние на безотказность и технический ресурс насосов, гидромоторов, разнообразных гидроаппаратов, которые устанавливаются как на мобильных машинах, так и на стационарном производственном оборудовании. Если применяется гидрооборудование высокого класса точности, которое имеет зазоры между подвижными частями от 5 до 24 мкм, то необходимо придерживаться высоких требований к процессу очистки гидросистем машин и чистоте рабочих жидкостей. Степень влияния загрязнений на работоспособность оборудования может быть различной и зависит от их состава и размера. Загрязнение рабочих жидкостей негативно сказывается на надежности и долговечности гидросистем. Нежелательные последствия могут быть вызваны попаданием механических примесей, которые двигаются вместе с жидкостью, в зазоры движущихся деталей, на поверхности плоских пар трения, на фаски клапанов и пр. Это приводит к повышенному износу и отказам оборудования (затмение золотников, закупорка каналов малого сечения, заклинивание плунжеров, потеря герметичности клапанов).[1]

В связи с вышеизложенным, для повышения эффективности работы гидропривода в Иркутском национальном исследовательском техническом университете (ИрНИТУ), разработан стенд для определения загрязнения масла продуктами износа гидросистем.

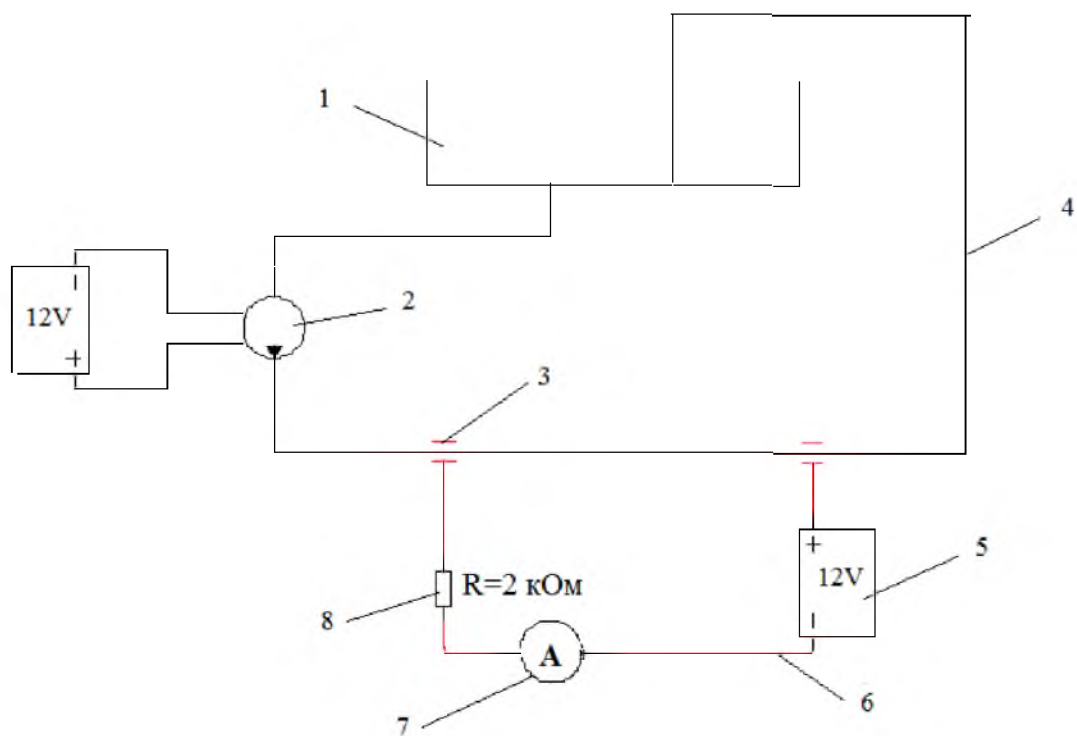


Рис. 1 - Стенд для диагностики рабочей жидкости гидропривода

На стенде (рис.1) определяют состояние гидравлического масла. Стендовый опыт заключается в перекачке насосом масла из бака через масляную магистраль обратно в бак. При движении масла через закрепленные металлические сгоны ток т.к. масло в какой то мере является диэлектриком, то металлическая стружка служит проводником. Показания снимаем с мультиметра подключенного последовательно в цепь.

Электропроводность жидких диэлектриков тесно связана со строением молекул жидкости. В неполярных жидкостях электропроводность зависит от наличия диссоциированных примесей, в том числе влаги; в полярных жидкостях электропроводность определяется не только примесями, но иногда и диссоциацией молекул самой жидкости.

Чистые жидкости являются плохими проводниками тока. Это обусловлено тем, что они состоят из электрически нейтральных атомов и молекул, движение которых не может осуществить электрический ток. Однако жидкости с растворёнными солями, кислотами или щелочами хорошо проводят ток, так как молекулы растворённого вещества диссоциируют – распадаются на положительные и отрицательные ионы. Упорядоченное движение ионов обеспечивает электрический ток.



1- бак; 2- электрический насос 12V; 3- металлический сгоны Ø16 мм; 4- резиновый шланг; 5- аккумуляторная батарея 12V; 6- электрический провод; 7- микроамперметр; 8- дополнительное сопротивление $R=2 \text{ кОм}$.

Рис.2 - Принципиальная схема стенда

При небольшой концентрации примесей коэффициент диссоциации и подвижность ионов постоянны. Следовательно, при малой концентра-

ции раствора электропроводимость пропорциональна концентрации, а при большой концентрации прямой пропорциональности не наблюдается.

Масло по своей сути это смесь углеводородов, поэтому гидравлическое масло является диэлектриком. Принцип работы заключается в том, что в масло добавляется металлическая стружка, которая движется по системе вместе с маслом. Стружка попадая в масло повышает его электропроводность. На две металлические трубки подается напряжение, которое проходит через масло и далее через последовательно подключенный мультиметр. Мультиметром замеряем силу тока проходящего через смесь рабочей жидкости и стружки.

На основе закона Ома можно сказать, что чем больше стружки в масле тем меньше его электрическое сопротивление, соответственно больше сила тока в цепи.

Закон Ома гласит: «Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка».

$$I = U/R \quad [2]$$

где: U – напряжение [В];

R – сопротивление в цепи [Ом].

В ходе проведения лабораторных исследований были получены показания микроамперметра (таблица 1).

Таблица 1 - Показания микроамперметра

$m, г$	0	20	40	60	80
I, mA					
Жидкость находится в покое	1,602	1,620	1,634	1,640	1,640
Жидкость в движении	1,594	1,612	1,628	1,632	1,633

По полученным данным был построен график зависимости силы тока от количества содержания стружки в масле (Рис.3), на котором можем наблюдать, что разница силы тока покоя и при движении незначительна и на всех участках практически одинакова, однако сам ток различен по своей величине. С увеличением объема стружки на 1 литр масла растет и сила тока. Объясняется это хорошими электропроводными качествами продуктов износа гидропривода, соответственно при попадании в жидкости диэлектрики металлические частички служат проводниками. [3]

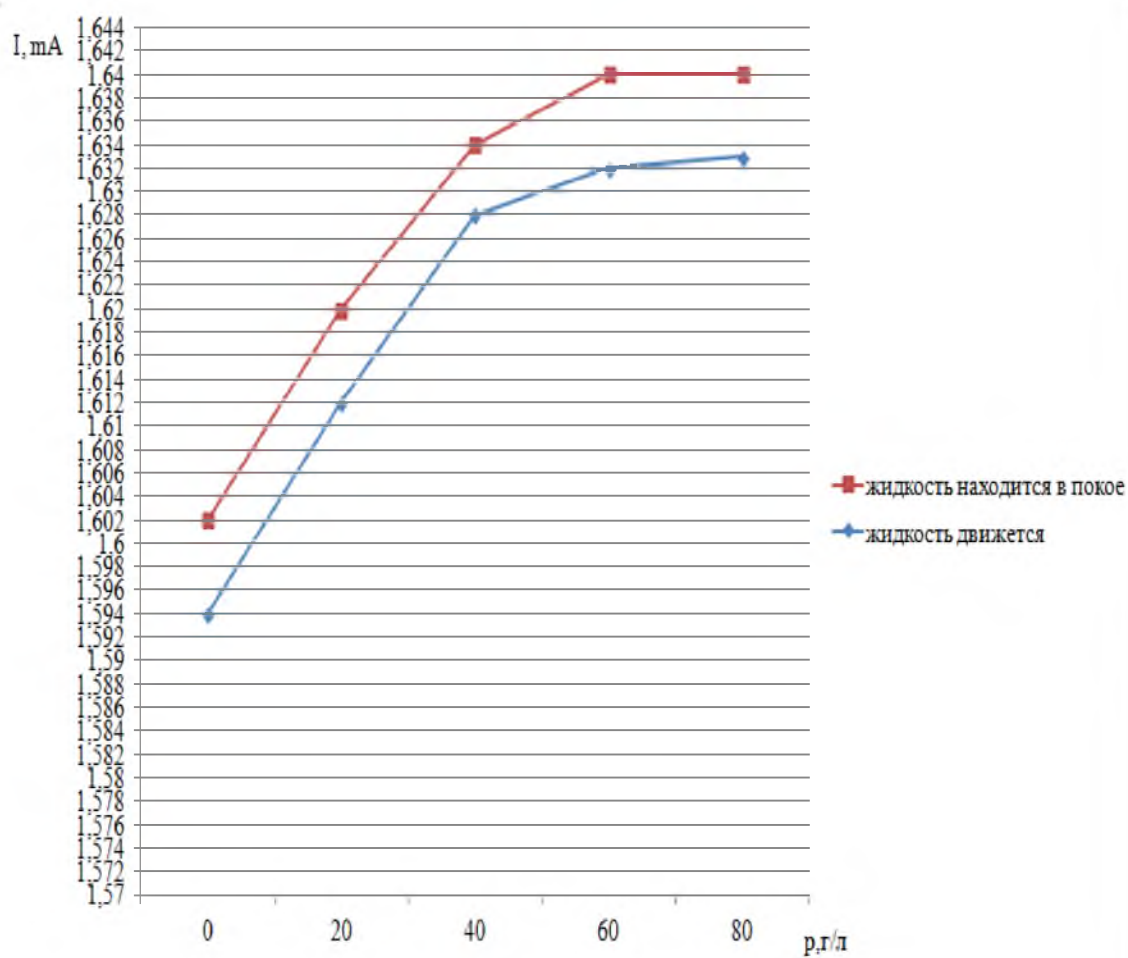


Рис. 3 - График зависимости силы тока от количества стружки в масле

В результате полученных теоретических и практических обоснований, получен способ диагностирования состояния масла по таким параметрам, как содержание продуктов износа в рабочей жидкости. Разработанный стенд позволяет определять степень загрязненности рабочей жидкости, а в сочетании контролирующим устройством предотвратить работу гидропривода на загрязненном масле. Контролирование состояния рабочей жидкости позволяет облегчить эксплуатацию, снизить риск выхода из строя элементы гидросистемы и повысить их эффективность.

Список использованной литературы:

1. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. «Техническая диагностика гидросистем». Научное издание. – Белавтотракторостроение 2000 – 120 с.:ил.
2. Квасников И.А., « Введение в теорию электропроводности и сверхпроводимости». М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.-216 с.
3. Новикова С.Ю., «Физика диэлектриков». Электронное издание, М: 2007 – 81 с.

Производственные процессы повышенной опасности, связанные с использованием грузоподъемных кранов и подъемников

А.С. Худченко, К.А. Сериков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье рассматривается процесс эксплуатации грузоподъемных кранов и подъемников, в местах действия опасных производственных факторов. Не соблюдение требований безопасности при эксплуатации подъемных сооружений приведение к авариям и их последствиям.

Ключевые слова: эксплуатация, границы опасных зон, краны, подъемники, опасные производственные факторы, аварии

В проблеме осуществления научно-технического прогресса значительная роль отводится подъемно-транспортному машиностроению, перед которым поставлена задача широкого внедрения во всех областях народного хозяйства комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, ликвидации ручных погрузочно-разгрузочных работ и исключения тяжелого ручного труда при выполнении основных и вспомогательных технологических операций.

Правильный выбор подъемно-транспортного оборудования влияет на нормальную работу и высокую продуктивность производства.

Ежегодно подъемными кранами и подъемниками перемещаются миллиарды тонн грузов, с их помощью строятся миллионы квадратных метров жилья и других объектов. Однако безопасность труда при использовании кранов и подъемников остается серьезной проблемой, вызывающей большую тревогу.

Обеспечение безопасности труда при использовании грузоподъемных машин и других средств механизации, подконтрольных органам Ростехнадзора, должна производиться с учетом требований нормативных документов, утвержденных этим органом, а также соответствующих СНиП.

Основная задача обеспечения безопасности труда при использовании кранов и подъемников непосредственно заключается, в оценке наличия опасных и вредных факторов при использовании кранов и подъемников и, при наличии этих факторов, разработке соответствующих решений по охране труда.

Границы опасных зон вблизи движущихся частей машин и оборудования определяются в пределах 5 м, если другие требования в паспорте или инструкции завода-изготовителя отсутствуют.

Опасные зоны — опасные для людей зоны, в которых постоянно действуют или потенциально могут действовать опасные факторы, связанные или не связанные с характером выполняемых работ. Зоны постоянно действующих опасных производственных факторов:

- места вблизи от неизолированных токоведущих частей электроустановок;
- места вблизи от не ограждённых перепадов по высоте 1,3 м и более;
- места, где возможно превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ в рабочей зоне.

Зоны потенциально опасных производственных факторов:

- участки территории вблизи строящегося здания (сооружения);
- этажи (ярусы) зданий и сооружений в одной захватке, над которыми происходит монтаж (демонтаж) конструкций или оборудования;
- зоны перемещения машин, оборудования или их частей, рабочих органов;
- места, над которыми происходит перемещение грузов кранами.

Таким образом, зоны работы кранов и подъемников являются зонами потенциально опасных производственных факторов, а также в ряде случаев могут попадать в разряд зон, постоянно действующих опасных производственных факторов (например, когда краны оказываются вблизи неизолированных токоведущих частей установок).

На выполнение работ в зонах действия опасных производственных факторов, возникновение которых не связано с характером выполняемых работ, должен быть выдан наряд-допуск.

Одной из самых острых проблем в строительстве остается аварийность и травматизм при установке, работе, демонтаже кранов и подъемников.

За эксплуатацией и изготовлением подъемно-транспортных устройств установлен специальный государственный технический надзор (Ростехнадзор). С целью усиления контроля за безопасностью эксплуатации подъемных устройств, Ростехнадзором, на основании «Правил безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» (Приказ от 12 ноября 2013 г. N 533) [4], осуществляются периодические обследования предприятий, где эксплуатируются зарегистрированные в органах надзора грузоподъемные машины. Рассмотрим несколько случаев аварий при эксплуатации грузоподъемных кранов.

Рассмотрим несколько случаев аварий при эксплуатации грузоподъемных кранов. Аварии башенных кранов (рис. 1), связанных с нарушением правил безопасности работ при их демонтаже рухнул на кровлю 7-го этажа подиума на северной стороне основного здания. Машинисты обоих кранов вместе с тремя другими рабочими погибли, 23. Этот случай падения башенного крана HDT-70 компании «Potain» (Франция) произошел 7 декабря 2003 года в Москве. На рис. 1 представлены аварии кранов, связанные с нарушением правил безопасности работ при их демонтаже [3].



а)



б)

Рис. 1. Аварии башенных кранов, связанных с нарушением правил безопасности работ при их демонтаже.

На рис. 2 показаны обстоятельства падения с высоты 250 м двух башенных кранов при строительстве самого высокого здания в мире [3]. Оба крана работали на 54 этаже металлического каркаса, строящегося 507 метрового здания Тайпейского финансового центра на Тайване (рис.2а). Краны оторвались при толчке землетрясения силой 6,8 балла по шкале Рихтера. Один упавший кран разбил пять автомобилей (рис.2б) на прилегающей городской магистрали.



а)



б)

а – общий вид строящегося здания; б – последствия аварии.

Рис.2. Аварии двух башенных кранов при строительстве самого высокого здания (507м) в мире (Тайвань) [5]

На рис.3 показаны последствия потери устойчивости башенного крана и его падение из-за просадки его опорных элементов [3].



Рис. 3. Аварии башенных кранов, связанных с нарушением правил безопасности работ при их демонтаже

25.09.14 г. Тульская область, г. Богородецк, при производстве работ по опилровке деревьев с применением незарегистрированного в органах Ростехнадзора автогидроподъемника АГП-18 произошло резкое падение верхнего колена стрелы и люльки с находившимися в ней двумя работниками.

1) Несоблюдение требований безопасности для обеспечения защиты от воздействия опасных производственных факторов - падение спиленной части ствола дерева на перила ограждение люльки, привязывание к перилам люльки отпиливаемых сучьев, находящихся над кровлей жилого дома, что значительно добавляло нагрузку на люльку;

2) отсутствие технологической карты и проекта производства работ с применением подъемников (вышек) по формированию крон, обрезке и валке деревьев;

3) производство работ в отсутствие руководителя (мастера);

4) необеспечение содержания подъемника в работоспособном состоянии путем организации надлежащего обслуживания и ремонта;

5) неприменение пострадавшими работниками СИЗ.

Один погиб, второй человек получил травмы.

В 2014 г. в организациях, эксплуатирующих подъемные механизмы произошло 34 аварии, материальный ущерб составил 50 млн. руб. [2].

Анализ производственных процессов повышенной опасности, с использованием грузоподъемных машин показывает, что возникшие аварии кранов чаще всего являются следствием неудовлетворительных обслуживания, монтажа и ремонта.

Если раньше для поддержания башенного крана и других кранов в работоспособном состоянии можно было ограничиться текущими или полнокомплектными ремонтами, то в настоящее время должны выполняться в полном объеме все предписанные профилактические и ремонтные работы, в том числе капитально-восстановительные работы кранов с разборкой и диагностированием состояния узлов конструкций.

Опыт, приобретенный в последующие годы, показал, что, руководствуясь нормативными техническими документами, можно обеспечить безопасную эксплуатацию кранов на определенном этапе до очередного обследования.

Список используемой литературы:

1. Н.А. Шишков Пособие для крановщиков (машинистов) по безопасной эксплуатации стреловых кранов, М: ПИО ОБТ, 2002.
2. «Основные причины и нарушения, которые привели к авариям и инцидентам при эксплуатации кранов» Милованова Ирина Михайловна государственный инспектор Челнинского территориального отдела Приволжского управления Ростехнадзора Ежемесячный производственно-технический журнал «Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда», № 8 (105), октябрь, 2015 г.
3. Ройтман В.М., Умнякова Н.П., Чернышева О.И. Безопасность труда на объектах городского строительства и хозяйства при использовании кранов и подъемников. Учебно-методическое, практическое и справочное пособие. М: 2005.
4. Приказ от 12 ноября 2013 г. N 533 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».

УДК 629.083

Диагностирование аксиально-поршневого насоса вибраакустическим методом

С.Х. Файзов, М.Р. Багаутдинов А.Н. Стрельников, В.Н. Ляпина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83.

В работе представлены результаты диагностирования аксиально-поршневого насоса вибраакустическим методом. Получена экспериментальная зависимость уровня вибрации корпуса насоса типа 210.18 и методом Фурье аппроксимирована теоретическая зависимость.

Ключевые слова: *уровень вибрации, гармоника, амплитуда, спектральный анализ.*

Диагностика технического состояния аксиально-поршневого насоса заключается в контроле уровня вибрации корпуса насоса. Повышенная вибрация может привести к возникновению износа движущихся элементов насоса, турбулентности потока рабочей жидкости, перераспределения энергии при изменении направления движения жидкости.

Для периодического контроля и анализа аксиально-поршневых насосов применяются портативные микропроцессорные анализаторы. С их помощью можно провести измерение уровня вибрации, проанализировать состояния насоса, выявить дефекты подшипников и качающего узла.

Основными источниками диагностической информации, характеризующими текущее техническое состояние механизмов являются сигналы вибрации. Обусловлено это тем, что вибрация является следствием взаимодействия различных сил в самом механизме, несет в себе информацию о состоянии как механизма в целом, так и его отдельных кинематических связей, узлов и деталей. При этом теория и практика анализа вибросигналов разрешает получить достоверную информацию практически по любому дефекту монтажа, изготовления или износа. Сложность заключается в обработке данных анализа и получения достоверной информации о техническом состоянии насоса.

Для получения информации необходимо замерить уровень вибрации на корпусе насоса. Спектральный анализ – это наиболее распространенный метод обработки сигнала, что позволяет определить частотный состав сигнала. Выявление повышенных амплитуд вибраций на частотах, совпадающих с частотами возможных повреждений в элементах, резонансных частотах деталей на частотах протекания рабочего процесса помогает обнаружить дефекты на ранней стадии зарождения и их развития.

Решение задач спектрального анализа возможно при использовании метода Фурье или быстрого преобразования Фурье (БПФ), позволяющего определить вклад отдельных гармоник в общую картину вибрации.

С помощью метода Фурье вибрационный сигнал можно разложить на простейшие составляющие (синусоиды) его колебания различной частоты и амплитуды. Результатом является построение графика зависимости амплитуды колебаний от их частоты, которую называют спектром.

Целью экспериментальных исследований является получение диаграммы изменения виброускорения корпуса гидронасоса во времени и аппроксимация экспериментальной кривой при помощи гармонического анализа.

Для проведения экспериментальных исследований разработан и изготовлен стенд (рисунок 1). Стенд состоит из трехфазного асинхронного электродвигателя, который через клиноременную передачу приводит во вращение приводной вал диагностируемого гидронасоса типа 210.18. На

корпусе насоса установлены датчики вибрации типа AP85-100, показания которых регистрируются модулем ввода С-серии NI 9234.



Рис. 1. Стенд для испытания элементов гидропривода

В результате получена экспериментальная зависимость (рисунок 2).

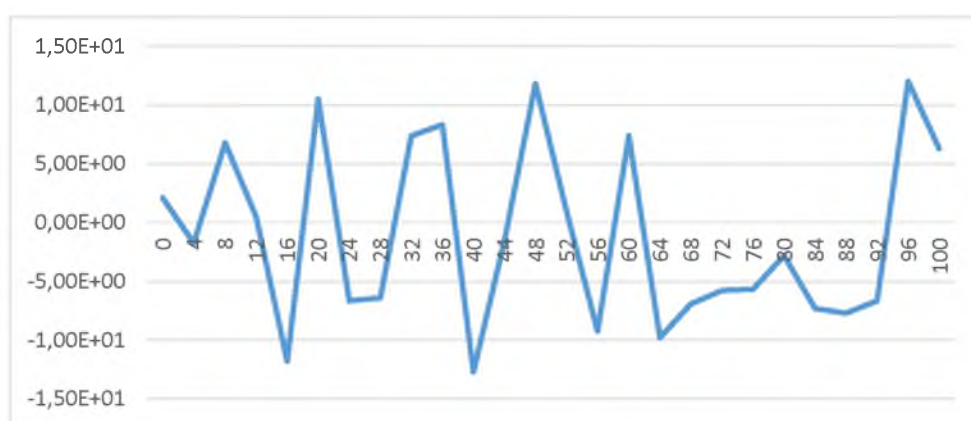


Рис. 2. Экспериментальная зависимость

При обработке экспериментальных данных использован метод Фурье, который доказал, что любую периодическую функцию можно описать набором синусоид (гармоник) с различными амплитудами, фазами и частотами:

$$y_n = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N a_n \cos(n \frac{2\pi}{T} t) + \sum_{n=1}^N b_n \sin(n \frac{2\pi}{T} t) \quad (2)$$

где: a_0 , a_n и b_n – коэффициенты Фурье; n – номер гармоники; N –число наблюдений, T – период.

$$a_0 \approx \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N y_n \quad (3)$$

$$a_n \approx \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N y_n \cos(n \frac{2\pi}{T} t) \quad (4)$$

$$b_n \approx \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N y_n \sin(n \frac{2\pi}{T} t) \quad (5)$$

Амплитуда гармоник может быть определена, как:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6)$$

На рисунке 3 представлен фрагмент обработки данных в MS Excel.

Метод Фурье датчик 12 x																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	T=	25		n=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
2	N=	25			a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	b1	b2	b3
3	Δt=	1		an, bn	-2,48E+00	5,70E-01	3,46E+00	1,37E+00	2,30E+00	2,62E-01	2,31E+00	-3,53E+00	-3,94E-01	6,10E-01	2,19E+00	2,82E+00	-8,83E-02	2,06E-02
4				A0=	-2,34E+00	2,872899	3,459598	1,369317	2,475732	1,560606	2,960903	4,011345	6,745394	0,816583	2,444333			
5	n	tn	yn															
6	0	0	2,09E+00		2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,09E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7	1	4	-1,76E+00		-1,76E+00	-1,70E+00	-1,54E+00	-1,28E+00	-9,43E-01	-5,44E-01	-1,11E-01	3,30E-01	7,49E-01	1,12E+00	1,42E+00	-4,37E-01	-8,47E-01	-1,20E+00
8	2	8	5,77E+00		6,77E+00	5,93E+00	3,63E+00	4,25E-01	-2,88E+00	-5,48E+00	-6,72E+00	-6,29E+00	-4,32E+00	-1,27E+00	2,09E+00	3,26E+00	5,71E+00	6,76E+00
9	3	12	4,66E-01		4,66E-01	3,40E-01	2,93E-02	-2,97E-01	-4,62E-01	-3,77E-01	-8,73E-02	2,50E-01	4,51E-01	4,08E-01	1,44E-01	3,19E-01	4,65E-01	3,59E-01
10	4	16	-1,18E+01		-1,18E+01	-6,32E+00	5,02E+00	1,17E+01	7,52E+00	-3,65E+00	-1,14E+01	-8,60E+00	2,21E+00	1,10E+01	9,55E+00	-9,96E+00	-1,07E+01	-1,50E+00
11	5	20	1,05E+01		1,05E+01	3,24E+00	-8,49E+00	-8,49E+00	3,24E+00	1,05E+01	3,24E+00	-8,49E+00	-8,49E+00	3,24E+00	1,05E+01	9,98E+00	6,18E+00	-6,16E+00
12	6	24	-6,66E+00		-6,66E+00	-4,18E-01	6,61E+00	1,25E+00	-6,45E+00	-2,06E+00	6,19E+00	2,84E+00	-5,84E+00	-3,57E+00	5,39E+00	-6,65E+00	-8,45E-01	6,54E+00
13	7	28	-5,43E+00		-6,43E+00	1,20E+00	5,98E+00	-3,45E+00	-4,69E+00	5,20E+00	2,74E+00	-6,23E+00	-4,04E-01	6,38E+00	-1,99E+00	-6,32E+00	2,36E+00	5,44E+00
14	8	32	7,37E+00		7,37E+00	-3,14E+00	-4,70E+00	7,14E+00	-1,38E+00	-5,96E+00	6,46E+00	4,63E-01	-6,85E+00	5,37E+00	2,28E+00	6,67E+00	-5,67E+00	-1,85E+00
15	9	36	8,32E+00		8,32E+00	-5,30E+00	-1,56E+00	7,29E+00	-7,74E+00	2,57E+00	4,46E+00	-8,25E+00	6,07E+00	5,22E-01	-6,73E+00	6,42E+00	-8,17E+00	3,98E+00
16	10	40	-1,27E+01		-1,27E+01	1,03E+01	-3,92E+00	-3,92E+00	1,03E+01	-1,27E+01	1,03E+01	-3,92E+00	-3,92E+00	1,03E+01	-1,27E+01	-7,48E+00	1,21E+01	-1,21E+01
17	11	44	-1,58E+00		-1,58E+00	1,47E+00	-1,15E+00	6,73E-01	-9,92E-02	-4,88E-01	1,01E+00	-1,38E+00	1,57E+00	-1,53E+00	1,28E+00	-5,84E-01	1,08E+00	-1,43E+00
18	12	48	1,18E+01		1,18E+01	-1,17E+01	1,14E+01	-1,10E+01	1,03E+01	-9,55E+00	8,60E+00	-7,52E+00	6,32E+00	-5,02E+00	3,65E+00	1,50E+00	-2,97E+00	4,39E+00
19	13	52	9,78E-01		9,78E-01	-9,70E-01	9,47E-01	-9,09E-01	8,57E-01	-7,91E-01	7,13E-01	-6,23E-01	5,24E-01	-4,16E-01	3,02E-01	-1,21E-01	2,40E-01	-3,56E-01
20	14	56	-9,26E+00		-9,26E+00	8,61E+00	-6,75E+00	3,94E+00	-5,81E-01	-2,86E+00	5,90E+00	-8,11E+00	9,19E+00	-8,97E+00	7,49E+00	3,39E+00	-6,31E+00	8,36E+00
21	15	60	7,38E+00		7,38E+00	-5,97E+00	2,28E+00	2,28E+00	-5,97E+00	7,38E+00	-5,97E+00	2,28E+00	2,28E+00	-5,97E+00	7,38E+00	-4,33E+00	7,01E+00	-7,03E+00
22	16	64	-9,80E+00		-9,80E+00	6,25E+00	1,84E+00	-8,59E+00	9,11E+00	-3,03E+00	-5,25E+00	9,72E+00	-7,14E+00	-6,15E-01	7,93E+00	7,54E+00	-9,63E+00	4,77E+00
23	17	68	-6,93E+00		-6,93E+00	2,95E+00	4,42E+00	-6,71E+00	1,30E+00	5,61E+00	-6,07E+00	-4,35E-01	6,44E+00	-5,05E+00	-2,14E+00	6,26E+00	-5,36E+00	-1,68E+00
24	18	72	-5,80E+00		-5,80E+00	1,09E+00	5,39E+00	-3,11E+00	-4,23E+00	4,69E+00	2,47E+00	-5,62E+00	-3,64E-01	5,75E+00	-1,79E+00	5,69E+00	-2,16E+00	-4,88E+00
25	19	76	-5,68E+00		-5,68E+00	-3,57E-01	5,64E+00	1,06E+00	-5,50E+00	-1,76E+00	5,28E+00	2,42E+00	-4,98E+00	-3,04E+00	4,60E+00	5,67E+00	6,85E-01	-5,59E+00
26	20	80	-2,82E+00		-2,82E+00	-8,71E-01	2,28E+00	2,28E+00	-8,71E-01	-2,82E+00	-8,71E-01	2,28E+00	2,28E+00	-8,71E-01	-2,82E+00	2,68E+00	1,65E+00	-1,67E+00
27	21	84	-7,31E+00		-7,31E+00	-3,92E+00	3,11E+00	7,25E+00	4,66E+00	-2,26E+00	-7,08E+00	-5,33E+00	1,37E+00	6,80E+00	5,91E+00	6,18E+00	6,60E+00	8,58E-01
28	22	88	-7,73E+00		-7,73E+00	-5,63E+00	-4,85E-01	4,93E+00	7,67E+00	6,25E+00	1,45E+00	-4,14E+00	-7,49E+00	-6,77E+00	-2,39E+00	5,31E+00	7,72E+00	5,91E+00
29	23	92	-6,66E+00		-6,66E+00	-5,84E+00	-3,57E+00	-4,18E-01	2,84E+00	5,39E+00	6,61E+00	6,19E+00	4,25E+00	1,25E+00	-2,06E+00	3,23E+00	5,64E+00	6,65E+00
30	24	96	1,20E+01		1,20E+01	1,16E+01	1,05E+01	8,75E+00	6,43E+00	3,71E+00	7,53E-01	-2,25E+00	-5,11E+00	-7,65E+00	-9,71E+00	-3,02E+00	-5,85E+00	-8,29E+00

Рис. 3. Фрагмент обработки данных в MS Excel

Амплитудный спектр (рисунок 4) показывает, что все десять гармоник значимы и участвуют в описании процесса.

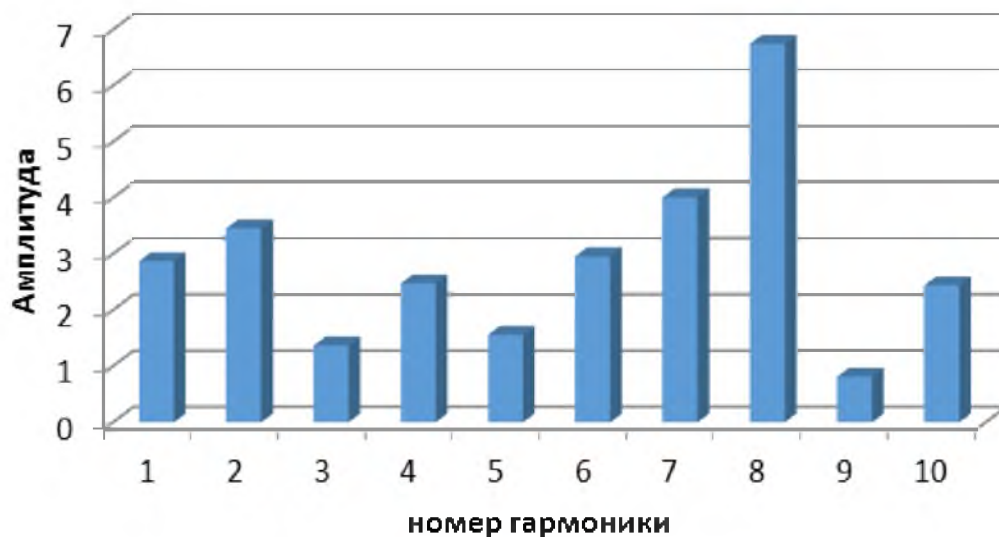


Рис. 4. Амплитудный спектр

Из гистограммы следует, что в формировании искомой кривой участвуют следующие гармоники: первая ($a_1=0,57$), вторая ($a_2=3,46$), третья ($a_3=1,37$), четвёртая ($a_4=2,30$), пятая ($a_5=0,26$), шестая ($a_6=2,31$), седьмая ($a_7=-3,53$), восьмая ($a_8=-0,39$), девятая ($a_9=0,61$), десятая ($a_{10}=2,19$). Используя вычисленные коэффициенты, уравнение кривой (при $T=25$):

$$\begin{aligned}
 y_t = & \frac{1,57}{2} + 0,57 \cos\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) + 2,82 \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 3,46 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + (-0,08) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 1,37 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + 0,02 \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 2,30 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + 0,9 \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 0,26 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + (-1,54) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 2,31 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + (-1,85) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + (-3,53) \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + 1,9 \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + (-0,39) \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + (-6,73) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) + 61 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + (-0,54) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right) \\
 & + 2,19 \cos\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + (-1,08) \sin\left(1 \frac{2\pi}{T} t\right)
 \end{aligned}$$

На рисунке 5 представлена искомая кривая, построенная по уравнению в среде «Mathcad».

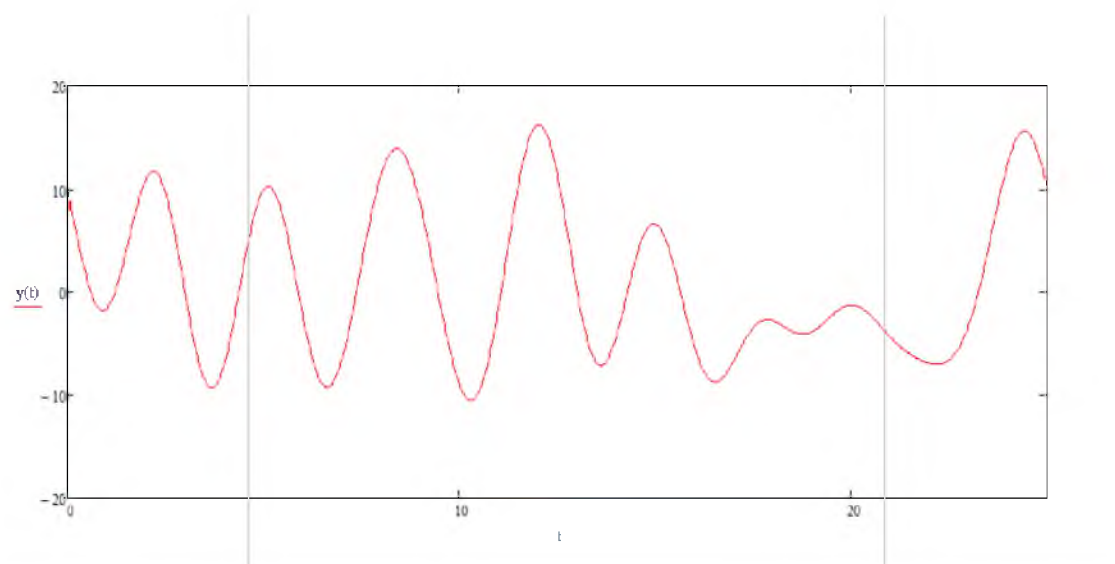


Рис. 5. Теоретическая зависимость

Вывод.

Сравнение теоретической и экспериментальной зависимостей показывают их удовлетворительную сходимость.

Список использованной литературы:

1. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем: Научное издание. -Мн.: Белавтотракторостроение, 2000.-120с.: ил.
2. Диагностика технологических систем: учебное пособие Часть 2 / А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.
3. Харазов А.М., Техническая диагностика гидроприводов машин.- М.: Машиностроение, 1979.-1с.: ил

МЕНЕДЖМЕНТ И ЛОГИСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.025.1

К вопросу о зарубежном опыте оценки качества работы пассажирского транспорта в городах

В.С. Булдакова, А.М. Боброва, М.И. Шаров

Иркутский национальный исследовательский университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Проведен анализ зарубежных методик по оценке качества работы общественного транспорта. Целью данного анализа – получить количественную оценку качества обслуживания общественным транспортом, с позиции обычных потребителей. В нашей практике все-таки, акцент делается на эффективность работы транспортных предприятий, а не на пассажиров общественного транспорта. Рассмотренные методики позволяют оценить участки УДС, которые незамедлительно требуют реконструкции, а также других конструктивных решений, которые в дальнейшем позволят повысить качество предоставленных услуг.

Ключевые слова: *улично-дорожная сеть, общественный транспорт, уровень обслуживания, транспортная система, уровень доступности, транспортный спрос, потребность, пассажиры.*

На сегодняшний день наблюдается рост объема перевозок, сокращение территории города, повышение уровня загрязнения воздуха, сокращение финансирования, в связи с этим специалисты в области транспортного планирования ищут альтернативные способы оценки эффективности транспортных процессов.

Общество все в большей степени повышает зависимость от развития транспортных систем, начиная от поездок на работу, удовлетворения энергетических потребностей и заканчивая распределением ресурсов между промышленными и торговыми предприятиями и заводами. Как следствие, постоянное совершенствование транспортных систем является основой развития глобальной экономики.

Основная функция транспортных систем - это преодоление пространства. Такое пространство может быть ограничено человеческими и физическими факторами, такими как: расстояние, время, административными границами, топологией территории и др. Однако данные факторы могут создать ограничения лишь частично, в зависимости от стоимости для преодоления этих ограничений (стоимость выражается во: временном, денежном эквиваленте и т.д.) [1,2].

Таким образом, одной из главных задач функционирования транспортных систем является удовлетворение потребности, то есть спроса в обеспечении мобильности пассажиров, грузов и информации.

Транспорт играет важнейшую роль в освоении и организации пространств и территорий, которые могут варьироваться в зависимости от уровня их развития.

Привлекательный общественный транспорт это неотъемлемая часть выбора потребителями данной сферы услуг. Привлекательность для пассажиров может характеризоваться такими параметрами, как: скорость передвижения, наличие доступного и удобного расписания, комфорт перемещения, соответствующая цена, доступность, а также безопасность поездок.

Штутгартским государственным университетом [3,4] был произведен анализ качества предоставляемых транспортных услуг в крупных городах, таких как: Берн, Брюссель, Будапешт, Кельн, Копенгаген, Лейпциг, Лиссабон, Любляна, Лондон, Мадрид, Мюнхен, Осло, Париж, Прага, Рим, Варшава, Вена и Загреб.

Целью данного анализа является: получение количественной оценки качества обслуживания общественным транспортом, с позиции обычных пассажиров, туристов, инвалидов.

Данный анализ проводился по следующим критериям:

- Качество оказываемых услуг (время ожидания, регулярность и т.д.) и время передвижения, наличие маршрутов движения (рис. 1);
- Пересадочность (количество, возможность, затрачиваемое время) (рис. 2);
- Качество информации о маршрутах движения;
- Билеты и стоимость поездки.

Североамериканская практика транспортного планирования большое внимание уделяет оценке качества работы пассажирского транспорта. Важным документом в рассматриваемой сфере является TCQSM; Kittelson & Associates 2003. Главным аспектом является то, что оценка проводится в терминах пользователей услуг общественного транспорта [5,6].

Как признается в TCQSM, оценка качества работы пассажирского транспорта является сложной задачей, так в процесс его работы задействованы несколько участников (перевозчики, пассажиры, подвижной состав и т.д.), а также широкий круг показателей (уровень комфорта, надежность, доступность и т.д.), которые также необходимо учитывать. Данная методология применима к общественному транспорту работающему, как в смешанных условиях движения, так и работающему по выделенным полосам и остановкам на улицах. Она состоит из трех последовательных этапов (рис. 3). При работе нескольких разных маршрутов общественного транспорта на участке улично-дорожной сети, оценка проводится для каждого маршрута в отдельности.

Übersicht		Продолжительность						
Einzelstrecke		Wegkarte	Datum	Zeit	Dauer	Stops	mit	1. Preis
Детали	Вокзал / Остановка	Карта	Дата	Время	Пересадки	C		Тариф
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	H 06:42	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		K 07:24				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	H 06:52	0:29	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		K 07:21				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	H 06:52	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		K 07:34				1,40 €
☒	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:02	0:29	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 07:31				1,40 €
☒	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:02	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 07:44				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:12	0:32	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 07:44				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte		ab 07:12	0:42	1		2,30 €
								1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte		ab 07:32	0:29	2		2,30 €
								1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:32	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:14				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:42	0:29	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:11				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:42	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:24				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:52	0:29	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:21				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 07:52	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:34				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 08:02	0:29	2		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:31				1,40 €
☐	Frankfurt (Main) Frauenfriedenskirche	Umgebungskarte	10.12.09	ab 08:02	0:42	1		2,30 €
	Frankfurt (Main) Rothschildallee	Umgebungskarte		an 08:44				1,40 €

29 мин. время поездки / с 2 пересадками: 5 поездок

42 мин. время поездки / с 1 пересадками: 6 поездок

32 мин. время поездки / с 2 пересадками: 1 поездка

Количество поездок: 12

Средний интервал: 5 мин

Среднее время передвижения: 35,75 мин

Среднее частота пересадок: 1,5

Средняя стоимость проезда: 2,3 евро

29 мин. время поездки / с 2 пересадками: 5 поездок

42 мин. время поездки / с 1 пересадками: 6 поездок

32 мин. время поездки / с 2 пересадками: 1 поездка

Количество поездок: 12
Средний интервал: 5 мин
Среднее время передвижения: 35,75 мин
Среднее частота пересадок: 1,5
Средняя стоимость проезда: 2,3 евро

Рис. 1. Пример анализа поездок в г. Франкфурт

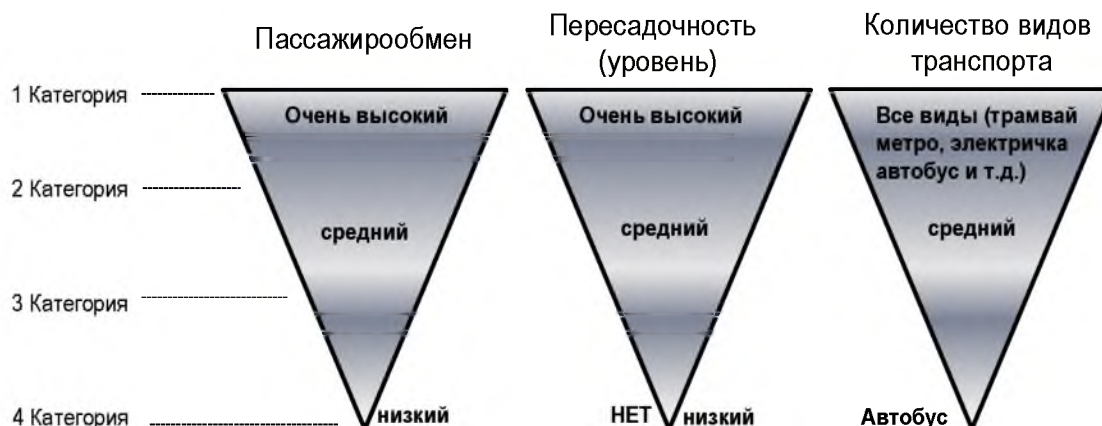


Рис. 2. Деление на типы остановочных пунктов

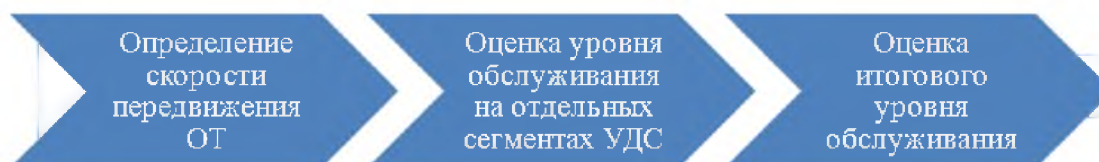


Рис. 3. Методология по оценке качества работы пассажирского транспорта

На первом этапе необходимо определить скорость передвижения ОТ.

Данный этап определяется отношением длины рассматриваемого участка ко времени проезда по этому участку. Данная скорость учитыва-

ет, как время прохождения участка, так и другие задержки движения общественного транспорта, которые могут возникать вовремя его работы.

Скорость передвижения оценивается по формуле 1

$$S_{Tl,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{Tl,seg,i}}}, \quad (1)$$

где $S_{Tl,F}$ - скорость передвижения участка (км/ч);
 L_i - длина сегмента участка УДС (км);
 m – количество сегментов на участке;
 $S_{Tl,seg,i}$ - скорость передвижения на отдельном сегменте (км/ч).

На втором этапе – необходимо оценить уровень обслуживания на отдельных сегментах УДС.

На данном шаге вычисляется уровень обслуживания на отдельных сегментах оцениваемого участка УДС. Данный уровень обслуживания рассчитывается по формуле 2:

$$I_{t,F} = \frac{\sum_{i=1}^m I_{t,seg,i} L_i}{\sum_{i=1}^m L_i}, \quad (2)$$

где $I_{t,F}$ – средневзвешенный уровень обслуживания отдельных сегментов;

$I_{t,seg,i}$ – уровень обслуживания отдельного сегмента;

Третий этап – Итоговый уровень обслуживания

В таблице 1 приведены значения средневзвешенного уровня обслуживания, соответствующие итоговому значению для общественного транспорта.

Таблица 1 - Значения уровня обслуживания для ОТ

№	Итоговый уровень обслуживания (LOS)	Средневзвешенный уровень обслуживания
1	A	≤ 2.00
2	B	$> 2.00 - 2.75$
3	C	$> 2.75 - 3.50$
4	D	$> 3.50 - 4.25$
5	E	$> 4.25 - 5.00$
6	D	> 5.00

Оценка же качества обслуживания на сегментах в отдельности включает в себя 7 последовательных шагов (рис. 4).



Рис. 4. Поэтапный расчет «итоговый и средневзвешенный уровень обслуживания»

В российской практике оценка качества работы пассажирского транспорта в городах [8,9,10] делается с точки зрения эффективности работы транспортных предприятий, а не с точки зрения пользователя данных услуг, то есть пассажиров.



Рис. 5. Уровни обслуживания ул. Ленина в прямом и обратном направлении (Итоговый уровень обслуживания для ул. Ленина – D)

Данное отличие на наш взгляд не всегда позволяет объективно оценить работу пассажирского транспорта.

Таким образом, разработкой методик по оценке качества работы общественного транспорта, с позиции пользователя данных услуг, ведутся исследования «Транспортной лабораторией» ИРННТУ [11-19]. Также проводится анализ возможной адаптации зарубежных методик.



Рис. 6. Уровни обслуживания ул. Розы-Люксембург в прямом и обратном направлении (Итоговый уровень обслуживания ул. Розы-Люксембург – В)

Результатом оценки уровня обслуживания на сегментах улично-дорожной сети г. Иркутска являются рисунок 5 и 6, которые были получены с использованием методики представленной в HCM 2010. Результаты, полученные по данной методике, позволяют наглядно оценить участки, требующие реконструкции или других конструктивных решений, которые в дальнейшем позволят повысить качество предоставления услуг в целом на участке УДС.

Список использованной литературы:

1. Rodrigue, J-P (2006) "Challenging the Derived Transport Demand Thesis: Issues in Freight Distribution", *Environment & Planning A*, Vol 38, No. 8, pp1449-1462.
2. The Geography of Transport Systems / Jean-Paul Rodrigue, Claude Comtois, Brian Slack / Simultaneously published in the USA and Canada, by Routledge 270 Madison Ave, New York, NY 10016
3. Bewertung des ÖPNV aus Kundensicht, Methodik des ADAC-ÖPNV-Tests in europäischen Großstädten / Friedrich, Marku / Schlaich, Johanne / Schleupen, Gerd / in *Internationales Verkehrswesen*; 62, 12; 11-16; *Internationales Verkehrswesen* / DVV Media Group GmbH / Eurailpre, Hamburg; 2010
4. Электронный ресурс: <https://www.adac.de>
5. Highway Capacity Manual 2000. / Transportation Research Board, National Research Council. / Washington, D.C., USA, 2000
6. Highway Capacity Manual 2010. / Transportation Research Board, National Research Council. / Washington, D.C., USA, 2010
7. Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd ed. / Ryus, Paul & Danaher, Alan & Walker, Mark & Nichols, Foster & Carter, Bill & Ellis, Elizabeth & Cherrington, Linda & Bruzzone, Anthony. (2013) / The National Academies of Sciences, Engineeringnd

8. Критерии оценки качества обслуживания городским пассажирским транспортом / Попова И.М., Шустов Р.А., Попова Е.А. / Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 35. С. 126-130.
9. К вопросу о повышении эффективности эксплуатации городского пассажирского транспорта / Красникова Д.А., Феклин Е.В., Шабеева А.Н. / Научная мысль. 2017. № 2. С. 51-55.
10. Адаптивная модель управления качеством городского пассажирского транспорта / Ефимова О.Ю. / Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2016. № 1 (41). С. 48-54.
11. Перспективы управления транспортным спросом / Шаров М.И. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 1 (48). С. 119-123.
12. Яценко С.А., Колганов С.В., Тарханова Н.В. Имитационное моделирование оценки качества обслуживания пассажиров на городских автобусных маршрутах с применением микроавтобусов // Вестник ИрГТУ. 2013. № 8 (79). С. 133-137
13. Яценко С.А. Повышение качества обслуживания пассажиров на городских автобусных маршрутах в условиях применения подвижного состава разной вместимости: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Ирк. гос. техн. ун-т., 2012. – 213 с.
14. Лыткина А.А., Миахйлов А.Ю. Эффективность применения приоритета городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках // Вестник Иркутского государственного технического университета. № 7 (54) 2011. - с. 60-65.
15. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах / Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Шаров М.И. / Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 3. С. 16-23.
16. Mlynarski, Stanislaw; Pilch, Robert; Smolnik, Maksymilian; Methodology of network systems reliability assessment on the example of urban transport. Eksploatacja i niezawodnosc-maintenance and reliability, t: 20, n: 2 p.: 278-283, (2018).
17. Van Lierop, Dea; Badami, Madhav G.; El-Geneidy, Ahmed M. What influences satisfaction and loyalty in public transport? A review of the literature. TRANSPORT REVIEWS, t: 38 n: 1 pp.: 52-72, (2018).
18. Яценко С.А., Колганов С.В., Маркетинговые исследования спроса на рынке пассажирских транспортных услуг в г. Иркутске, Вестник Иркутского государственного технического университета.. № 5 (64). С. 122-128. (2012).
19. Исследования дальности поездки пассажиров на городском маршруте с одновременным использованием автобусов разной вместимости / Яценко С.А., Колганов С.В., Тарханова Н.В. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С. 230-235.

Транспортно - пересадочный узел как средство безопасного и комфортного обслуживания пассажиров

А.Б.Бутузова., Н.А.Елфимова

Иркутский национальный исследовательский технический
Университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье рассматриваются основные аспекты формирования транспортно-пересадочных узлов. Представлена их классификация, основные критерии и характеристики. Отмечено, что создание транспортно-пересадочных узлов обеспечит безопасность, комфорт и сокращение времени на пересадку, а, следовательно, и на время передвижения в целом.

Ключевые слова: *транспортно – пересадочные узлы, характеристика транспортно – пересадочных узлов, классификация транспортно – пересадочных узлов, время пересадки, время передвижения.*

Пробки, перегруженные улицы и потеря времени возникают с увеличением мобильности населения. Высокая плотность транспортного потока сказывается на загруженности улично-дорожной сети.

В настоящее время особенностью многих городов является проблема пересадки с городского наземного пассажирского транспорта на метрополитен и другие виды внеуличного транспорта.

В связи с этим возникает необходимость решения проблемы упорядочения движения транспорта и пешеходов для улучшения условий транспортного обслуживания населения города.

Современный транспортный узел предполагает максимальную слаженность различных видов транспорта, как правило, объединенных в рамках одного объекта – станции железной дороги, автовокзала, автобусных станций [3].

Транспортно-пересадочный узел – это комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой.

Основное предназначение транспортно-пересадочных узлов:

- 1) Сокращение времени пересадки пассажиров
- 2) Повышение уровня безопасности
- 3) Повышение уровня комфорта

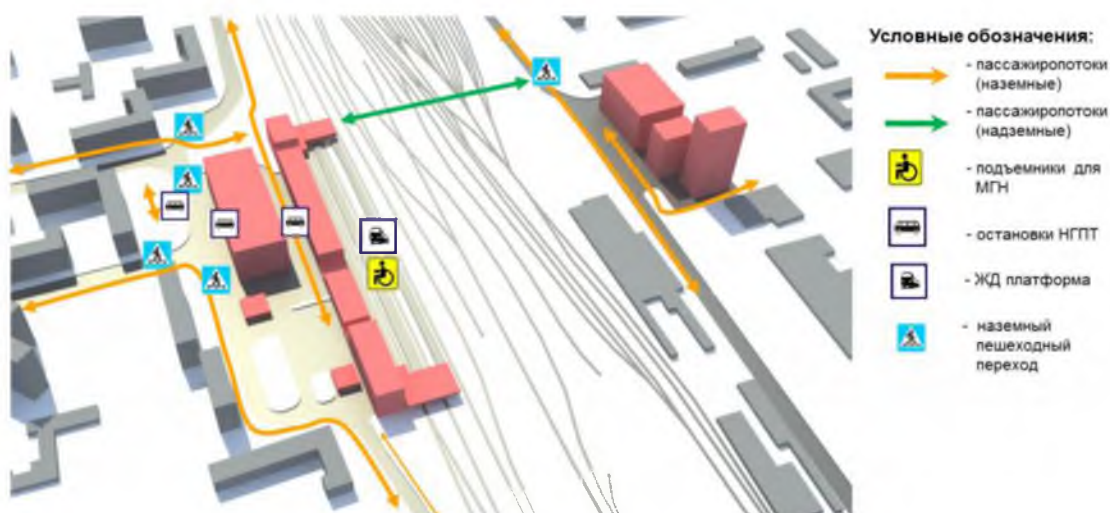


Рис.1. Пример структурной схемы транспортно-пересадочного узла

Транспортно-пересадочные узлы включают две функциональные зоны, это транспортная, с расположенными на ней устройствами посадки, высадки, пересадки, увязанную с системой автостоянок пешеходными путями и общественную, с объектами обслуживания, офисами, учреждениями и др.

Транспортно-пересадочные узлы крупных городов классифицируются на внешние и на внутренние (рис. 2).

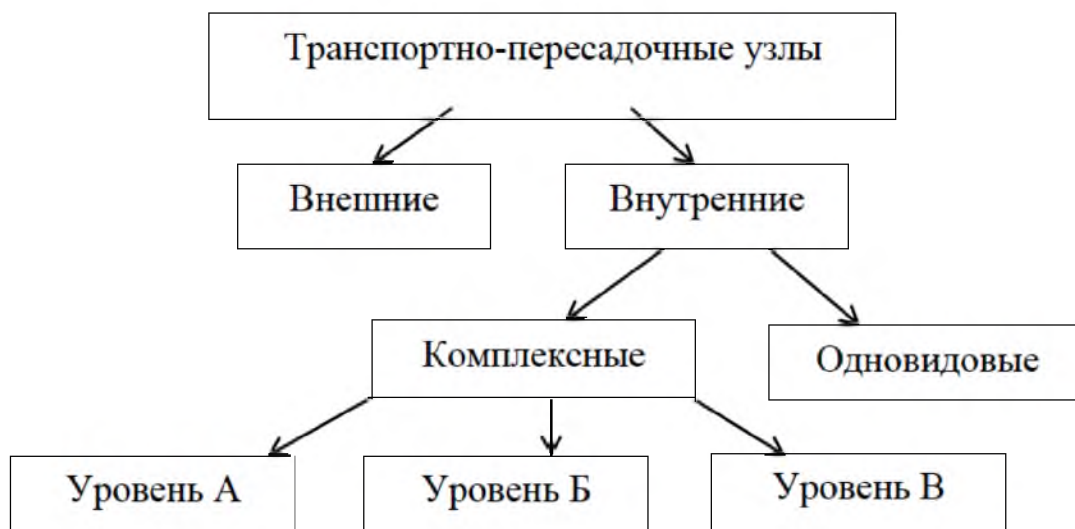


Рис.2. Классификация транспортно-пересадочных узлов

Внешние транспортно-пересадочные узлы обеспечивают пересадку пассажиров с внешних для города видов транспорта на городской пассажирский транспорт.

Внутренние транспортно-пересадочные узлы предназначены для пересадки пассажиров между различными видами или линиями городского пассажирского транспорта [1].

Одновидовые транспортно-пересадочные узлы организуются для пересадки пассажиров между линиями одного вида городского пассажирского транспорта.

Комплексные транспортно-пересадочные узлы создаются для пересадки пассажиров между различными видами городского пассажирского транспорта.

Уровень А - пересадка осуществляется со скоростного вида транспорта (метрополитен или скоростной трамвай, городская электричка) на другие виды городского пассажирского транспорта, которые могут иметь здесь конечную станцию.

Уровень Б - размещается в транспортных центрах районного значения.

Пересадка осуществляется со скоростных видов транспорта на другие виды городского пассажирского транспорта. Плотность пешеходного движения заметно снижается на удалении свыше 500 м от транспортно-пересадочного узла.

Уровень В - находится в локальных местах пересадки между различными видами наземного городского пассажирского транспорта. Плотность пешеходного движения низкая.

Условия пересадки пассажиров общественного транспорта можно характеризовать как удовлетворительные или недостаточно комфортные. Опираясь на зарубежный опыт, условия для пересадки пассажиров могут быть более комфортными и экономически выгодными.

Одним из таких примером является транспортно-пересадочный узел «Шинагава», который расположен в одном из центральных районов Токио — Тиёда [2].

В данном транспортно-пересадочном узле пересекаются несколько видов транспорта, такие как:

- межрегиональный транспорт: что представляет из себя скоростную транспортную систему.
- региональный транспорт: состоит из четырех линий экспрессных и обыкновенных железных дорог.
- городской транспорт: это две линии метрополитена.

Проход к основным инфраструктурным составляющим и пешеходные связи обеспечивают платформы, на которых располагаются билетные кассы, залы ожидания, объекты попутного обслуживания мелкорозничная торговля и др.

Проход к основным инфраструктурным составляющим и пешеходные связи обеспечивают платформы, на которых располагаются билетные кассы, залы ожидания, объекты попутного обслуживания мелкорозничная торговля и др.

В западной части узла платформа переходит в эспланаду, представляющую собой надземный пешеходный уровень, который объединяет в единый комплекс объекты, расположенные вдоль нее. В восточной части

транспортно-пересадочного узла вдоль пристанционной площади находятся остановочные пункты наземного пассажирского транспорта и стоянка такси.

В специально отведенных местах на прилегающей территории расположены стоянки такси.

Стоянки индивидуального транспорта в транспортно-пересадочном узле входят в состав многофункционального комплекса.

На сегодняшний день на территории Иркутской области происходят очевидные агломерационные процессы, а именно ежедневные трудовые маятниковые миграции.



Рис.3. Транспортно-пересадочный узел «Шинагава»

Оптимально расположенный транспортно-пересадочный узел – это основа эффективной работы городской пассажирской транспортной сети, которая, в свою очередь, является огромной комплексной системой, играющей важную роль в жизни города [4].

Авторами данной статьи был рассмотрен транспортно-пересадочный узел в г. Иркутске.

Рассматриваемый транспортно-пересадочный узел включает в себя остановки наземного транспорта, такие как автобусная остановка «Технический университет» которая обслуживает городские и пригородные перевозки и трамвайную остановку «Студгородок».

Целесообразно организовать транспортно-пересадочные узлы для формирования городской агломерации как единого пространства, сокращения общего времени поездки и снижения нагрузки на транспортную систему и повышения связности, надежности и эффективности работы транспортной системы.



Рис. 4. Транспортно-пересадочный узел г. Иркутск

В заключении данной статьи можно сделать вывод, что необходимо провести дополнительные исследования для целесообразного построения транспортно-пересадочных узлов в г. Иркутске.

Список использованной литературы:

1. Транспортная инфраструктура. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/96691/logistika/transportno-peresadochnye_uzly
2. Развитие транспортно-пересадочных узлов в Японии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://undergroundexpert.info/opyt-podzemnogo-stroitelstva/realizovannye-proekty/tpu-yaponiya>
3. Транспортно-пересадочные узлы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroj.mos.ru/mkzhd/transportno-pieriesadochnyie-uzly>
4. Транспортно-пересадочные узлы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russos.livejournal.com/885800.html>
5. Роль железнодорожного транспорта в формировании транспортно-пересадочных узлов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-zheleznodorozhnogo-transporta-v-formirovanii-sistemy-transportno-peresadochnyh-uzlov>
6. Формирование транспортно-пересадочных узлов в условиях города. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-transportno-peresadochnyh-uzlov-v-gorodah>.

К вопросу о формировании транспортного спроса

А.Б. Бутузова, Е.А. Потылицын

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В статье рассматриваются аспекты формирования транспортного спроса. В процессе формирования транспортного спроса определяются источники и цели транспортного движения, параметры транспортной подвижности населения, по видам транспорта и целям совершения транспортных корреспонденций.

Ключевые слова: *транспортный спрос, транспортное обслуживание, матрица корреспонденций, модель транспортного обслуживания.*

В современных условиях роста автомобилизации, строительства новых культурно – развлекательных и торговых объектов, появления новых жилых районов, возникает необходимость, как оценки транспортного спроса, так и его прогнозирования. Аспекты формирования транспортного спроса являются значимыми в процессе транспортного планирования.

Транспортный спрос – устойчивый объем, совершаемых транспортных перемещений, сложившийся в результате социально-экономических процессов, проходящих на отдельной территории. Транспортный спрос учитывает транспортные потребности сообщества, даже если эти потребности удовлетворены частично или неудовлетворенны совсем [6].

В процессе формирования транспортного спроса определяются источники и цели транспортного движения, параметры транспортной подвижности населения, формируются матрицы корреспонденций по видам транспорта и целям совершения транспортных корреспонденций. Транспортный спрос определяется показателями транспортной подвижности населения [7].

Выявляя закономерности функционирования и развития транспортных систем городов исследователями рассматриваются проблемы отдельных видов транспорта в общей структуре, формирования парка автотранспортных средств, последствий воздействия транспорта на окружающую среду, обеспечения устойчивого развития транспортной системы, проблемы транспортной планировки городов, вопросы транспортной телематики [5].

Потребность населения в передвижении во многом определяется:

- уровнем развития общества;
- социальной структурой;

- укладом жизни;
- характером расселения по территории города;
- свободным временем и реальными доходами населения;
- культурно-бытовыми потребностями;
- концентрацией мест жительства и мест работы;
- ростом городов и др.

Передвижения населения могут быть пешеходными и транспортными (на индивидуальном или общественном транспорте). В случае сочетания нескольких способов передвижений или видов транспорта, их называют сложными или комбинированными.

Любые передвижения осуществляются в соответствии с определенной целью: трудовые, учебные, культурно-бытовые, служебные.

Прогноз показателей подвижности эффективнее осуществлять в соответствии с трендом, построенным по значениям наблюдений за последние несколько лет. Существуют различные методы и системы, но показатели подвижности очень чувствительны к социально-экономическим преобразованиям и особенностям.

На уровень транспортных проблем влияют: рост численности и плотности населения, увеличение количества собственных легковых автомобилей и степени их использования, рост подвижности и деловой активности населения, параметры УДС, транспортной инфраструктуры и др. Каждый из этих факторов имеет свои особенности в различных регионах и городах, но наиболее серьезные проблемы возникают при наличии и высокой динамике нескольких из них [4].

Для эффективного функционирования рынка транспортных услуг первоочередное значение имеет полная информация о спросе на них, т.е. о транспортных потребностях жителей города. Спрос предопределяет предложение, а от соотношения спроса и предложения зависит ситуация на рынке.

Спрос на услуги городского пассажирского транспорта может быть оценен обследованием пассажиропотоков, в результате чего устанавливаются корреспонденции жителей города. Различают маршрутные корреспонденции и сетевые. Маршрутные корреспонденции — это передвижения между остановочными пунктами действующей маршрутной сети. Реальные же транспортные потребности отражают сетевые корреспонденции — передвижения пассажиров между зонами города.

При всем многообразии методик обследования пассажиропотоков всем им свойственны два принципиальных недостатка:

1) обследования проводятся фрагментарно (в течение выбранного момента времени и зачастую не по всей территории города), а полученные результаты обобщаются для города в целом и используются в течение всего периода работы транспорта;

2) результаты обследования отражают ситуацию, имевшую место в прошлом, тогда как любые управленческие решения, даже оперативного

характера, принимаются на перспективу. То есть обследование пассажиропотоков отражает уже реализованный спрос, а не прогнозируемый.

Следует также отметить чрезвычайную трудоемкость обследования: для его проведения требуются сотни чел. часов работы целой армии исследователей и обработчиков полученной информации.

В этой связи актуальным становится создание математической модели прогнозирования объемов перевозок, связывающей факторы, оказывающие влияние на сетевые корреспонденции жителей города. Задавая те или иные значения факторов, можно прогнозировать изменение пассажиропотоков.

Некоторые факторы оказывают влияние на колебания пассажиропотоков в течение суток, а часть факторов — внутри часовых интервалов.

Полезной для прогнозирования пассажиропотоков может быть трехзвенная классификация факторов, определяющих подвижность населения.

Первая группа факторов характеризует условия выполнения перевозок пассажиров: планировка города; размещение жилых районов, мест культурного отдыха, центров торговли и промышленных зон; местоположение дачных массивов и мест отдыха горожан в пригороде; параметры дорожной сети; сезон, день недели и время поездок.

Вторая группа факторов характеризует спрос на перевозки. Его сегментация может быть произведена исходя из социальной и профессиональной структуры населения города. Это во многом предопределяет платежеспособность пассажиров, их требования к скорости передвижения, комфорту, надежности и безопасности поездки.

Одним из возможных показателей для сегментации пассажиров по их требованиям к городскому транспорту может быть стоимостная оценка их затрат времени на передвижение. Жители города, высоко ценящие затраты своего времени, обладают, скорее всего, высокой платежеспособностью и согласны дополнительно платить за высокую скорость передвижения, дополнительный комфорт, надежность и безопасность, уровень дохода на члена семьи.

Третья группа факторов характеризует имеющуюся конкурентную среду, систему городского пассажирского транспорта.

На рынке транспортных услуг работают различные перевозчики: муниципальный транспорт, акционерные общества и общества с ограниченной и дополнительной ответственностью, товарищества и индивидуальные предприниматели. Деятельность городских перевозчиков осуществляется в рамках имеющихся нормативно-правовых актов и при условии регулирования со стороны муниципальных органов управления[2].

При прогнозировании формирования спроса необходимо учитывать способ передвижения. В качестве конкурирующих способов передвижения предлагается применять передвижения с использованием общественного транспорта и передвижения с использованием индивидуального транспорта. Оптимальным решением транспортного обслуживания счита-

ется решение, обеспечивающее условие минимизации суммарных затрат времени на передвижение.

Правило, по которому часть пользователей индивидуального автомобильного транспорта отказывается от его применения и пользуется общественным транспортом, зависит от обеспеченности местами парковки.

Передвижения на общественном транспорте включают в себя:

- время подхода до остановочного пункта;
- время ожидания;
- время поездки;
- расстояний по сети между районами;
- время подхода от остановочного пункта до места назначения.

Время подхода до остановочного пункта зависит от плотности маршрутной сети города.

Расчеты времени подхода к остановочному пункту, тесно связаны с расположением их на транспортной сети, нормированием радиусов пешеходной доступности и транспортной обслуженности территории города. Все эти характеристики тесно связаны с характеристиками городской застройки по экономическим, архитектурно – планировочным и другим соображениям. “Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог” ЦНИИП градостроительства рекомендуют принимать максимально допустимое расстояние пешеходного подхода к ближайшим остановкам МПТ в районах с капитальной многоэтажной застройкой (в среднем более двух этажей) равным 500 м и в районах с малоэтажной (усадебной) застройкой – 700 м, причем с учетом непрямолинейности подходов их следует сокращать на 20% в расчете на коэффициент непрямолинейности подхода равный 1,2, т.е. принимать соответственно равными 400 и 560 м.

Время ожидания может колебаться в зависимости от интервалов движения общественного транспорта. Чтобы получить достаточно малое время, нужно иметь небольшую плотность сети. Но уменьшение плотности сети приводит к увеличению зоны пешеходного движения и уменьшению пешеходной доступности транспортных линий. Оптимальную плотность транспортной сети определяют по критерию минимума общих затрат времени в корреспонденциях с учетом капитальных затрат и эксплуатационных расходов, которые растут вместе с ростом плотности сети.

Передвижения на индивидуальном транспорте включают:

- время подхода к постоянному месту хранения автомобиля;
- время поездки;
- время подхода к месту назначения.

Время подхода к месту хранения зависит от плотности размещения гаражей (постоянных мест хранения автомобиля), т.е. от средней длины подхода [1].

Целью данного исследования является выявление ряда параметров, которые являются значимыми при прогнозировании формирования транспортного спроса, а также выборе способа передвижения.

Список использованной литературы:

1. Куприянова А.Б. Оптимизация транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Куприянова Александра Борисовна; ИрГТУ. -Иркутск, 2008.-20 с.
2. Миротин Л.Б. Логистика: общественный пассажирский транспорт. 2003
3. Модели распределения корреспонденций на маршрутной сети [Электронный ресурс] режим доступа : <https://studfiles.net/preview/4200208/page:36/>
4. Поздняков М. Н. Топология улично-дорожной сети. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2013. — 102 с.
5. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. — Логос, 2013. — С. 44-45. — 464 с.
6. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. — Пермский государственный технический университет, 2011. — 175 с.
7. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM. — Логос, 2014. — 200 с.

УДК 656.073

Анализ затрат на владение грузовым автотранспортом

И. А. Горнаков, С.А. Яценко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В данной статье рассмотрены наиболее значимые статьи затрат на владение грузовым транспортом. Проведен анализ влияния факторов на проблему оптимизации затрат и основных параметров, влияющих на себестоимость владения грузовым автопарком.

Ключевые слова: *транспортные затраты, грузовой автотранспорт, автотранспортное предприятие, грузоперевозки, управление автотранспортом, транспортная логистика.*

Перемещение груза является важным фактором развития современной экономики. Эффективность производственно-коммерческой деятельности предприятий в значительной степени определяется качеством решений, повседневно принимаемых менеджерами разного уровня. В связи с этим большое практическое значение приобретают задачи совершенствования процессов принятия управленческих решений в транспортных компаниях. Эти решения должны исходить из принципа рациональности, а именно принимать решения с таким расчетом, чтобы с помощью имеющихся ограниченных ресурсов предприятия обеспечить оптимальный результат при достижении поставленных целей.

В настоящее время рынок грузовых автотранспортных услуг достаточно хорошо развит в России. Транспортные услуги также развиты и в секторе международных перевозок. Кроме этого существуют специализированные предложения по «организации переездов» (смена места жительства, в летний сезон переезд на дачу или в коттедж, смена офисный), по перевозке крупногабаритных, тяжелых, длинномерных, опасных, хрупких, ценных грузов. Все эти перемещения носят массовый характер и в настоящее время вышли на достаточно высокий конкурентный уровень. Грузоперевозки благодаря разнообразию предложений и услуг в разных ценовых категориях, доступны как взыскательным клиентам с большими запросами и большим бюджетом, так и «среднему классу».

Одним из приоритетных направлений в работе транспортных компаний является деятельность по управлению затратами, которая является основой достижения высокого экономического результата и эффективной финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Основная цель управления затратами - по возможности увеличить прибыль организации, что является важнейшей функцией логистического менеджмента. Поэтому управление издержками можно рассматривать, как умение экономить ресурсы и получать максимальную от них отдачу.

Данные и методы исследования

В основе данной статьи лежат методы факторного анализа, экспертных оценок, прогнозирования и анализ многочисленных взаимосвязанных переменных таких как, прогнозирование спроса на транспортные услуги в зависимости от технических характеристик транспортных средств, уровня возможных тарифов, затрат на владение и т.п. Использовались вторичные данные.

Затраты на грузовые перевозки зависят от нескольких основных факторов. В частности: цены топлива, состояния дорожного покрытия; квалификации водителей и т.д. Расходы в данной отрасли неуклонно рас-

тут и снижение их, скорей всего, не ожидается, в связи с тем, что цена топлива повышается в независимости от того, что происходит с динамикой цен на нефть. Это подтверждают данные Росстата табл.1 [1].

Таблица 1 - Динамика цен бензина и нефти

Наименование показателя	2000	2005	2010	2015*
1 литр бензина АИ-92, руб.	8,05	16,8	24,0	36,0 (+347%)
1 баррель нефти Brent, долл.	28,3	54,4	79,6	52,4 9+85%)

***Примечания.** В скобках указан прирост относительно 2000 года. Приведены среднегодовые цены на нефть и бензин.

Большинство автотранспортных предприятий заинтересованы в поиске решения по снижению расходов на владение коммерческим транспортом. За прошедший 2017 год было перевезено 8264 млн тонн груза, из которых 5635 млн тонн - автомобильным транспортом [2]. Конкуренция в данной сфере очень высока. Чтобы предлагать клиентам более выгодные тарифы, приходится изыскивать новые пути оптимизации своих издержек.

Базовая статья затрат всех автотранспортных организаций - стоимость владения автомобилем. А один из важных факторов - себестоимость 1 км пробега определенного транспортного средства. На эти затраты влияют такие показатели как: марка автомобиля; опыт и стиль вождения водителя; вид топлива; состояние дорожного покрытия; время года; техническое состояние автомобиля.

Результаты исследования

Крупнейшая шинная компания Goodyear с более чем вековой историей, входящая в тройку лучших компаний в мире в своей области, недавно провела опрос 87 российских автотранспортных компаний на предмет их основных проблем при работе на рынке грузовых перевозок. По результатам опроса выяснилось, что основные проблемы перевозчиков следующие. Около 50% респондентов, обеспокоены ростом цен на горючесмазочные материалы. Поиск и удержание квалифицированных водителей, является проблемой для 30% респондентов [2].

Автотранспортные предприятия стараются самостоятельно решать проблемы роста затрат. Один из способов решения этой задачи - обучение водителей навыкам экономичного вождения. Правда в России этим занимаются только около 50% компаний, в то время как в Германии и Польше около 80% рис.2 [2].



Рис. 1. Основные проблемы АТП разных стран и уровень их распространенности

Еще один способ решения проблемы роста затрат - использование более экономичного грузового подвижного состава. Большая часть транспортных компаний проводят замеры расхода топлива парка подвижного состава предприятия, но только часть из них оптимизирует расходы [4]. Аналитики журнала "За рулем" выявили зависимость между размером автопарка организации и количеством компаний, которые следят за потреблением топлива в соответствующем сегменте. Оптимизацией расхода топлива, на которое влияет большое количество факторов (совершенствование методов организации труда водителей и подвижного состава, сокращение пробега, использование новейшего программного обеспечения, своевременное техобслуживание, использование сертифицированных деталей и т.п.) занимается в России 83% АТП (см. рис.2, 3) [4].

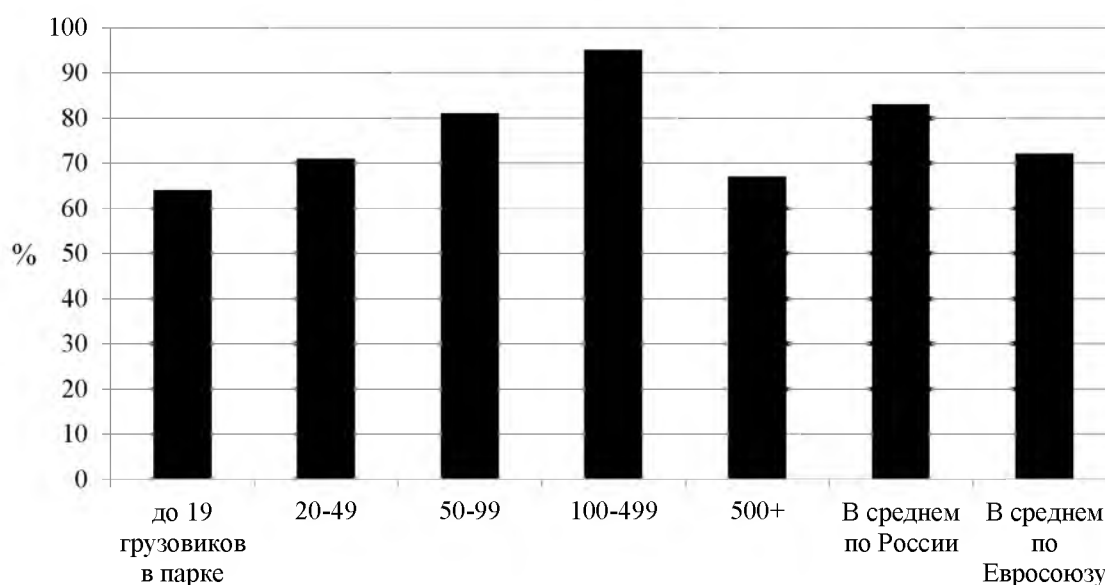


Рис. 2. Зависимость количества компаний, занимающихся оптимизацией расходов на топливо от количества автопарка

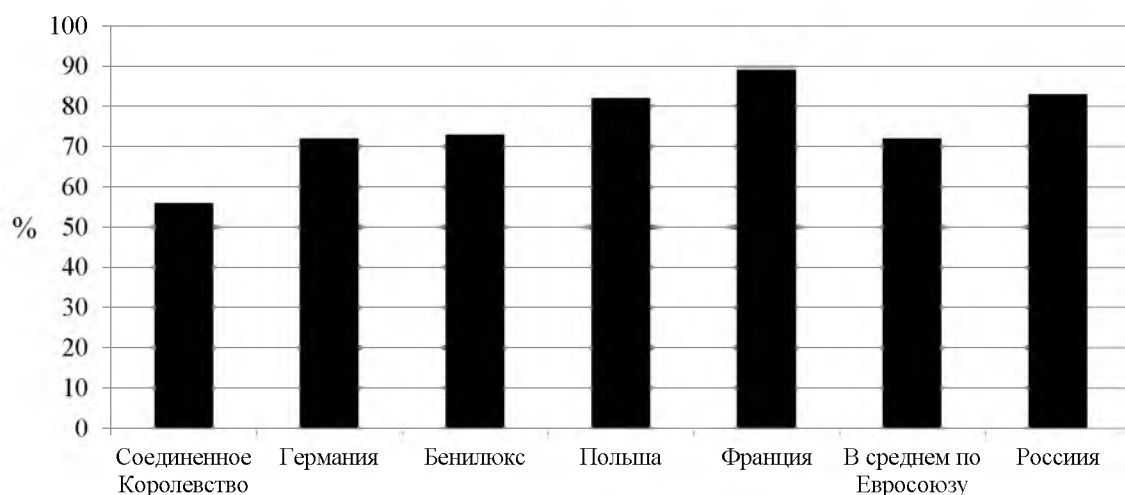


Рис. 3. Количество компаний занимающихся оптимизацией расходов на топливо в разных странах

С ноября 2015 года владельцам большегрузных автомобилей прибавилась еще одна немалая статья расходов - система «Платон». Данная система создана в целях обеспечения соблюдения установленного действующим законодательством порядка взимания платы в счет возмещения вреда, причиняемого автомобильным дорогам общего пользования федерального значения транспортными средствами, имеющими разрешенную максимальную массу свыше 12 тонн. По сути "Платон" должен решить одну из проблем - качество дорожного покрытия, однако так ли это будет на самом деле. Оценка влияния «Платона» на рынок автомобильных грузовых перевозок отличается от резко отрицательных до положительных. По оценкам отдела «Управление перевозками грузов автомобильным транспортом» НИИАТ рост цен незначителен и варьируется от 2.5 до 5% [6]. Что касается расходов грузовых компаний на эту систему то они, как правило, закладываются в цену транспортной услуги, которую выставляют грузоотправителю. Опыт европейских стран, по мнению Минтранса, показывает, что при вводе подобной «Платону» системы тарифы не выросли, так как рынок транспортных услуг высококонкурентный и при увеличении тарифов можно потерять клиентов.

По оценкам Минтранса для существенного роста тарифов на грузовые перевозки из-за введения «Платона» экономических оснований нет, так как действующие тарифы составляет около 5% от стоимости перевозки [6]. Кроме этого существует и такой довод Минтранса, что стоимость доставки товара составляет приблизительно 10% от конечной стоимости товара. Функционирование системы «Платон» может оказать влияние на увеличение цен на товары в пределах 0,5%, Это практически безболезненно для потребителя [6]. С точки зрения автоперевозчиков «Платон» сказывается на себестоимости и затратах, соответственно уменьшается прибыль грузовых компании. Отсюда, происходят недовольство и забастовки.

По оценкам РБК на международных перевозках затраты на «Платон» составляют сегодня в среднем 18–21 тыс. руб. в месяц, это дополнительная статья затрат.

Таблица 2 - Зарубежные аналоги "Платона" [6].

Страна	Платежная система	ТС, с которых взимается плата	Тариф за 1 км
Белоруссия	BelToll	Грузовики массой более 3,5 т, а также легковые автомобили, зарегистрированные в странах не входящих в Таможенный союз	€0,09 (7 руб.) для двухосного грузовика €0,115 (8,9 руб.) для трехосного грузовика €0,145 (11,3 руб.) для четырехосного грузовика
Швейцария	LSVA	Грузовики массой более 3,5 т	0,031 швейцарского франка (2,1 руб.) для грузовиков стандарта Евро-0/1/2 0,026 швейцарского франка (1,8 руб.) для грузовиков стандарта Евро-3 и 0,022 (1,5 руб.) для Евро-4/5/6
Германия	Toll Connect	Грузовики массой от 7,5 т	Варьируется в пределах €0,081-0,218 (6,2-16,3 руб.)

Если рассматривать типичные статьи затрат, по данным исследований грузовых автотранспортных предприятий в России, по структуре, варьируются в следующих диапазонах[7, 8]:

- затраты на оплату труда водителей $\approx$ 28-47%;
- отчисления на социальные нужды $\approx$ 8-13%;
- автомобильное топливо $\approx$ 13-22%;
- износ автомобильных шин $\approx$ 0,5-2,2%;
- смазочные и прочие эксплуатационные материалы $\approx$ 1-2,5%;
- затраты на ТО и ТР подвижного состава $\approx$ 5- 7%. В том числе: затраты на оплату труда ремонтных рабочих; отчисления на социальные нужды; затраты на запчасти и материалы.
- амортизационные отчисления на полное восстановление подвижного состава $\approx$ 4-7%;
- накладные расходы $\approx$ 18-20%. В том числе расходы на оплату труда служащих; отчисления на социальные нужды; амортизация зданий, сооружений; расходы на рекламу; представительские расходы; амортизация нематериальных активов; налоги и платежи, включаемые в соответствии с законодательством и т.п.

Российская ассоциация перевозчиков провела свои исследования и получила следующие результаты. Доходы транспортных компаний упали на 15-18%. Произошло это по причине большого количества посредников, участвующих в логистических цепочках, роста цен на топливо, снижения реальной покупательной способности населения, экономического кризиса. При этом конкуренция на рынке остается очень высокой [5]. Уменьшение прибыли перевозчиков может спровоцировать уход большого количество предпринимателей в серые схемы рынка грузовых перевозок, так система «Платон» значительно увеличит статью «накладные расходы».

Заключение

Анализ затрат владения грузовым транспортом можно отнести к одному из важных современных исследований. Поиск и разработка методов снижения затрат индивидуально, для каждого грузоперевозчика, может помочь существенно снизить конечные цены на товары, соответственно сэкономить деньги потребителей и повысить спрос на перевозочные услуги транспортных компаний.

Список использованной литературы:

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс] // О динамике цен на бензин автомобильный. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 15.03.2018).
2. Бюллетень социально- экономического кризиса в России декабрь 2015 [Электронный ресурс] // Динамика грузоперевозок в России. URL: <http://ac.gov.ru/publications/5478/> (дата обращения: 15.03.2018).
3. Тайер Групп [Электронный ресурс] // Goodyear снижает стоимость владения грузовыми автомобилями. URL: http://shinexpo.ru/stati/article_post/goodyear-snizhayet-stoimost-vladeniya-gruzovymi-avtomobilyami. (дата обращения: 9.03.2018).
4. Интернет издание "За рулем.рф" [Электронный ресурс] // Стоимость владения грузовыми автомобилями URL: <https://www.zr.ru/content/articles/746700-goodyear-snizhaet-stoimost-vladeniya-gruzovymi-avtomobilyami/>. (дата обращения: 10.03.2018).
5. Платон - система взимания платы. [Электронный ресурс] // О системе взимания платы. URL: <http://platon.ru/ru/about/>. (дата обращения: 12.03.2018).
6. Официальный сайт РБК [Электронный ресурс] // Теория "Платона". URL: <http://dv.rbcplus.ru/news/5720ebf17a8aa93aff1fa889>. (дата обращения: 12.03.2018).
7. Официальный сайт Минтранса России [Электронный ресурс] // <http://www.mintrans.ru/>. (дата обращения: 12.03.2018).
8. Транспортно-экономический анализ региона. Экономика транспортной отрасли : учеб. пособие для вузов по специальности "Орг.

перевозок и упр. на трансп."... / С. А. Яценко, С. В. Колганов. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 110. (дата обращения: 12.03.2018).

УДК 629.3

Оценка влияния дорожных факторов на аварийность

Д.С. Джурук, А.В. Зедгенизов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Проблема дорожной смертности является основной внешней причиной смертности не только в России, но и в мире. Несмотря на невысокую долю ДТП произошедших на федеральных автодорогах, эти ДТП отличаются повышенной смертностью. Как правило, причинами таких ДТП является совокупность внешних факторов, один из которых является решающим. В статье проанализировано влияние на уровень аварийности таких факторов как интенсивность движения, ширина проезжей части, ширина обочины, продольный уклон дороги и радиус кривизны дороги в плане. Анализ проводился по статистическим данным о ДТП, произошедших на территории Сибирского федерального округа в период с 2013-2016 годы.

Ключевые слова: *безопасность дорожного движения, внешние факторы, интенсивность движения, ширина обочины, ширина проезжей части, продольный уклон дороги, радиус кривизны дороги в плане.*

По данным Всемирной организации здравоохранения смертность в результате ДТП входит в десятку основных причин смерти в мире, при этом являясь основной внешней причиной. В своем послании генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун назвал текущее десятилетие – десятилетием действий по обеспечению безопасности дорожного движения и призвал государства-члены, международные учреждения, организации гражданского общества, деловые круги и общинных лидеров к повсеместному обеспечению того, чтобы десятилетие привело к реальным улучшениям[1].

Результатом реализации данной концепции в Российской Федерации стало принятие двух Федеральных целевых программ по повышению безопасности дорожного движения, благодаря которым удалось достичь значительного снижения транспортной смертности. Так по итогам 2010-2017 годов число ДТП снизилось с 199 431 до 169 432 (снижение на 15%), а количество погибших в них с 26 567 до 19 088 (снижение на 28%). Однако, несмотря на все предпринимаемые меры, основные показатели ава-

рийности значительно ниже среднеевропейских и не могут быть признаны удовлетворительными.

Как показывает анализ структуры ДТП, подавляющее их количество происходит на территории населенных пунктов, доля таких ДТП составляет 61%. На долю региональных и федеральных автодорог приходится 17% и 12,5% ДТП соответственно. Однако, несмотря на относительно невысокую долю ДТП, данные автодороги отличаются повышенной степенью тяжести последствий. Количество погибших на них составляет 31% и 27% погибших. Подобный уровень аварийности предопределяется в первую очередь высокими скоростями движения по данному виду автодорог. Показатель удельной смертности в зависимости от длины автодорог на федеральных автодорогах в 6,5 раз превышает аналогичный среднероссийский показатель. Таким образом, решение проблемы транспортной аварийности на относительно небольшой по протяженности федеральной автодороге может дать значительный эффект.

Причинами ДТП в большинстве случаев является совокупность ряда факторов, один из которых является решающим. Анализ статистических данных аварийности показывает, что основной причиной совершения ДТП является нарушение правил дорожного движения, находящихся в прямой причинно-следственной связи с механизмом возникновения ДТП его участниками, 85% всех ДТП происходят по вине водителей [7]. Оценка влияния на безопасность дорожного движения различных дорожных условий на практике ограничивается лишь указанием состояния проезжей части, освещения на месте ДТП, недостатков транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети и факторами, оказывающие влияние на режим движения. По статистике неудовлетворительные дорожные условия являются причинами ДТП лишь в 5% случаев. Дорожные факторы, оказывающие косвенное влияние, как правило, не учитываются совсем. Этим объясняется невысокая доля ДТП, произошедших вследствие влияния дорожных условий. Вместе с тем, по мнению ученых, фактическая роль дороги в процессе совершения ДТП гораздо выше и составляет 40-70% всех ДТП [2].

Неоценимый вклад в исследование степени влияния внешних факторов на уровень аварийности внесен учеными Бабковым В.Ф. Сильяновым В.В., Чвановым В.В., Дивочкиным О.А., Васильевым А.П.. Разработанный Бабковым В.Ф. метод коэффициентов аварийности, позволяет не только оценивать между собой риск аварийности на различных участках автодороги, но и в определенных пределах (от 20 до 80) прогнозировать количество происшествий. В этих пределах существует достаточно устойчивая связь между числом ДТП на 1 млн. авт.км. и значением итогового коэффициента аварийности. Несмотря на то, что данному методу почти 60 лет, он сих пор успешно используется дорожными службами при проектировании и реконструкции автомобильных дорог. И в ближайшее время этому методу замены не предвидится.

Вместе с тем как утверждал сам Бабков В.Ф. нельзя считать разработку данного метода и вычисление коэффициентов аварийности исчерпывающей и окончательной, поскольку естественное изменение подвижного состава, применение более совершенных материалов в строительстве дорог неизбежно будет изменять степень влияния внешних факторов на конечный уровень аварийности. В связи с этим возникает необходимость периодической корректировки данных коэффициентов, значения которых являются результатом исследования влияния различных факторов на аварийность.

Вполне очевидно, что внешние факторы оказывают влияние на аварийность постоянно, что неизбежно должно приводить к систематическим ДТП, а такой участок автодороги должен стать местом концентрации ДТП. Таким образом, для повышения точности результатов исследования целесообразно проводить расчет именно на таких участках.

Учитывая отсутствие единого определения понятия очага ДТП [6], в исследовании под местом концентрации понимается участок загородной автодороги длиной не более 1000 метров, на котором за исследуемый период (2013-2016 г.г.) произошло не менее 4 ДТП. Анализ ДТП, произошедших на территории Сибирского федерального округа, показывает, что 52% всех ДТП приходится именно на такие участки автодорог.

Рассмотрим влияние некоторых внешних факторов на уровень аварийности.

1. Интенсивность движения. По мнению многих ученых интенсивность движения является одним из основных факторов, влияющих на аварийность. При невысоких ее значениях на дороге практически отсутствуют помехи создаваемые встречными и попутными автомобилями. Вследствие чего водители транспортных средств развивают высокие скорости, что вкупе с пониженной внимательностью, характерной для свободных трасс приводит к повышенному риску ДТП. Для такой интенсивности движения характерны такие ДТП как опрокидывания и съезды с дороги. Увеличение интенсивности приводит к взаимному влиянию транспортных средств друг на друга, что в свою очередь снижает среднюю скорость движения потока и повышает внимательность водителей. Риск ДТП при этом снижается. Дальнейший рост интенсивности движения приводит к повышению плотности потока и движению без обгонов, это обуславливает пониженную тяжесть последствий. Вместе с тем, в научном мире нет единого мнения о характере ее влияния на аварийность.

Обобщение многочисленных отечественных и зарубежных исследований, проведенное Бабковым В.Ф. показало, что для двухполосных автодорог изменение значения коэффициента относительной аварийности располагается вдоль колоколообразной кривой. При этом в случае разделения потоков данная зависимость напротив принимает вогнутый вид. Однако по мнению скандинавских ученых зависимость носит линейный

характер и не оказывает значительного влияния на количество происшествий [3].

Результаты исследования, проведенные Чвановым В.В. дали весьма схожие результаты для всех типов дорог, при этом характер зависимости был аналогичен зависимости полученной для дорог с разделительной полосой (по данным Бабкова В.Ф.). Проведенное исследование влияния интенсивности движения на аварийность в Сибирском федеральном округе также подтверждает результаты Чванова В.В., однако установить влияние интенсивности при значениях более 20 000 авт./сут. не удалось, поскольку для Сибири характерны автодороги II категории, интенсивность движения по которым не превышает данный показатель. На рисунке 1 отражена зависимость влияния интенсивности движения на риск ДТП.

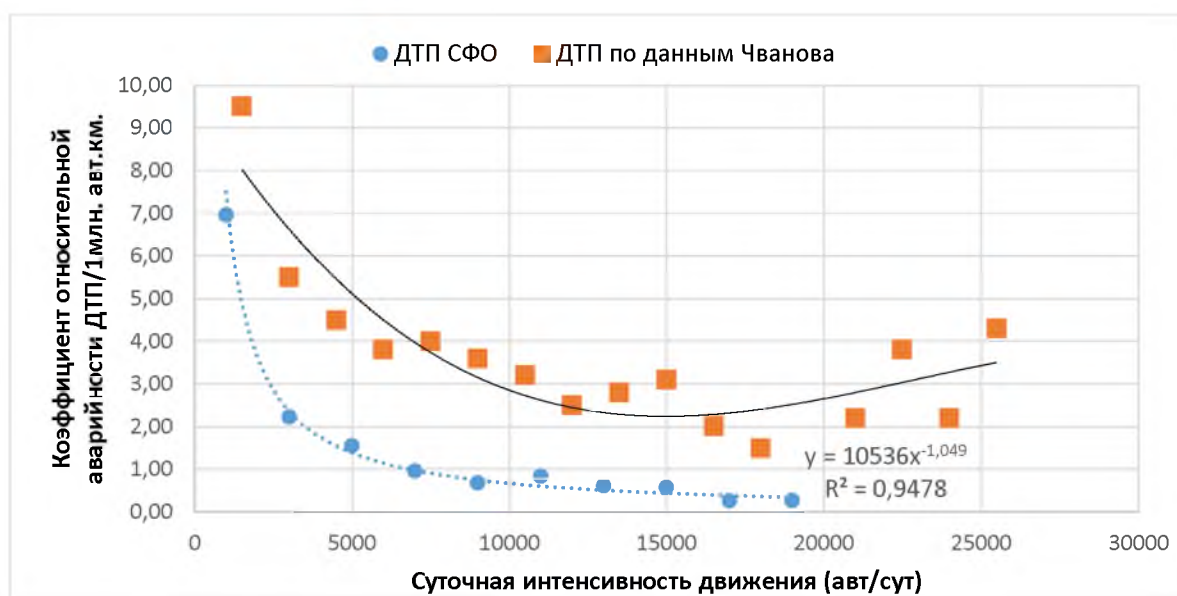


Рис.3. Зависимость аварийности от интенсивности движения

2. Ширина проезжей части. Одним из основных параметров поперечного профиля автодороги является ширина проезжей части. Многочисленными исследованиями установлено, что увеличение ее ширины положительным образом сказывается на состоянии безопасности дорожного движения. Однако как показывают исследования Чванова В.В. снижение риска ДТП происходит лишь при увеличении ширины проезжей части до определенного предела. Дальнейшее ее увеличение сказывается отрицательным образом. Таким образом есть все основания заявлять о неоднозначности влияния ширины проезжей части при превышении нормативных значений. Таковым пределом является ширины 7,5-8,0 метров для двухполосных дорог, что в целом соответствует нормативной ширине полосы в 3,5-3,75 метра [8].

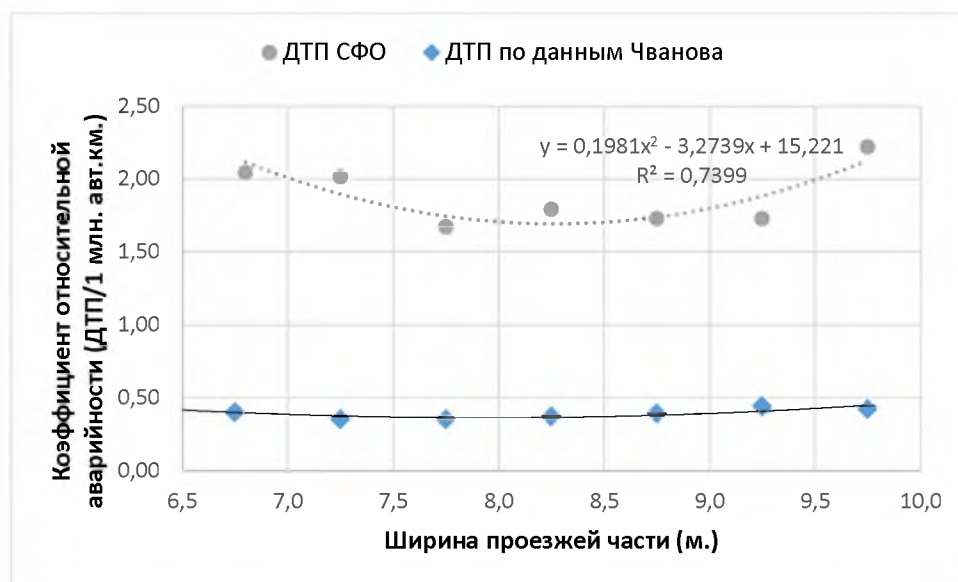


Рис. 4. Зависимость влияния ширины проезжей части на аварийность

3. Ширина обочины. К одному из основных факторов поперечного профиля дороги относится ширина ее обочины. Ее наличие обусловлено необходимостью повышения пропускной способности и безопасности дорожного движения. По мнению многочисленных исследований, влияние ширины обочины на аварийность однозначно, повышение ее ширины снижает риск ДТП. Однако существенное влияние ширины сказывается лишь при ее размерах до двух метров. Дальнейшее увеличение ширины влияния на безопасность практически не оказывает. Нормативным значением ширины обочины для дорог II категории является 2,5-3,75 метра. Таким образом можно утверждать что увеличение ширины обочины способно снизить риск ДТП, особенно при малой ее ширине на двухполосных дорогах.

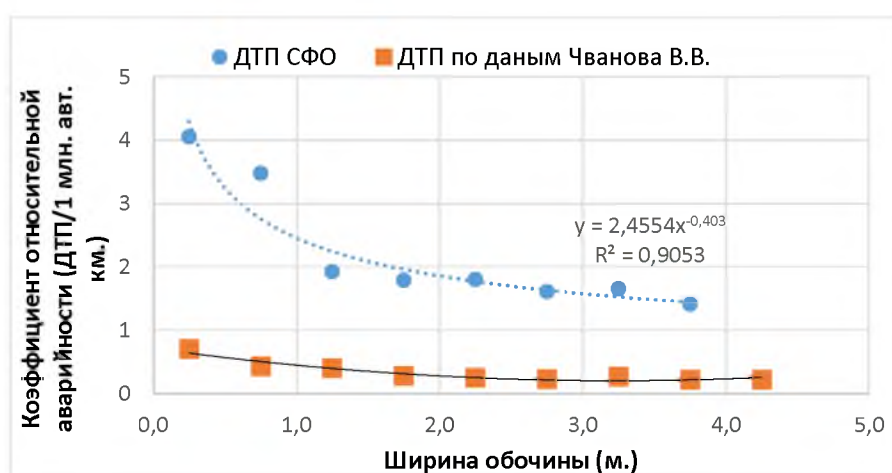


Рис. 5. Зависимость влияния ширины обочины на аварийность

4. Продольный профиль дороги. Высокие значения продольных углов наклона автодороги предопределяют типы дорожно-транспортных происшествий происходящих на них. На подобных участках преобладают

столкновения автомобилей, связанные с обгоном транспортных средств движущихся с невысокой скоростью (24%) или объезде остановившихся, а также съезды с дороги по причине неисправности тормозной системы или чрезмерном превышении скорости (40%). По данным японских исследователей рост аварийности при изменении угла уклона обусловлен увеличением длины тормозного пути на спусках в случаях экстренного торможения, а также частыми отказами тормозов автомобилей (неисправность наиболее характерная для крутых затяжных спусков).

По результатам исследования Бабкова В.Ф. зависимость аварийности от продольного уклона дороги носит линейный характер и увеличивается вместе с ним. Таким образом, горизонтальная автодорога является наиболее безопасной. Однако более поздние исследования, проведенные Васильевым А.П. показали, что зависимость носит не линейный характер. Минимальные ее значения соответствуют продольному уклону 15-25%. Это объясняется некоторым повышением внимательности водителей при движении по негоризонтальным участкам. Устойчивый рост аварийности наблюдается при значениях показателя выше 40 %. И сохраняется до 80 %. Дальнейшее увеличение практически не оказывает влияния на аварийность.

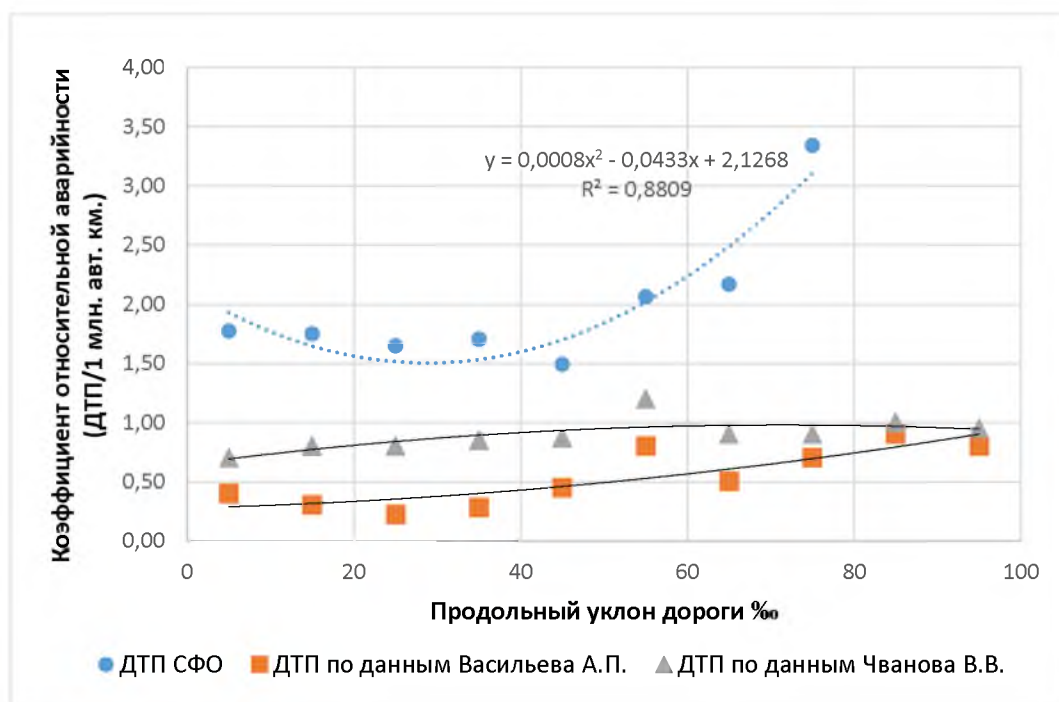


Рис. 6. Зависимость аварийности от величины продольного уклона

5. Радиус кривизны дороги в плане. Под планом дороги понимается отображение ее проекции на горизонтальную поверхность. Вполне очевиден тот факт, что уменьшение радиуса кривизны дороги повышает риск возникновения ДТП. Это обусловлено высокими угловыми скоростями при прохождении поворотов. Малые радиусы кривизны дороги как правило являются местами концентрации дорожно-транспортных проис-

шествий. По данным Бабкова В.Ф. на таких участках происходит 10-12% всех ДТП [2]. Исследования Васильева А.П. показали, что на участках кривых в плане с радиусом более 2000 метров условия движения практически не отличаются от прямолинейных участков. Более неблагоприятными по аварийности являются участки радиусом менее 600 метров, а на участках менее 200 метров наблюдается резкий рост числа ДТП [5]. Эти результаты подтверждаются исследованиями, проведенными в Швеции, Дании, Великобритании и США [3].

Результаты анализа ДТП в Сибирском федеральном округе в целом совпадают с результатами многочисленных исследований. Динамика изменения коэффициента относительной аварийности в зависимости от радиуса кривизны дороги отражена на рисунке 5. В соответствии с технической документацией в качестве элементов трассы значение радиуса кривизны рекомендуется принимать не менее 3 000 метров [8]. Однако как показывает анализ, значение радиуса кривизны в пределах от 1000 до 3000 метров оказывает незначительное влияние на аварийность.

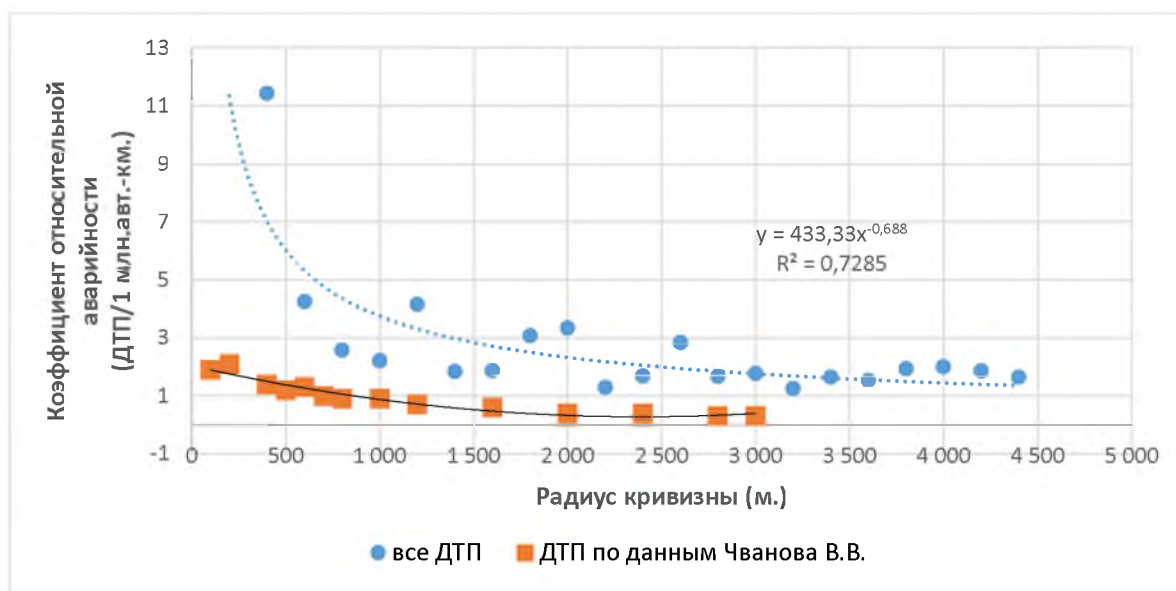


Рис. 7. Зависимость аварийности от радиуса кривизны дороги в плане

Вывод: таким образом, рассмотренные факторы, влияющие на безопасность дорожного движения в Сибирском федеральном округе, согласуются с данными исследований, выполненными Российскими и зарубежными исследователями и могут быть использованы при прогнозировании относительной аварийности в случаях проектирования новых и реконструкции существующих автомобильных дорог.

Список использованной литературы:

1. Послание по случаю начала Десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения // ООН URL:

<http://www.un.org/ru/sg/messages/2011/roadsafetydecade.shtml> (дата обращения: 20.04.2018 года).

2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. - М.: Транспорт, 1993. - 271 с.

3. Рунэ Эльвик, Аннэ Боргер Мюсен, Трулс Ваа. Справочник по безопасности дорожного движения/Пер. с норв. Под редакцией проф. В.В.Сильянова. М.: МАДИ, 2001. 754с.

4. Справочник по безопасности дорожного движения (справочное пособие) – М. РОСАВТОДОР, 2010. – 384 с.

5. Васильев А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. – М.: Транспорт, 1986. – 248 с.

6. Алханов А.В., Идрисов Р.Х., Алханова Р.Р. Проблема устранения мест концентрации дорожно-транспортных происшествий и пути ее решения // ВЕСТНИК НЦБЖД. - 2011. - №8. - С. 12-17.

7. ГИБДД РФ URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 20.04.2018).

8. СНиП 2.05.02-85 "Автомобильные дороги" от 01.07.2013.

УДК 629.3

Проблемы качества транспортного обслуживания городских пассажирских перевозках г. Иркутск

К.С. Журавлева

Руководитель Бутузова А.Б.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 8.

В данной статье был проведен обзор транспортного обслуживания городских пассажирских перевозках города Иркутска, проблемы транспортного обслуживания и пути их решения.

Ключевые слова: *транспортное обслуживание, качество транспортного обслуживания, городской общественный транспорт; автобусы; остановки; маршрутная сеть.*

Организация эффективного транспортного обслуживания населения является одной из важнейших задач во многих городах России. Острота и необходимость решения тех или иных проблем различны и зависят от условий страны, политического строя государства и многих других факторов. Неодинаковы также акценты и приоритеты. Различия связаны с экономическим положением государства, долями городского обществен-

ного транспорта в объемах перевозок, неодинаковыми уровнями качества обслуживания, неравномерными тарифами, себестоимости и других показателей. Транспортная система России, включает все виды современного пассажирского транспорта (городской электрический, железнодорожный, автомобильный, воздушный; водный); располагает обширной сетью путей сообщения[6].

Города всего мира по мере увеличения численности жителей сталкиваются с одной из главных проблем - транспортной.

Городской пассажирский транспорт является неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры города, основная задача которого обеспечение потребности в передвижении жителей.

Обращение к опыту развитых зарубежных стран показывает, что в условиях рыночных отношений возрастающую роль играет стремление к созданию развитой и эффективной системы разностороннего и разнорядового государственного регулирования транспортной деятельности. Одновременно наблюдается усиление роли транспортной сферы в системе социальной политики развитых государств.

Транспортные показатели все отчетливее ориентируются на степень качества жизни, участвуя тем самым в достижении общего национального социально-экономического эффекта. Таким образом, можно констатировать, что оценка эффективности транспорта как особой сферы экономики в развитых странах не сводится к определению финансовых, эксплуатационных и технико-экономических показателей, а выражается долей участия в социальной и экономической сфере жизни населения.

Сегодня приходится констатировать, что развитие пассажирского транспорта в мегаполисах и городах России существенно отстает от потребностей населения в передвижениях, являясь одним из главных источников, существующих в них социально-экономических проблем и негативно отражаясь на работе других отраслей экономики. Проблемы пассажирского транспорта пока далеки от результативного решения, и причин такого очевидного отставания множество[5].

Рассмотрим транспортное обслуживание одного из городов Российской Федерации - города Иркутска.

Город Иркутск - крупный научно-образовательный центр, в котором обучаются свыше ста тысяч студентов. Пассажирский транспорт в городе представлен следующими видами транспортных средств: автобусами (78 маршрутов), трамваи (7 маршрутов), троллейбусы (10 маршрутов). Пассажирские перевозки осуществляются Муниципальными организациями (ИркутскАвтотранс и Иркутскгорэлектротранс) и коммерческими (индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами). Большая часть пассажиров перевозятся на автобусах, в частности коммерческими перевозчиками.

Перевозки пассажиров осуществляются автобусами средней и малой вместимостью. Транспортные средства находятся в плохом техническом состоянии, что приводит к постоянному техническому обслуживанию ТС (из-за чего происходят простои, увеличение себестоимости перевозки и т.д.).

Так же проблемой перевозочного процесса является маршрутная сеть городского транспорта (дублирующие маршруты, подходы к остановочным пунктам и т.д.).

Исходя из вышеизложенного, для решения проблем совершенствования городских пассажирских перевозок, нужно изучить проблемы качества транспортного обслуживания населения.

Под качеством транспортного обслуживания населения понимается: интегрированная оценка уровня транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильного транспорта и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок[2].

Показатели качества транспортного обслуживания населения и их нормативные значения устанавливаются «Социальным стандартом транспортного обслуживания населения» [4].

К показателям качества транспортного обслуживания населения относятся:

1. Доступность.

Территориальная доступность остановочных пунктов.

Расстояние кратчайшего пешеходного пути следования от ближайшей к остановочному пункту точки границы земельного участка, на котором расположен объект, до ближайшего остановочного пункта, который обслуживается маршрутом регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом с учетом обхода естественных и искусственных преград, не превышает значений в зависимости от категории объекта от 300 до 700 м.

Остановочный пункт, обслуживаемый магистральным маршрутом, размещается в зоне застройки индивидуальными/многоквартирными жилыми домами на расстоянии кратчайшего пешеходного подхода не более 1200 метров, в случае если общая численность населения в зоне застройки индивидуальными/многоквартирными жилыми домами составляет не менее 600 человек.

При этом под магистральным маршрутом понимается маршрут регулярных перевозок по регулируемым тарифам, по которому осуществляются перевозки в пределах муниципального образования, ежедневно, с началом работы не позднее 6 часов и окончанием работы не ранее 23 часов, с интервалом не более 10 минут в течение всего времени работы,

обеспечивающий передвижение между двумя любыми остановочными пунктами, обслуживаемыми магистральными маршрутами, не более чем с двумя пересадками [4].

2. Надежность.

Надежность представляет собой характеристику качества транспортного обслуживания населения, выраженную в стабильности получения услуг по перевозке пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок и предсказуемости уровня их качества.

Соблюдение расписания маршрутов регулярных перевозок.

Отправление каждого рейса маршрута регулярных перевозок от каждого остановочного пункта, автовокзала и автостанции осуществляется в соответствии с установленным расписанием либо в пределах двух минут от указанного в расписании времени. Количество рейсов регулярных перевозок, осуществленных с опозданием свыше двух минут, не превышает 15% от общего количества рейсов маршрутов регулярных перевозок соответствующего вида сообщения[4].

3. Комфортность.

Под комфортностью понимается характеристика качества транспортного обслуживания населения, выраженная в уровне удобства пользования услугами по перевозке пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок, в том числе отсутствии физиологического и психологического дискомфорта для пассажиров в процессе потребления услуги [4].

3.1 *Оснащенность транспортных средств средствами информирования пассажиров.*

Все транспортные средства, используемые для осуществления перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок, оснащаются средствами информирования пассажиров.

3.2 *Уровень шума в салоне транспортных средств.*

Уровень шума в салоне транспортных средств, осуществляющих перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок не должен превышать допустимых пределов.

3.3 *Температура в салоне транспортных средств.*

Все транспортные средства, используемые для осуществления перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок, соответствуют температурному режиму, установленному в соответствии с температурой наружного воздуха - не менее 12 градусов Цельсия при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5 градусов

Цельсия, не более 25 градусов Цельсия при среднесуточной температуре наружного воздуха выше 20 градусов Цельсия.

3.4 Соблюдение норм вместимости.

Фактическая наполненность транспортного средства, используемого для осуществления перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по муниципальным и межмуниципальным маршрутам регулярных перевозок, составляет не более пяти человек на 1 кв.м свободной площади пола салона транспортного средства, предусмотренной для размещения стоящих пассажиров. Перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом по смежным, межрегиональным и международным маршрутам регулярных перевозок осуществляются только с использованием сидячих мест.

3.5 Экологичность.

Все транспортные средства, используемые для осуществления перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок, относятся к экологическому классу ЕВРО-4 и выше[4].

Проблемы обеспечения качества транспортного обслуживания населения г. Иркутска состоят в следующем:

Доступность и плохо обустроенные остановочные пункты. В городе Иркутск построено много новых жилых комплексов для которых не предусмотрены остановочные пункты. Поэтому подход к остановке может занимать от 10 минут и выше.

Не нормированное движение транспортных средств (т.е. расписание и интервал движения).

Множество дублирующих маршрутов, а так же есть маршруты, на которых подвижной состав приходится ждать более 10 минут или же ехать с пересадками.

Как говорилось выше, подвижной состав изношен. Поломка в пути может привести к дорожно - транспортному происшествию. Салоны транспортных средств находятся в удовлетворительном санитарном состоянии, плохо отапливаются в зимнее время года. Оснащение салонов: недостаточно свободного места для перемещения пассажиров при посадке и высадке. Остановочные пункты не объявляются, а если и озвучиваются, то на задних сидениях не всегда слышно.

Исходя из выявленных проблем, можно определить основные причины низкого качества пассажирских перевозок в городе Иркутске. К ним можно отнести следующие:

- отсутствие стандартов качества в сфере пассажирских перевозок;
- недостаток денежных средств в сфере обновления подвижного состава;

- недостаточно проработанная программа обновления транспортных единиц;

- неэффективная система контроля над перевозчиками по выполнению требований к организации пассажирских перевозок.

Повышение качества пассажирских перевозок автотранспортными средствами во внутригородском сообщении должно производиться с учетом:

- повышения качества оказываемых услуг в первую очередь в отношении наиболее отстающих показателей с целью выравнивания уровня всех характеристик качества относительно друг друга (выравнивание оценок качества по различным показателям);

- обеспечения первоочередного повышения качества услуг по направлениям, соответствующим текущей социальной, экономической, технико-технологической и градостроительной конъюнктуре (актуализация важнейших направлений качества);

- наличия в распоряжении заказчика перевозок ресурсов, направляемых на обеспечение деятельности перевозчиков и других исполнителей государственных контрактов (реальность изменений качества).

В заключение, можно отметить, что для повышения качества обслуживания пассажиров городским общественным транспортом, необходимо учитывать весь перечень показателей качества оказываемых услуг.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества [Электронный ресурс] // Электронный фонд научно-правовой и технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51004-96> (дата обращения: 15.04.2018).

2. Маркетинговые исследования спроса на рынке пассажирских транспортных услуг в г. Иркутске- С.А. Яценко, С.В. Колганов.

3. Носов А. Л. Показатели оценки качества транспортного обслуживания пассажиров// Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. –№ 12 (декабрь). – 0,3 п. л. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/16269.htm>.

4. Распоряжение министерства транспорта российской федерации от 31 января 2017 года n на-19-р [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://docs.cntd.ru/document/456042774>

5. Попова И. М., Шустов Р. А., Попова Е. А. Критерии оценки качества обслуживания городским пассажирским транспортом // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 126–130. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/95579.htm>.

6. Ширяев С. А., Кодиленко О. С., Кодиленко А. С. Зарубежный опыт организации транспортного обслуживания населения и возможности

его использования в России // Молодой ученый. — 2016. — №7. — С. 218-221. — URL <https://moluch.ru/archive/111/28007>.

УДК 656.11

Прогнозирование транспортного спроса к субурбанизированным территориям по параметрам их расположения

А.В. Зедгенизов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье рассматривается проблемы формирования связей и транспортной доступности в агломерациях, а также крупных городах и зонах их влияния. Приведены примеры влияния скорости сообщения на индивидуальном и общественном транспорте на радиус активной субурбанизации. Приведены данные транспортной доступности иркутской агломерации, включающей субурбанизированные территории всех форм землеиспользования. Получены зависимости, отражающие объемы генерирующей способности субурбанизированных территорий. Приведены примеры организации транспортного обслуживания жителей парижской агломерации. Проведен практический расчет и сравнение генерирующей способности субурбанизированных территорий с реальными замерами интенсивности на участках сочленения пригородной и городской территорий. Вынесены рекомендации практического применения полученных эмпирических зависимостей.

Ключевые слова: *агломерация; транспортная доступность; генерация передвижений; интенсивность транспортного потока; субурбанизация.*

Транспорт является одной из важнейших и наиболее сложных отраслей народного хозяйства. Она неотделима от технического прогресса, градостроительной политики и социального-демографического развития как отдельного города, так и страны в целом. Правильные, взвешенные решения в транспортной отрасли приводят к росту городов, развития смежных территорий и крупных производств, а также способствуют более качественному и полному удовлетворению культурно-бытовых потребностей населения.

В мировой практике развития и освоения территорий давно сложилась тенденция агломерационных связей, позволяющих активно использовать ресурсы смежных территорий [6, 7, 8, 12, 13]. Под ресурсами, прежде всего, понимается объединение возможностей транспортной ин-

фраструктуры, инженерных коммуникаций, мест приложения труда, культурного и бытового пространства. Следует также подчеркнуть и огромную значимость экономии городского пространства, поскольку расширение границ города потребует увеличения скорости сообщения и, вероятно, применения новых скоростных видов транспорта, что не всегда целесообразно, особенно при относительно низкой плотности населения. К тому же, в аспекте пропорциональности использования городских земель и преимущественного применения ИТ можно отметить, что до половины городской территории может занимать транспортная инфраструктура (дороги, развязки, парковки и др.). Напротив, при преимущественном использовании общественного транспорта ОТ (до 75-80%) доля территории города, занятой под транспортной инфраструктурой снижается до 20-25%, а при использовании метрополитена до 15% [10, 2].

Сегодня процессы агломерации становятся ключевым инструментом развития страны и ее территорий, обеспечивающим высокое качество жизни населения, создающим комфортную среду для развития бизнеса и повышающим конкурентоспособность России как единого целого, связанного с опорным каркасом системы расселения, транспортной и энергетической инфраструктурой, ориентированной на инновационный сценарий развития. Развитие агломерации связано с исчерпанием возможностей города для размещения производства, инфраструктуры и т.п., и необходимостью его развития на более широкой территориальной базе. Эти вопросы должны решаться комплексно с учетом перспектив развития прилегающих к городу территорий в формате агломерации.

Одновременно с развитием агломерационных связей увеличивается и дальность передвижений, что, в свою очередь, требует поддержания более высоких скоростей сообщения, сокращения накладных затрат времени. Средняя скорость сообщения на индивидуальном транспорте в крупных городах колеблется в интервале от 18 до 26 км/ч. При смешанном цикле город – пригород может возрастать до 33-35 км/ч. Средняя скорость сообщения на общественном транспорте ниже и колеблется в диапазоне 14-17 км/ч. Следовательно, радиус реальной агломерации ограничивается способностями транспортной инфраструктуры реализовывать соответствующие скорости сообщения, позволяющие укладываться в ограничения [3], например, для города Иркутска (600 тыс. чел.) эти ограничения составляют 37 минут для 85 – 90% населения города в один конец. Для городов с численностью населения более 1 млн. человек – 45 минут. Для городов, имеющих особый статус, столицы, города особого назначения, такой норматив устанавливается индивидуально в зависимости от специфики их функционирования.

Реальные агломерационные связи г. Иркутска с прилегающей территорией могут быть определены исходя из учета накладных затрат времени в пределах 26 % для индивидуального транспорта (ИТ) и 37 % для общественного транспорта (ОТ) от общих затрат времени на передвижение и

при средней скорости сообщения на ИТ 33 км/ч, а на ОТ 16 км/ч. Таким образом, реальные агломерационные связи на ИТ составят примерно 16 км., а на ОТ 8 км. (рис. 1). Данный радиус включает в себя большую часть коттеджных поселков, находящихся за чертой города («Молодежный», «Западный», «Изумрудный» и др.), дачные кооперативы, которые в последнее время активно используются для постоянного проживания, особенно в направлении «Мельничной Пади», крупные поселки (Держинск, Пивовариха, Мамоны, Смоленщина и др.), а также город – спутник Шелехов. Город – спутник Ангарск, в сложившихся условиях, не имеет с Иркутском устойчивых трудовых корреспонденций.

Доступность на общественном транспорте примерно в 2 раза ниже, чем на индивидуальном, что объясняется более низкой скоростью сообщения. Следует отметить, что большая часть города лежит в зоне доступности на общественном транспорте. В настоящее время исключением является микрорайоны «Ново-Ленино» и «Иркутск 2».

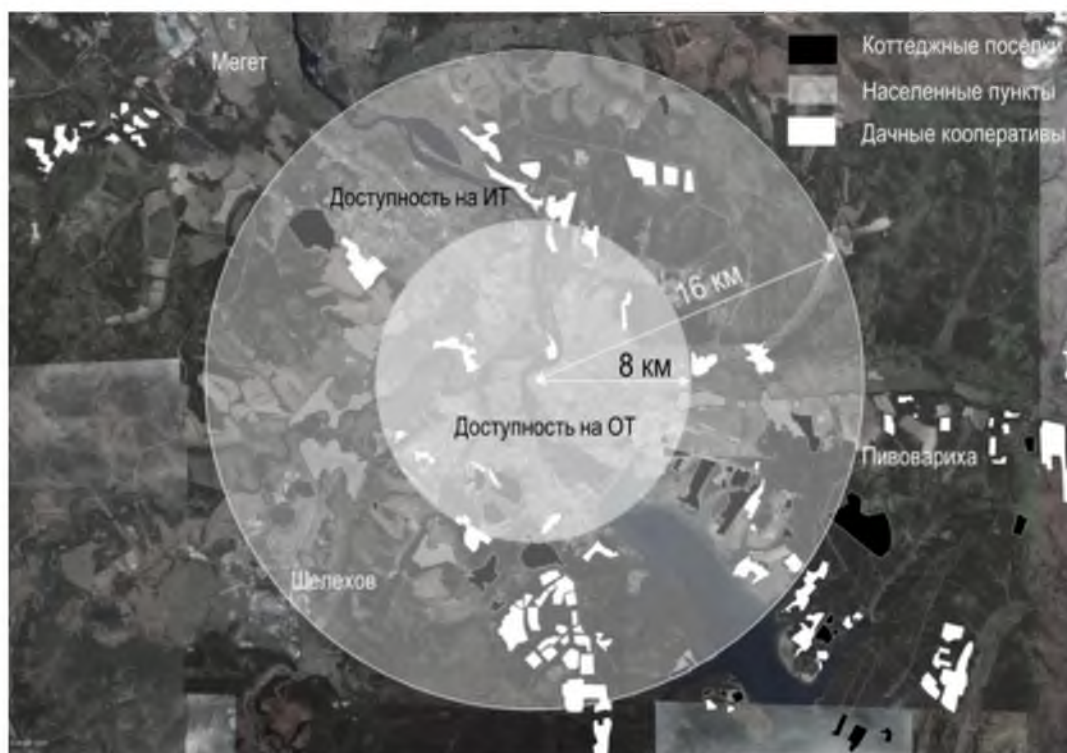


Рис. 1. Агломерационные связи г. Иркутска с прилегающими территориями

Из представленных выше доводов следует несколько основных выводов о целесообразности использования видов транспорта в зависимости от дальности передвижения. Безусловно, конкретные рекомендации должны быть даны исключительно персонально для каждого города, однако наиболее обобщенные можно предложить для крупных и крупнейших городов:

–центральная часть города – это среда в которой пешеход важнее автомобиля, общественный транспорт важнее индивидуального. Индивидуальный используется только при недоступности других видов транспорта;

–на территории города общественный транспорт имеет приоритет перед индивидуальным. Индивидуальный транспорт и пешеход равны;

–в пригороде и загородом, а также в средних и малых городах, а также в поселках городского типа, индивидуальный транспорт важнее общественного.

Последнее утверждение основывается на значительном снижении плотности населения до 15 – 20 чел./Га, по сравнению с плотностью населения крупных и крупнейших городов 50-60 чел./Га, а в наиболее плотных районах до 300 чел./Га и, следовательно, большей потребностью использования ИТ, что неизбежно приведет к заторам и нехватке мест для паркирования.

На практике нет возможности чётко разграничить применение транспорта по предложенному зонированию, поскольку корреспонденции могут осуществляться из пригорода. Так, например, корреспонденция, осуществляемая из пригорода на расстоянии 10-15 км. в центр города в 90% случаев будет реализована на ИТ [5]. Наиболее эффективным мероприятием, которым активно пользуются в странах Европы является стимулирование пересадки с ИТ на ОТ путем создания перехватывающих парковок на границе с центральной частью города (P+R, Park&Ride) и одновременным введением высоких тарифов на парковку в центральной части. Политика стимулирования преимущественного использования ОТ на территории города и, прежде всего, в его исторической части, обусловлена необходимостью снижения интенсивности транспортных потоков, сегодня, наиболее загруженными участками УДС в городах являются зоны слияния городской территории и пригородов в пиковые периоды.

В силу ограниченной скорости сообщения, агломерационные связи достаточно сильны на расстоянии 15-20 км. И в значительной степени ослабевают на расстоянии уже 25-30 км. Таких же данных придерживается и автор [1]. На расстоянии 50 км. и более взаимосвязь городов наблюдается в единичных случаях и никак не может считаться массовыми. Одним из наиболее ярких примеров большого радиуса агломерации является Парижская «Большой Париж», радиус которой в настоящее время оценивают до 70 км. Такой радиус обеспечивается за счет применения сверх скоростных поездов скорость сообщения, которых достигают 250-300 км/ч. Таким образом, политика объединения городов в агломерации позволит консолидировать усилия по модернизации градостроительной, транспортной отрасли, объединить рынки труда, сбыта в том числе и энергоресурсов, предложить оптимальные решения в сфере экологии.

Анализ данных пригородной территории г. Иркутска, находящейся в зоне его влияния с учетом оценки генерирующей способности территории / ЦМТ данного типа, позволяет выполнить расчеты и сформировать эмпи-

рические зависимости направленные на прогнозирование интенсивности транспортных потоков непосредственно в месте слияния прилегающей территории к транспортным потокам в городской черте. Наиболее ярким примером, позволяющим прогнозировать загрузку УДС является тракт в направлении «Мельничная Падь», поскольку имеет локальную (тупиковую) направленность. Исследования, проведенные в данном направлении [4], позволяют утверждать, что территория дачных кооперативов (ДТН, СНТ) может генерировать порядка 9 - 14 корр./Га такой территории / ЦМТ. Учитывая весьма существенные объемы освоения территории в пригородных направлениях, порядка 3000 Га в каждом из направлений, то возникающая при такой генерирующей способности интенсивность способна превратить места перехода пригородной черты в городскую в места массовых и перманентных транспортных заторов. Даже приблизительные расчеты показывают, что в пиковые периоды, интенсивность транспортных потоков с пригородной территорией может достигать 1500 – 2000 авт./ч. [9]. При прогнозировании интенсивности следует учитывать не только площадь территории / ЦМТ, но и её удаленность, поскольку при совершении ежедневных трудовых корреспонденций этот фактор может играть значительную роль.

Регрессионный анализ показывает, что в целом эмпирическая зависимость удовлетворяет статистическим критериям ($R^2 = 0,95$; $F_{95\%;1;6} = 80,75$; $t_{95\%;5} = 12,6$) на рассматриваемом уровне значимости. На рис. 2. наглядно продемонстрирована полученная зависимость в виде плоскости, наклон которой, практически не заметен относительно оси на которой расположены значения удаленности от центра города.

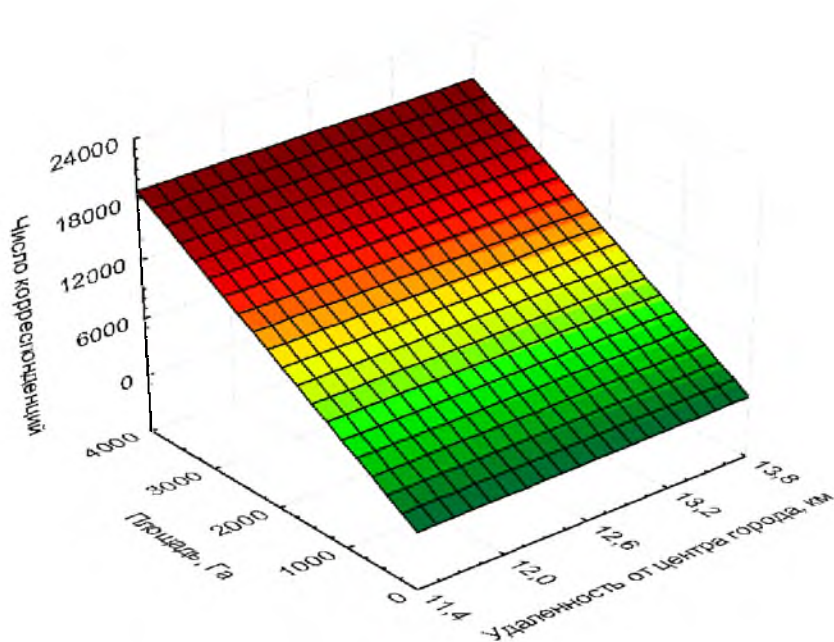


Рис. 2. Зависимость числа корреспонденций от площади СНТ ДТН и удаленности от центра города

Таким образом, для выявления суточного объема корреспонденций к СНТ и ДТН можно пользоваться эмпирическим выражением:

$$E_{16} = 7,069 \cdot S_{16}, \quad (1)$$

где S_{16} – площадь СНТ, ДТН, Га. Из выражения следует, что 1 Га территории / ЦМТ этого типа генерирует примерно 7 человек. Уравнение 1 будет справедливо только для периода дачного сезона с май по октябрь. Проведенные исследования в зимний период (февраль) показывают, что фактор удаленности от центра города имеет решающее значение. С другой стороны, в период трудового года, когда возникает необходимость каждодневных трудовых корреспонденций, расстояние от центра города становится основным фактором. Так, например, удельная генерация корреспонденций СНТ «Электрон» находящегося на расстоянии 12 км. от центра города составило 3,4 чел./Га, одновременно с этим, СНТ «Подснежник» удаленное на расстояние 16 км. – 1,4 чел./Га и СНТ «Дорожный строитель» удаленное на 20 км. – 0,4 чел./Га. Из данных исследований можно выявить закономерность:

$$G = 7,73 - 0,375 \cdot L \quad (2)$$

где G – удельная генерация корреспонденций, чел./Га. L – удаленность от центра города, км. Причем, из выражения следует что минимальное расстояние от центра города 7,73 км., а максимальное 20,6 км. Что соответствует снижению удельной генерации примерно на 0,52 чел./Га с удалением на каждый километр.

На основе полученных уравнений возможно прогнозировать интенсивность транспортных потоков, в том числе и в направлении «Мельничная Падь». Известно, что общая площадь территории СНТ и ДТН в рассматриваемом направлении составляет 3002 Га, следовательно, и объем суточных корреспонденций по (1) составит $Y = 7,069 \cdot 3002 = 21221$ корр./сут. Учитывая среднюю долю корреспонденций на ИТ 0,78, среднее наполнение ИТ 1,73 чел./авт, а также коэффициент суточного максимума (часовой неравномерности в пиковый час) – 0,103, то имеем 9576 авт./сут., и пиковое значение интенсивности 986 авт./час [11,14, 15]. Проверка полученного регрессионного уравнения и проведенных расчетов с натурным экспериментом представлена на рис.3.

Выполненный расчет и натурный замер практически совпадают (отклонение составило менее 5 % по суточной интенсивности и несколько выше до 10 % по часовой интенсивности транспортных потоков). На основе, предлагаемой эмпирической зависимости, а также справочной информации о функционировании территории / ЦМТ данного типа можно проводить прогнозирование интенсивности транспортных потоков, и, следовательно, уровня загрузки на отдельных узлах УДС как на текущее

состояние, так и на перспективу. Одновременно с проведенным расчетом, автор считает, что сопоставление коэффициентов суточной неравномерности (на основе анализа RMSE) может дать ответ на вопрос о схожести функционирования (СНТ, ДТН) с городскими жилыми районами (рис. 4).

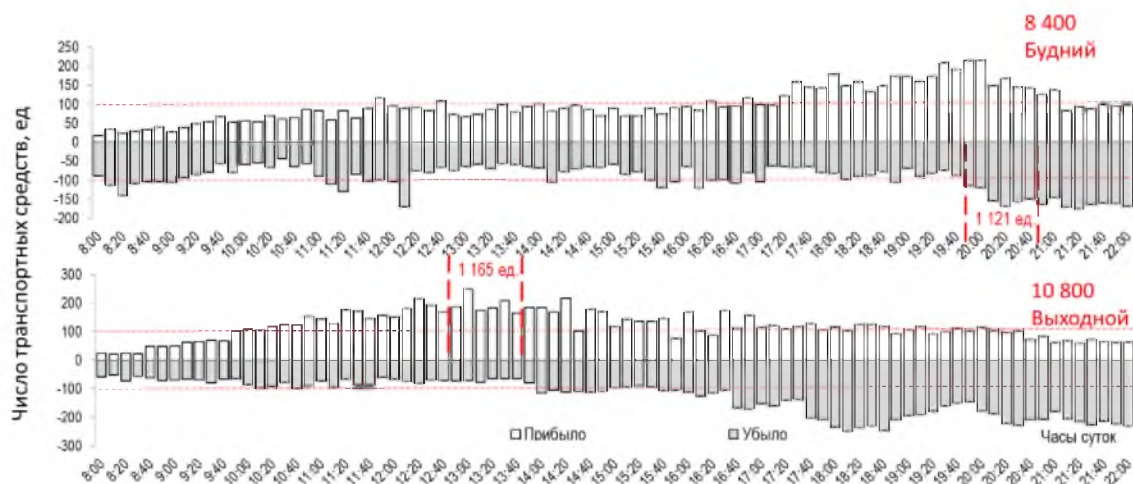


Рис. 3. Натурный замер интенсивности транспортного потока

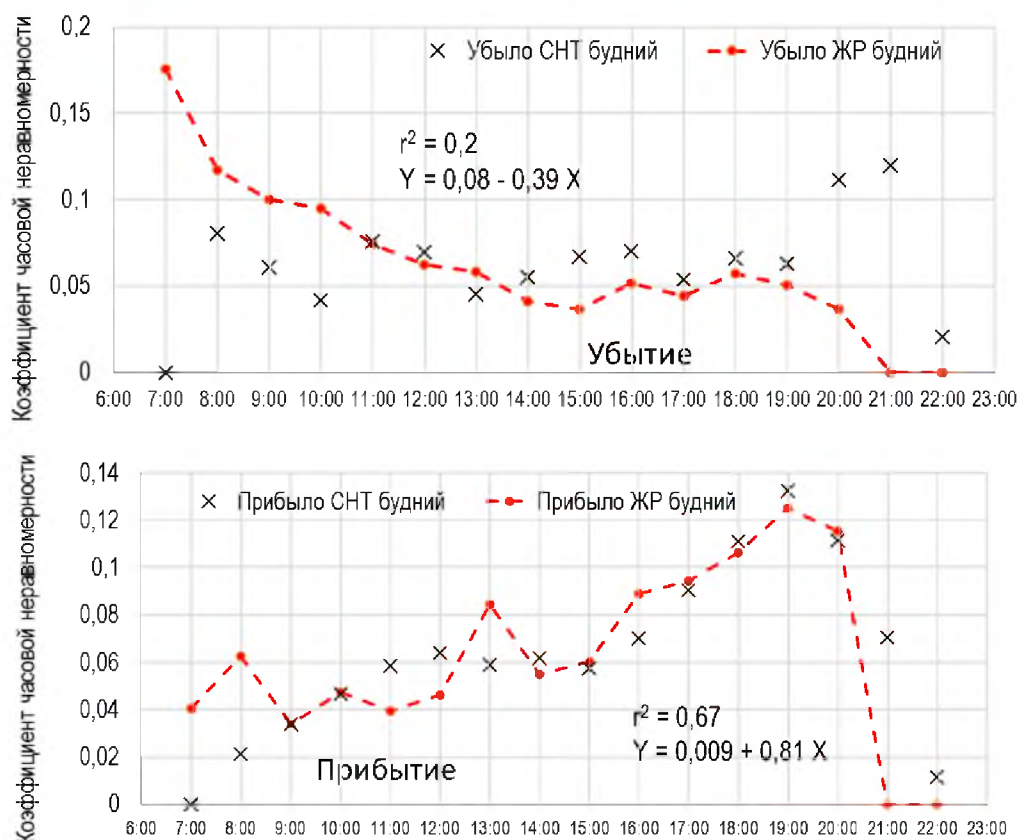


Рис. 4. Анализ RMSE коэффициентов суточной неравномерности СНТ ДТН и жилого района (ЖР) по прибытию и убытию

Проведенный анализ показывает, что характер функционирования по прибытию в значительной степени совпадает ($r^2 = 0,67$), а характер функционирования по убытию разный. Это может быть обусловлено тем, что в СНТ и ДТН посетители прибывают после работы, что показывает схожий

характер с жилыми районами. Однако в случае с убытием пик СНТ и ДТН приходится на вечерние часы, когда часть посетителей возвращается в городскую черту в жилые районы (квартиры).

В заключение следует отметить, что дальнейшие исследования развития пригородной территории, а это, фактически, процессы субурбанизации, необходимо проводить с учетом множества других факторов, например, с учетом материального благосостояния, развития улично-дорожной сети, наличия альтернативных транспортных систем, пригородных поездов и т.п.

Список использованной литературы:

1. Бучев Л. Ф. Планировочная структура групповых систем населенных мест в районах интенсивного промышленного освоения. Автореф. канд. диссерт. М., 1976, (ЦНИИП градостроительства).
2. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах удобных для жизни / пер. с англ. А. Калинина под научн. ред. М. Блинкина.: Территория будущего; Москва; 2011 г.
3. Городков А.В. Основы территориально-пространственного развития городов: учеб. пособие / А.В. Городков, С.И. Федосова. – Брянск: БГИТА, 2009. – 326 с.
4. Зедгенизов А.В. Субурбанизация города Иркутска: масштаб и последствия. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость № 1 (16) 2016. – 159-165.
5. Зигель А. Модели группового поведения в системе «человек–машина» / А. Зигель, Д. Вольф. – М.: Мир, 1973. – 216 с.
6. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
7. Руководство по реконструкции городов. Административные центры городов. – М.: Стройиздат, 1979. – 159 с.
8. Сигаев А.В. Планировочные и транспортные проблемы городских агломераций. М., Стройиздат, 1978. 152 с.
9. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
10. СНиП 2.07.01–89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Госстрой СССР. – М.: ЦНТИ Госстроя СССР, 1989. – 56 с/
11. Goulias K., Pendylala R., Kitamura R. “Practical Method for the Estimation of Trip Generation and Trip Chaining”, Transportation Research Record 1285, Transportation Research Board. – Washington, DC. – 1990.
12. Hanson S, Huff J. Classification Issues in the Analysis of Complex Travel Behavior // Economic Geography. – 1987. – Vol. 57. – P. 332–347.

13. Sohoni, A.V. Thomas, M., Rao, K.V.K. Application of the concept of transit oriented development to a suburban neighborhood. Transportation Research Procedia Volume 25, 2017, Pages 3224-3236.
14. Trip Generation, 8th Edition. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers (ITE). – 2008.
15. Zedgenizov A.V. Burkov D.G. Methods for the Traffic Demand Assessment Based on the Quantitative Characteristics of Urban Areas Functioning. 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. Edited by Ulrich Brannolte, Pavel Pribyl and Valentin Silyanov. Transportation research procedia 724-730.

УДК 656.13.005

Оптимизация системы управления логистическими транспортными потоками

Е.М. Серкина, О.С. Прокофьева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В статье показана концепция осуществления интеграции ключевых компетенций транспортно-логистической системы. Интеграция структуры ТЛС делает ее иерархической и адаптивной, усиливая ее способность к взаимодействию и саморегулированию на основе использования общих информационных ресурсов.

Для реализации компетенций ТЛС применяется контроллинг, позволяющий выявить ошибки, отклонения и проблемы системы в прошлом. Также для реализации компетенций ТЛС применяется концепция проектирования – реинжиниринг, позволяющий проводить мониторинг результатов данного процесса, позволяющий определять причины неэффективности и выявляются факторы, оказывающие негативное воздействие на результаты.

Ключевые слова: *интеграция транспортных процессов, структура транспортно-логистической системы, контроллинг, реинжиниринг.*

В настоящее время значение логистики в управлении предприятием возрастает. Это обусловлено расширением производства и ассортимента производимой продукции, разрастанием сети оптовой и розничной торговли, усложнением взаимоотношений с поставщиками товаров и услуг. В связи с этим становится актуальным мнение о том, что оптимальное

управление логистической системой на предприятии позволяет повысить как текущий, так и стратегический уровень конкурентоспособности [1].

На основе логистической концепции осуществляется интеграция транспортных процессов в сбытовой механизм товаропроизводителя: “Необходимость логистического подхода в практике хозяйственной деятельности обусловлена прежде всего переходом от рынка продавца к рынку покупателя, который требует гибкого реагирования производственных и торговых систем на быстро изменяющиеся приоритеты потребителей”.

Все логистические элементы, включая транспорт, взаимосвязаны и взаимосвязаны, следовательно, необходимо комплексно подходить к их дальнейшему развитию, на базе которого будет происходить формирование инновационных транспортных систем сбора и распределения материальной продукции.

Транспорт является основной функциональной подсистемой рыночной логистики. Транспорт обеспечивает необходимый режим движения товаропотоков по основным параметрам: по траектории и скоростям движения, по времени, мощности и интенсивности. В этом смысле транспорт является обслуживающей системой по отношению к процессу товародвижения, который, в свою очередь, обусловлен особенностями материалопотребления оптовых покупателей.

Являясь самостоятельным и значительным элементом логистической системы товародвижения, транспорт выполняет системообразующую функцию во всей логистической системе, поскольку реализует на практике сам процесс товародвижения.

Транспортная система, и ее частный случай – транспортно-логистическая система, охватывает и объединяет с помощью управления в единый процесс такие виды логистической деятельности, как информационный обмен, транспортировку, управление запасами, складским хозяйством, грузопереработку и упаковку.

Транспортно-логистическая система – это элементы (звенья), которые взаимодействуют на принципах безопасности и саморегулирования, обеспечивая взаимодействие грузоотправителей, транспортных компаний, экспедиторов и грузополучателей на базе распределённой вычислительной сети с едиными стандартами управления данного процесса. Данная система обладает способностью к созданию объединенного экономического результата большей ценности, чем результат работы одного звена [2].

Проблемы эффективного управления процессами в транспортно-логистической системе (ТЛС) должны рассматриваться на основе, связанной с интегрированным подходом к процессам и ресурсам. Этот подход объединяет такие сферы, как менеджмент, управление рисками, системную инженерию, безопасность процессов и цепей поставок.

Важное место в управлении ТЛС занимает рассмотрение проблемы саморегулирования бизнес-процессов на основе их совершенствования. На рисунке 1 представлены ключевые компетенции цепи поставок (работ) в рассматриваемых системах.

Интеграция ключевых компетенций ТЛС сказывается на движении грузов, а также финансовых и информационных потоках. Становится возможным высокоэффективное взаимодействие между элементами, рассматривая ТЛС как единый и самоорганизующийся экономический организм.

Звенья образуют структуру ТЛС, которая рассматривается как совокупность составляющих эту систему элементов и их взаимодействий друг с другом, проявляющихся в отношениях «транспортная организация-потребитель». Организационно-технологическая структура звена - это совокупность ключевых процессов, компетенций, результатов, связей и системных факторов между ними, которые и образуют ТЛС. Главная цель ключевых компетенций - повышать ценность системы, придавая грузам полезность формы, места и вида [3].

Структура ТЛС является иерархической и адаптивной. Основное свойство звена – это способность к взаимодействию и саморегулированию на основе использования общих информационных ресурсов.

Главным фактором успешного осуществления операции в транспортировке грузов в интегрированной ТЛС является информация и знания, которые формируются на ее основе. Для осуществления этих целей на всех иерархических уровнях создается высокоэффективная и опережающая действия, информационная система. Данная система обеспечивает управление в реальном времени процессами, которые охватывают движение грузов от заключения контракта с поставщиками до их доставки грузополучателю [4].

Для реализации компетенций ТЛС важное значение имеет применение метода контроллинга процессов, а также реинжиниринг.

1. Контроллинг - это система управления достижением конечных целей системы. Контроль направлен в прошлое, на выявление ошибок, отклонений, просчетов и проблем.

Система контроллинга целесообразна в тех случаях, когда функции управления организацией делегированы его отделам и службам. В этом случае он поможет им в достижении максимально возможного общего положительного результата деятельности.

Контроллинг как инструмент менеджмента подразделяется на:

- стратегический (делать правильное дело) определяет целевую картину компании и путь, который оптимально сочетает в себе рост, прибыльность и развитие данного бизнеса;

- оперативный (делать дело правильно) согласование оперативных целей отдельных направлений бизнеса и бизнесединиц и интеграция этих целей с оперативными целями компании в целом;

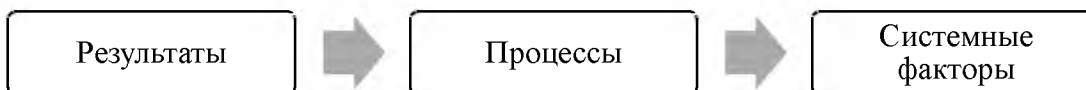


Рис. 2. Анализ элементов обратной связи

С помощью использования данных принципов диагностики и мониторинга выявляются причины неэффективности и выявляются факторы, оказывающие негативное воздействие на результаты.

Данный подход, основанный на бизнес-процессах, позволяет определять взаимосвязи между всеми операциями и функциями, факторами и путями их совершенствования.

Из вышеизложенных принципиальных подходов следует, что победителем в конкурентной борьбе будет тот, кто выдвигает новые идеи, кто подготовлен не столько к обработке больших потоков информации, сколько к их системному интегрированному управлению в рамках «расширенной» ТЛС [6]. В настоящее время появляется возможность перехода к такой организационно-технической модели ТЛС, которая рассматривает информацию и знания как высокорентабельный и неограниченный экономический ресурс.

Выделение структурных блоков концепции связано с оценкой роли логистических посредников (провайдеров) в ходе управления транспортировкой грузов. Поэтому объектами инвестиций должны быть не только информационные порталы, но и аналитические «центры знаний», расположенные в звеньях.

Цель применения сетевых принципов взаимодействия - соединить наиболее рациональным и экономичным образом тех, кто владеет ресурсами, знаниями и информацией, с теми, кто их ищет. В этой связи создаются предпосылки для распространения аутсорсинга на транспорте. Экономической основой этого процесса является стремление снизить издержки и сконцентрироваться на управлении профильными компетенциями [7].

Одним из важнейших факторов конкуренции при реинжиниринге процессов является время. За последнее годы коренным образом меняется подход к управлению бизнес-процессами на базе требований международных стандартов. Организации транспортного комплекса РФ осознали, что с помощью логистики и управления процессами участников, входящих в ТЛС, можно снизить издержки, улучшить качество обслуживания, в итоге - повысить уровень безопасности транспортировки. Достижение высокого уровня безопасности процессов становится возможным на основе применения международных стандартов, методов идентификации и управления рисками.

Список использованной литературы:

1. Аникин Б.А. Основные и обеспечивающие функциональные подсистемы логистики: учебник / Б.А. Аникин [и др.]; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. - Москва: Проспект, 2015. - 601 с.

2. Беляев В.М., Миротин Л.Б., Некрасов А.Г., Покровский А.К. Управление процессами в транспортных логистических системах: учеб. пособие / под общ. ред. А.Г. Некрасова. - М.: МАДИ, 2011. - 127 с.
3. Аникин Б.А. Управление цепями поставок: учебник / Б.А. Аникин; под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. - М.: Проспект, 2011. - 213 с.
4. Транспортная логистика: учебник / под общ. ред. проф. Л.Б. Миротина. – М.: Изд-во "Экзамен", 2003. - 511 с.
5. Эффективность логистического управления: учебник / под общ. ред. проф. Л.Б. Миротина. - М.: Изд-во "Экзамен", 2004. – 448 с.
6. Афанасенко И. Д. Логистика снабжения: для бакалавров, магистров и аспирантов: учеб. для эконом. специальностей / И.Д. Афанасенко, В.В. Борисова. - 2-е изд. - Санкт-Петербург: Питер, 2016. - 383 с.
7. Миротин Л.Б. Логистика интегрированных цепочек поставок: учебник / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов. - М.: Изд-во "Экзамен", 2003.

УДК 656.072.4

***Использование данных системы автоматизированной системы
оплаты проезда для обследования пассажирских потоков***

А.И. Фадеев, С. Алхуссейни

Сибирский федеральный университет, 660074, г. Красноярск,
ул. Киренского, 26.

В настоящей работе рассмотрена методика определения транспортного спроса посредством данных системы безналичного расчета за проезд в городском пассажирском транспорте.

Определение поездки пассажира осуществляется путем анализа последовательности транзакций оплаты за проезд. Оплата за проезд выполняется в пункте посадки пассажира или в пункте завершения поездки, т.е. параметры начала или окончания поездки известны из этой операции. Очевидно, что неизвестный пункт поездки находится среди пунктов маршрута, определенного в текущей транзакции оплаты за проезд. Он выбирается из пунктов находящихся в пешеходной доступности от пункта, в котором осуществлена оплата за проезд.

Описанный в статье алгоритм определения поездок пассажиров реализован в компьютерной программе на языке программирования Delphi с использованием реляционной СУБД. Применение реляционной СУБД обусловлено эффективным использованием аппарата реляционной алгебры посредством языка SQL. В результате получен программный комплекс, позволяющий осуществлять обработку большого массива информации.

Ключевые слова: *транспортный спрос, пассажирские потоки, пассажирская поездка, пассажирская корреспонденция.*

Для определения подвижности населения используются трудоемкие методы анкетирования населения или обследования пассажирских потоков. В этой связи определение транспортного спроса с использованием данных информационных систем обеспечения транспортных процессов является актуальной задачей, поскольку позволяет существенно снизить затраты ресурсов для изучения транспортного спроса. В настоящей статье рассматривается задача определения параметров пассажирских потоков посредством транзакций автоматизированной системы оплаты проезда.

В городском пассажирском транспорте общего пользования, как правило, оплата осуществляется за одну операцию, при выполнении которой фиксируется место и время транзакции, а также маршрут и транспортное средство, в котором выполняется поездка. Для определения транспортного спроса необходимо определить второй пункт поездки пассажира.

Задача исследования транспортного спроса с использованием систем безналичного расчета за проезд рассмотрены в следующих работах [1..12], в которых исследовался транспортный спрос метрополитена [1, 2, 5, 8, 10], железной дороги [3, 6, 7], наземного пассажирского транспорта (автобус, трамвай) [2 .. 10].

Определение поездки пассажира осуществляется путем анализа последовательности транзакций оплаты за проезд. Оплата за проезд выполняется в пункте посадки пассажира, т.е. параметры начала поездки известны из операции оплаты. Пункт завершения поездки устанавливается, исходя из предположения, что он находится на расстоянии пешеходной доступности от пункта выполнения операции оплаты за проезд в следующей по времени транзакции проездного билета (магнитной карты).

В большинстве работ осуществляется анализ транзакций за один день. Последняя поездка определяется, исходя из предположения, что пассажир возвращается в пункт начала первой поездки или в ближайший пункт, находящийся в зоне пешеходной доступности от первого пункта поездки.

Для определения пассажирских корреспонденций в рассматриваемых работах применяется похожие алгоритмы, которые отличаются параметрами данных информационных систем оплаты проезда, а так же использованных значений пешеходной доступности и максимального времени, отводимого на выполнение пересадки пассажира.

Следует отметить следующие недостатки методик, описанных в рассматриваемых статьях:

а) не рассматривается порядок определения поездки при условии оплаты проезда при выходе из транспортного средства, который применяется. Сегодня в России такой вариант расчетов за поездку существует.

Он, например, применяется при использовании для перевозок пассажиров автобусов малой вместимости

б) определение поездок осуществляется на основании анализа данных одного дня. При этом последняя поездка интерпретируется, исходя из предположения возвращения пассажира в пункт начала первой поездки. Не рассмотрена возможность определения поездок на основании анализа операций оплаты за проезд, осуществленных в следующие дни.

В настоящей работе рассмотрен алгоритм, в котором учтены приведенные выше недостатки, и результаты его применения для определения спроса наземного пассажирского транспорта города Красноярска.

Как упоминалось выше, в транзакции зафиксирован один из пунктов поездки. При оплате проезда в начале поездки это начальный пункт, в конце поездки – конечный пункт. Другой пункт поездки (конечный или начальный) определяется на основании смежной транзакции. Смежной является следующая транзакция при оплате в начале поездки или предыдущая транзакция, при оплате в конце поездки. Для определения другого пункта поездки оцениваем, являются ли смежные транзакции связанными (последовательными), т.е. цепочка перемещений пассажира осуществлялась с использованием маршрутного транспорта, в котором применяется безналичная оплата проезда. Если последовательность поездок прерывается, например, для одной из поездок пассажир воспользовался такси, фиксируются неразрешенные поездки, у которых неизвестным остается начальный или конечный пункт.

Очевидно, что последовательные транзакции должны отвечать следующим условиям:

а) при оплате в начале поездки в подмножестве остановочных пунктов маршрута текущей транзакции, расположенными за пунктом оплаты, имеется остановочный пункт, находящийся в пределах пешеходной доступности от пункта оплаты поездки следующей транзакции при условии, что оплата в следующей транзакции осуществлена в начале поездки.

б) при оплате в конце поездки в подмножестве остановочных пунктов, находящихся перед пунктом оплаты, маршрута текущей транзакции имеется остановочный пункт в пределах пешеходной доступности от пункта оплаты поездки предыдущей транзакции при условии, что оплата в предыдущей транзакции осуществлена в конце поездки.

Поскольку пункты текущей и следующей транзакции могут принадлежать разным маршрутам, для расчета расстояния между ними будем использовать их глобальные координаты.

На основании вышеизложенного предложен алгоритм решения задачи определения поездок пассажира, который реализован в компьютерной программе на языке программирования Delphi с использованием реляционной СУБД. Применение аппарата реляционной алгебры посредством языка SQL позволяет осуществлять обработку большого массива информации. Например, месячный объем транзакций оплаты проезда транспор-

та города Красноярска (более 6 млн. транзакций) в СУБД MS SQL Server обрабатывается за 20 часов работы компьютера.

Анализ эффективности предложенного алгоритма осуществлен с использованием 6,2 млн. транзакций оплаты за проезд (октябрь месяц 2016 года), предоставленных Муниципальным казенным учреждением города Красноярска (МКУ) «Красноярскгортранс». На рис. 2 приведено распределение удельного веса расшифрованных транзакций по дням месяца. Из рисунка 2 видно, что алгоритм позволяет интерпретировать порядка 72% транзакций. Снижение удельного веса распознанных транзакций к концу месяца объясняется отсутствием в базе данных транзакций последующих поездок, которые были осуществлены в следующем месяце; некоторые пассажиры выполняют поездки с перерывом в несколько дней. При определении поездок за требуемый день в базе данных должны присутствовать транзакции порядка 5 следующих дней.

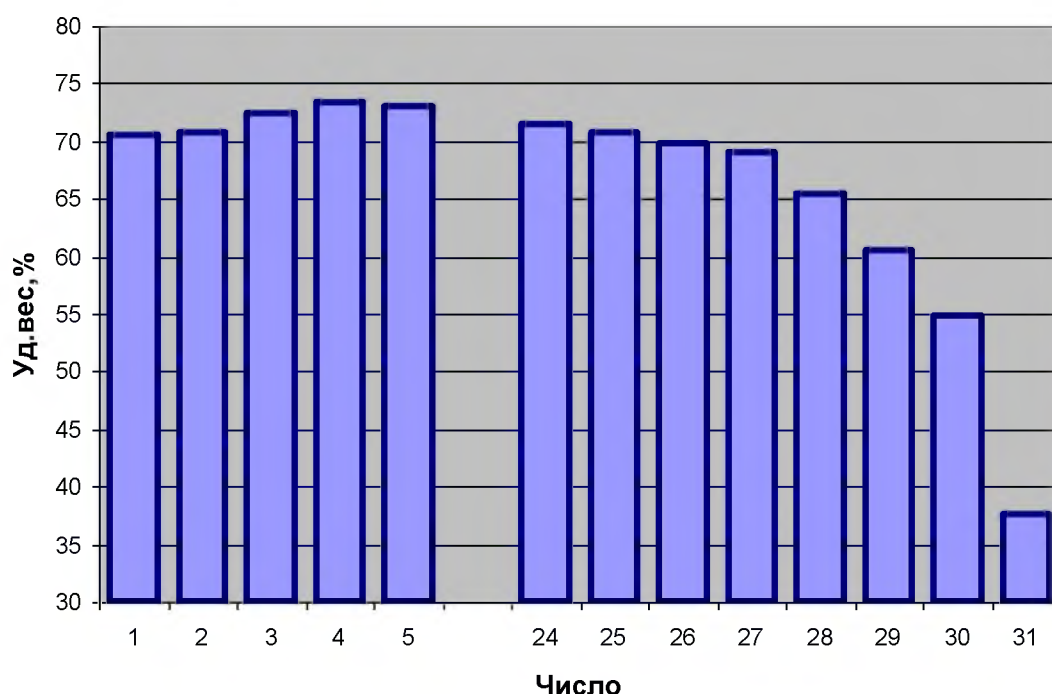


Рис. 1. Распределение удельного веса расшифрованных транзакций по дням месяца

На рис. 2 приведены данные по удельному весу расшифрованных транзакций по дням. Из рисунка видно, что к концу анализируемого периода наблюдается существенное снижение удельного веса расшифрованных поездок: для повышения данного показателя требуется перекрытие в анализируемых данных порядка 5 дней.

Таким образом, предложена методика, которая позволяет получить поездки пассажиров путем обработки операций безналичного расчета за проезд в городском пассажирском транспорте общего пользования. Полученные поездки можно рассматривать как выборочную совокупность из генерального множества поездок. Требуется отдельного рассмотрения зада-

ча соответствия выборочной совокупности поездок, полученных по данным системы безналичного расчета, генеральному множеству поездок (за наличный и безналичный расчет). Необходимо доказать, что основные параметры выборочной совокупности, такие как распределение поездок по сети, уровень пересадочности, длина поездок и т.д. соответствуют генеральной с достаточной точностью. Так же необходимо решить вопрос с порядком определения удельного веса поездок по безналичному расчету: следует ли рассчитывать его в среднем по сети, или требуется дифференциация по видам транспорта (автобус, трамвай троллейбус), маршрутам и т.д.

Список использованной литературы

1. Barry, J.J., Newhouser, R., Rahbee, A., Sayeda, S., 2002. Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. *Transportation Research Record* 1817, 183–187.
2. Zhao, J., Rahbee, A., Wilson, N., 2007. Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 22, 376–387.
3. Trépanier, M., Tranchant, N., Chapleau, R., 2007. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *Journal of Intelligent Transportation Systems* 11, 1–14.
4. Devillaine, F., Munizaga, M.A., Trépanier, M., 2012. Detection activities of public transport users by analyzing smart card data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2276, 48–55.
5. Munizaga M., Palma C., Estimation of an aggregate multimodal public transport OD matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C*, Vol. 24, 2012, pp. 9–18.
6. Bagchi, M., White, P., 2004. What role for smart-card data from bus systems? *Munic. Eng.* 157, 39–46.
7. Nassir, N., Khani, A., Lee, S.G., Noh, H., Hickman, M., 2011. Transit stop-level origin–destination estimation through use of transit schedule and automated data collection system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2263, 140–150.
8. Cui, A., 2006. Bus Passenger Origin–Destination Matrix Estimation using Automated Data Collection Systems Master’s Dissertation. Massachusetts Institute of Technology.
9. Wang, W., John P., Nigel H.M. Bus Passenger Origin–Destination Estimation and Travel Behavior using Automated Data Collection Systems in London. *Journal of Public Transportation*, Vol. 14, No. 4, 2011
10. Alsger, A., Mesbah, M., Ferreira, L., Safi, H., 2015. Use of smart card fare data to estimate public transport origin–destination matrix. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2535, 88–96.

11. Barry, J.J.; Freimer, R.; Slavin, H.L. Use of Entry-only Automatic Fare Collection Data to Estimate Linked Transit Trips in New York City. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2009, 2112, 53–61.
12. Mahrsi K. El., Côme E., Oukhellou L., Verleysen M. , Clustering smart card data for urban mobility analysis. IEEE Transactions on intelligent transportation systems, VOL. 18, NO. 3, March 2017.

УДК 656.07

Транспортно-логистическая инфраструктура региона: проблемы управления

О.А. Фрейдман

Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074,
г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

Эффективное развитие региональных экономических систем в условиях рыночной экономики основано на возможностях организации систем товародвижения. Проведен анализ современного состояния транспортно-логистической инфраструктуры в России, дана характеристика направлениям развития рынка транспортно-логистических услуг. Намечены направления и ожидаемые результаты консолидации усилий в сфере развития транспортно-логистической инфраструктуры в регионах России.

Ключевые слова: транспортно-логистическая инфраструктура, рынок транспортно-логистических услуг, региональная транспортно-логистическая система.

Понятие транспортно-логистическая инфраструктура (далее ТЛИ) рассматривается в нескольких аспектах. Во-первых, в аспекте составляющих ее систем, а именно: транспортной, складской, социальной, производственной, финансовой и информационной подсистем. Во-вторых, в аспекте взаимосвязи этих элементов в едином инфраструктурном комплексе региональных систем товародвижения, как совокупность инфраструктурных элементов обеспечивающих перемещение материального потока. И, наконец, в третьих, ТЛИ рассматривают в аспекте ее принадлежности к экономическим системам макро-, мезо- и микроуровня, что и порождает большинство вопросов связанных с ее развитием и инвестированием и ответственностью за ее состояние и эксплуатацию.

Необходимость наращивания мощности ТЛИ должна быть обусловлена ростом объема промышленного производства и ростом величины грузопотока. Факторы роста мощности транспортно-логистической инфраструктуры и роста объема материального потока имеют взаимовлия-

ющий характер. С одной стороны инвестирование объектов ТЛИ осуществляется в интересах грузоотправителей и перевозчиков, то есть обусловлено материальным потоком, с другой стороны так, как

Период 2011–2016 гг. характеризуется снижением экономического роста, что происходит в условиях прироста валового продукта ряда отраслей промышленности и сельского хозяйства, что подтверждается данными сайта Росстата и аналитическими материалами научных исследований [2]. Так, темп роста ВВП в рыночных ценах в указанном периоде составлял: в 2012 году – 1,036, в 2013- 1,018, в 2014 г.-1,001, в 2015 г. 0,972, а в 2016 г. -0,997 [1, с.7-8].

Таким образом, проблемами управления ТЛИ на макроэкономическом уровне являются: снижение общего объема производства национального продукта, финансовых поступлений в бюджет регионов на развитие транспортной инфраструктуры, понижение уровня доходов населения и вместе с ним уровня платежеспособного спроса.

Одновременно наблюдается сокращение долей оптовой и розничной торговли в структуре ВВП, что подтверждает гипотезу о сокращении доходов как хозяйствующих субъектов, так и физических лиц. В течение 2016 г. наблюдается сокращение практически во всех отраслях хозяйствования, кроме добывающих, обрабатывающих отраслей. Напрашивается вывод о замедлении темпов экономического роста.

О тенденциях входа экономики в фазу сжатия и стагнации свидетельствуют и инфляционные процессы. В табл. 1 отражены базовые статистические данные по динамике ВВП России за период 2011–2016 гг., свидетельствующие о снижении темпов роста ВВП в данный период. Несмотря на то, что Индекс дефлятор ВВП в 2016 г. был ниже, рост ВВП в I кв. 2017 г. по сравнению с 2017 г. составил 100 %, то есть отмечается стагнация.

Таблица 1- Динамика ВВП России в текущих и постоянных ценах за период 2011–2016 гг.[2]

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Валовой внутренний продукт в рыночных ценах , в млн. руб.	60 282,5	68 163,9	73 133,9	79 199,7	83 232,6	86 043,6
Индекс дефлятор	–	1,091	1,054	1,075	1,082	1,036
Валовой внутренний продукт в рыночных ценах , в млн. руб.	–	62 478,4	69 387,0	73 674,1	76 924,8	83 053,7
Темп роста реального ВВП , %	–	103,642	101,794	100,738	97,127	99,7850

Снижение роста ВВП в целом и по отраслям народного хозяйства связано с негативным влиянием внешнеэкономических и политических

факторов, изменивших как объем, так и направление материальных потоков в национальной логистической системе.

С позиций экономической теории, в фазе стагнации и сжатия экономического роста, с учетом ведения агрессивной налоговой политики, экономика стремится создавать запасы, что позволяет судить о возможной тенденции к росту складской инфраструктуры на региональном и отраслевом уровне.

В то же время, индексы основных показателей производства товаров и услуг за период с января по июнь 2017 года характеризуют: рост промышленного производства на 2 %; рост выпуска товаров и услуг базовых отраслей на 2,4 %; рост грузооборота транспорта на 7,3 %. Одновременно с этим, показатели оборота розничной торговли в целом по стране имеют тенденцию к снижению (–0,5 %) по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. [2, с.8]. Статистические данные [2, с.7-9] свидетельствуют о росте удельного веса услуг транспорта и связи в составе валового внутреннего продукта, как в абсолютном, так и в относительном выражении.

Можно сделать вывод, что в России с конца 2016 года формируются базовые условия развития производства для инвестирования инфраструктурного комплекса логистики, а снижение оборота розничной торговли свидетельствует о необходимости поддержания системы товародвижения и снижении издержек обращения в составе себестоимости товаров. Имеет смысл развивать инфраструктуру региональных и отраслевых транспортно-логистических систем, поддерживающих внутреннее производство в стране, а рассмотреть возможность консолидации транспортно-экспедиционных и логистических компаний в регионах. Выбор указанных направлений управления способствует сокращению издержек обращения на региональном, отраслевом и организационном уровне, что приведет к снижению конечной стоимости товарной продукции на внутреннем рынке России.

В этой связи, задачи транспортно-логистических компаний должны корректироваться с учетом требований межтерриториального и межотраслевого взаимодействия. Требуется усиление роли регионов в рамках Транспортной стратегии РФ до 2030 г, выражающееся в создании новых систем взаимодействия компаний, среди которых объединения предприятий и организаций играют первостепенную роль.

Изменение направлений и объема перевозок грузов в Евро-Азиатском транспортном коридоре, переключением части грузопотоков на развитие Северного морского пути, а также реорганизация ЕврАзЭС (Евразийское экономическое сообщество) в ЕАЭС (Евразийский экономический союз) позволяют прогнозировать потребность развития транспортно-логистической инфраструктуры в регионах Сибири и Дальнего Востока, что способствовало бы повышению эффективности интеграционных процессов в экономике. В Современных условиях акцент во внешнеэкономической деятельности следует ставить на усилении материального потока и

развитии транспортных коридоров стран Азиатско-Тихоокеанского региона, что подтверждают данные о международных отправлениях грузов и структуре экспортно-импортных операций.

В 2013 году доля стран Европы в экспортно-импортных операциях составляла более 58 %, а доля стран Азии в том же году – около 24 %. В периоде 2016-2017 годов, положение изменилось. Так, в начале 2017 г. доля стран АТР возросла с 29 до 30,1 %, по сравнению с аналогичным периодом 2016 г., а по сравнению с 2013 годом данный показатель вырос на 6 %.

Одним из главных торговых партнеров России, по-прежнему, является Китай, оборот с которым вырос на 35 % и составил 38,4 млрд дол., при этом экспорт России в Китай вырос почти на 40%, а импорт – на 31,9%.

Все приведенные статистические данные доказывают необходимость корректировки проектов по строительству транспортно-логистических центров (далее ТЛЦ), в части смены их места расположения и усиления роли объектов ТЛИ в направлении восточных регионов страны. Из этого следует, что проекты, разработанные российскими учеными в 2000-х годах, нуждаются в корректировке.

Неоспоримо влияние перераспределения федеральных инвестиций на эффективность реализации программ развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры (Рассчитано по данным сайта Федеральной службы государственной статистики. URL: gks.ru.). Так, стоимость строительства и реконструкции автомобильных дорог федерального значения во многих субъектах Российской Федерации осталась на уровне 2013–2014 гг., что отразилось на результатах работы отраслевых транспортных систем.

Примером этого могут служить: снижение доли региональных автомобильных дорог с покрытием в Приволжском (на 1,21 %) и Дальневосточном федеральных округах (на 26,9 %); снижение доли дорог муниципального значения Северо-Западном (на 7,49 %), Северо-Кавказском (на 1,17 %), Уральском (на 1,43 %); Сибирском (на 1,08 %) и Дальневосточном (на 4,95 %) федеральных округах.

В табл. 3 отражены темпы роста объемов отдельных направлений инвестирования инфраструктуры национальной транспортной системы, где особое внимание следует обратить на снижение объемов финансирования автомобильных дорог федерального и регионального значения, а также морских и речных портов. Данные факты способны привести к снижению скорости обслуживания грузов, а также к снижению безопасности пассажирских и грузовых перевозок в междугородном сообщении (табл. 2).

Вопросы влияния развития транспортной инфраструктуры на динамику экономического роста исследовались в трудах российских и зарубежных ученых. Например, в работе В. И. Вагизовой и К. Л. Терентьевой доказана взаимосвязь процессов инвестирования транспортной инфраструктуры с динамикой валового внутреннего продукта [4, с. 170–175].

Таблица 2-Динамика финансирования транспортной инфраструктуры России 2011–2019 гг.[2]

Наименование направлений финансирования	2011/2010	2012/2011	2013/2012	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/2016	2018/2017*	2019/2018*
Федеральные дороги	1,24	1,27	1,14	1,00	1,16	1,29	1,12	0,93	1,10
Региональные дороги	1,17	1,52	1,13	0,72	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Железные дороги	1,18	1,23	0,95	0,85	1,19	1,00	1,00	0,61	1,00
Аэропорты	1,68	1,59	1,14	0,82	0,85	1,11	1,08	1,02	1,00
Морские порты	1,07	1,38	2,32	1,16	1,49	0,67	0,80	0,77	0,56
Трубопроводы	1,44	0,64	1,04	1,16	1,14	0,99	1,03	0,96	0,89

* Прогнозные показатели.

Одним из результатов исследования указанных авторов является разработка уравнения, отражающего взаимосвязь инвестиций. Авторы полагают, что наиболее ярко это влияние отражается на динамике эксплуатационной длины железных дорог, автомобильных дорог общего пользования и объемов перевозки грузов и пассажиров. Взаимосвязь динамики ВВП и финансирования транспортной инфраструктуры составляет, согласно модели В.И. Вагизовой и К.Л. Терентьевой – «0,8551», что характеризует сильную связь. Даже с учетом того, что в модели присутствуют не все факторы влияния, не оставляет сомнений, что без финансирования объектов транспортно-логистической инфраструктуры и при растущем объеме материального потока, рост ВВП региона не обеспечен в полной мере.

Кроме того, развитие территориальной транспортно-логистической инфраструктуры требует рассмотрения в аспекте управления региональной транспортно-логистической системой. Региональная транспортно-логистическая система (далее РТЛС) является многоуровневой эшелонированной системой и, по признаку масштаба, относится к классу макрологистических систем, что помимо вышеприведенных доводов отражено в современных научных трудах и не требует дальнейшего обоснования [4, с. 82]. Целью создания РТЛС является организация эффективного товародвижения в регионе, включая доставку материальных ресурсов территориальным субъектом хозяйствования. Объекты транспортно-логистической инфраструктуры в рамках РТЛС, представлены как звенья, расположенные на ее территории.

К звеньям РТЛС относятся: транспортно-логистические центры, терминально-складские комплексы; транспортные пути, линии информационной связи и т. д. В то же время, некоторые объекты и средства региональной транспортно-логистической инфраструктуры является собственностью отраслевых транспортных компаний и холдингов, поэтому суще-

ствуется возможность объединения управленческих усилий в направлении совместного использования инфраструктурного комплекса.

Вопросы развития инфраструктурного комплекса логистики в стране тесно связаны с функционированием как самого рынка транспортно-логистических услуг (далее ТЛУ), так и с развитием первичного по отношению к нему рынка промышленного производства. Для обоснования актуальности исследования необходимо рассмотреть некоторые макроэкономические аспекты развития российского рынка ТЛУ в совокупности с тенденциями его развития, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Состояние экономики и рынка транспортно-огистических услуг России в 2012–2016 гг., %

Наименование показателя	2012	2013	2014	2015	2016
ВВП	103,4	101,3	100,5	95,2	98,0
Промышленное производство	102,6	100,4	101,7	90,6	101,1
Инвестиции в основной капитал	106,8	99,8	97,0	88,0	105,34
Оборот розничной торговли	106,3	103,9	101,9	97,5	94,8
Экспорт товаров	102,3	99,2	96,7	86,8	83,0
Импорт товаров	105,4	102,1	91,3	76,7	98,63
Коммерческий грузооборот	104,4	98,6	102,8	92,6	101,8
Коммерческие грузоперевозки	102,7	98,2	96,4	83,0	107,9
Площадь качественных коммерческих складов	114,3	111,2	111,7	108,0	101,4

Составлено по данным информационного агентства «РБК». URL: <http://www.rbc.ru/>.

Необходимо отметить, что показатели, представленные в табл. 2, свидетельствуют о взаимосвязи процессов инвестирования промышленного производства и росте объемов грузооборота и отправок грузов. В частности, грузооборот железнодорожного транспорта увеличился на 1,6 %, автомобильного транспорта – на 0,8 %, трубопроводного транспорта возрос на 1,8%, морского на 7,6 %, внутреннего водного транспорта – на 3,4 %, воздушного транспорта увеличился на 20,6 %.

Другими показателями, заслуживающим внимания с точки зрения управления ТЛИ на национальном и региональном уровнях являются показатели динамики площади качественных коммерческих складов. Данные показатели характеризуют складскую мощность организаций, способность выполнять функции хранения, складирования и обработки грузов.

Рост рынка складской недвижимости преимущественно наблюдается в центральных регионах России. Например, в 2016 году рынок качественной складской недвижимости в России вырос на 1378 тыс. м², в том числе Московском регионе было введено в эксплуатацию 720 тыс. м², а в Санкт-Петербурге – 189 тыс. м², на остальные регионы России приходится только 469 тыс. м² складских площадей. Средняя запрашиваемая ставка аренды на качественные объекты класса «А» в регионах России в 2016 г. составила 3 400–3 700 руб./м² в год.

Несмотря на то, что доля неиспользуемой площади официально не высока (около 8,2 %), существует тенденция к сдаче в аренду складских помещений, ведение учета которых легко подвергается сомнению, равно как и их годность к эксплуатации. Рынок ТЛУ в регионах стремится к консолидации, что выражается в создании отраслевых клиентских центров, как в системе ОАО «РЖД», создании электронных площадок.

Все представленные данные подтверждают необходимость синхронизации управленческой деятельности в процессе стратегического развития региональной логистической инфраструктуры и эффективность инвестиций в основной капитал.

Состояние региональной логистической инфраструктуры, проблемы внедрения новых информационных продуктов и недостаточный уровень складской инфраструктуры отражается на современном состоянии и развитии рынка ТЛУ России, преобладании транспортно-экспедиционных услуг, слабом переводе процессов управления товародвижением на аутсорсинг, инертностью промышленных компаний, сохранением высокого уровня логистических издержек.

Исследование состава и структуры услуг транспортно-логистических компаний свидетельствует о высокой доле транспортно-экспедиционных услуг (95,06 %), а также связанных с ними услуг по оформлению документации (85,19 %). Складские услуги предлагают 60,49 % компаний, что свидетельствует об отсутствии необходимости длительного хранения материальных ресурсов [5, с. 27].

Анализ представленных показателей доказывает незначительную долю информационных услуг и управления информационными потоками со стороны компаний-исполнителей ТЛУ. Исследования, проведенные в Иркутской области [5], позволили сделать вывод, о необходимости совершенствования деятельности логистических операторов в части развития информационных технологий. Так, доля внедренных IT-проектов к общему количеству внедренных разработок за период 2015-2017 годов снизилась на 15,1 %, а снижение темпов роста инвестиций в технологические инновации составило 1,4 %.

В то же время рост доли логистических операторов, внедривших информационные технологии в систему управления логистикой, превысил 1% [5, с. 47]. Из приведенных фактов следует сделать вывод о стремлении транспортных и логистических компаний повышать эффективность своей деятельности, не только за счет простого сокращения издержек обращения, но и за счет внедрения новых технологий совершенствующих логистические процессы.

Представленные данные свидетельствуют о влиянии законодательства в области транспорта и логистики на деятельность транспортно-логистических компаний, необходимости действовать оперативно в условиях конкурентной борьбы и сокращать временные и стоимостные затраты логистики.

Главным направлением работы видится взаимодействие государственных и частных организаций, которое позволяет:

- осуществлять совместное инвестирование строительства объектов транспортно-логистической инфраструктуры, с учетом изменения подходов к ее эксплуатации;

- повышать качество услуг путем включения в структуру управления РТЛС сетевых логистических операторов;

- расширять географию рынка транспортно-логистических услуг за счет роста качества транспортно-логистических услуг и использования технологий конкурентного отбора в цепях поставок; снижать издержки на внедрение и использование информационных технологий в логистике т. д.

Список использованной литературы:

1. Кузнецов М.М. Особенности развития современной Евразийской транспортно-логистической инфраструктуры / М.М. Кузнецов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского. Серия «Экономика и управление». Том. 24 (63). 2011 г. № 2. С.112-122

2. Фрейдман О.А. Управление инфраструктурой транспортно-логистических систем : монография / О. А. Фрейдман. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – 164 с.

3. Вагизова В.И. Инструменты финансового обеспечения развития региональной транспортной инфраструктуры [Текст] / В. И. Вагизова, К. Л. Терентьева // Проблемы современной экономики. – № 4(56). – 2015. – С. 170-175.

4. Логистика [Текст] / В. В. Дыбская [и др.] ; под ред. В. И. Сергеева. – М. : Эксмо, 2013. – 944 с. – (Полный курс МВА).

5. Фрейдман О.А. Методология интеграции компаний на рынке транспортно-логистических услуг / О. А. Фрейдман. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – 172 с.

УДК 658.7

Матрица БКГ как инструмент стратегического анализа положения на рынке товаров, компаний и подразделений в логистике

М.В.Щавелева, О.С. Прокофьева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В данной статье рассмотрена роль логистики в современных бизнес-процессах. Особое внимание уделено таким функциям логистики, как управление запасами и закупками. В качестве инструмента, с помощью

которого можно провести анализ рынка сбыта, представлена БКГ-матрица. Рассмотрена её теоретическая основа, способ построения, пояснение результатов, а также её достоинства и недостатки.

Ключевые слова: логистика, управление закупками, управление запасами, рынок сбыта, БКГ – матрица.

Логистика играет важную роль в функционировании любого современного бизнес-процесса. Она изучает материальные, информационные, финансовые, трудовые и другие потоки, управляет ими и разрабатывает рекомендации по их совершенствованию. Применение логистики в сферах производства и обращения помогает обеспечить:

- снижение запасов на всем пути движения материального потока на 30- 50 %;
- сокращение времени движения товара по логистической цепи;
- минимизацию транспортных расходов (оптимизируются маршруты движения транспорта, графики, улучшаются другие показатели использования транспорта);
- сокращение затрат ручного труда и соответствующих расходов на операции с грузом:

Логистика выполняет такие функции как:

- управление запасами;
- составление плана заказов;
- транспортировка;
- складские операции;
- ценообразование;
- операции по упаковке;
- возврат товаров (реверсивная логистика);
- сервисное обслуживание, поставка запасных частей;
- информационно-компьютерное обеспечение [1]:

Чтобы быть конкурентоспособным, любой бизнес должен основываться на основном правиле логистики: поставлять клиенту товар требуемого качества, в необходимом количестве, в нужное время и нужное место с минимальными затратами [2].

В данной статье особое внимание уделяется таким функциям логистики, как управление запасами, управление закупками и управление процедурами заказов. Успешная реализация данных функций дает гарантированный результат получения максимальной прибыли и минимизацию издержек в деятельности любого предприятия или компании.

На рисунке 1 представлена схема производства и реализации продукции.

Проанализировав данную схему, получается следующий вывод: для достижения главной цели любого предприятия (получение максимальной прибыли), необходимо постоянно контролировать рынок снабжения. Де-

лается это для того, чтобы в процессе закупок материалов и сырья для производства не приобрести лишнего, таким образом не создавая лишних запасов. Наличие лишних запасов подразумевает определенные затраты, а также «замораживание» оборотных средств в этих самых запасах. Также необходимо контролировать рынок сбыта, чтобы четко представлять, какой именно продукт производить, какой продукт пользуется наибольшим спросом, какой сегмент рынка интересуется данной продукцией и т.д. Располагая такими данными, можно с уверенностью сказать, что производство будет успешно функционировать долгое время.

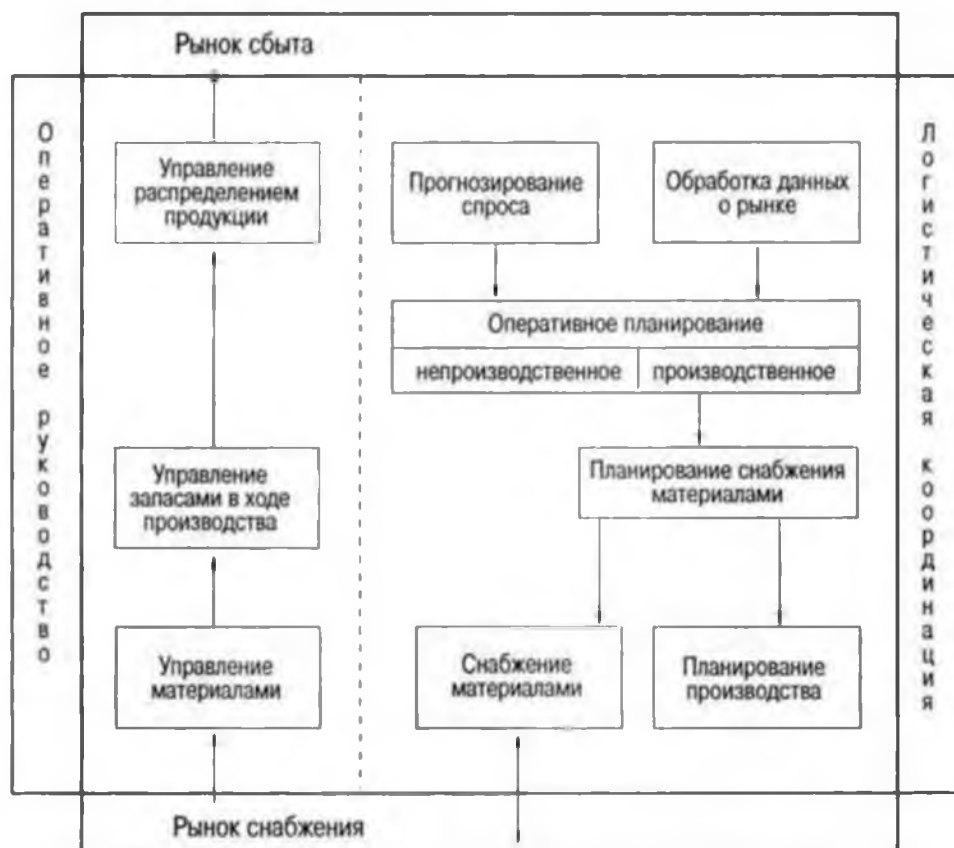


Рис.1 – Производство и реализация продукции

Как было сказано выше, необходимо контролировать рынок сбыта и рынок снабжения. В качестве такого инструмента анализа рынка в данной статье предлагается БКГ-матрица.

Матрица БКГ (BCG Matrix) – метод стратегического анализа положения на рынке товаров, компаний и подразделений, который основывается на данных о рыночном росте и занимаемой доли на рынке.

Этот метод был разработан экспертами Бостонской консалтинговой группы (Boston Consulting Group), которая занималась управленческим консалтингом, в конце 1960-х годов, под руководством Брюса Хендерсона.

Цель матрицы БКГ – анализ актуальности продуктов компании в зависимости от роста рынка данной продукции и занимаемой им доли.

Матрица БКГ показывает положение конкретной деятельности в стратегическом пространстве, которое определяется двумя координатными осями, одна из которых - темп роста рынка соответствующего продукта, а другая –относительная доли продукции на рынке.

Графически матрица БКГ представляет собой две оси и четыре квадратных сектора, которые находятся между этими осями. Поэтапное построение матрицы БКГ:

- первый этап: сбор исходных данных. Составление списка товаров или компаний, которые будут анализироваться с помощью матрицы БКГ. Для них нужно собрать данные по объемам продаж и/или прибыли за некоторый период. Такие же данные собираются о конкурентах;

- второй этап: вычисление темпа роста рынка за какой-либо период. На этом этапе рассчитывается годовое увеличение объемов продаж (выручки) или объемов прибыли;

- третий этап: определение относительной доли рынка. Рассчитав темп прироста рынка, нужно подсчитать относительную рыночную долю. Это можно сделать путем деления объема продаж анализируемого продукта на объем продаж конкурентной компании;

- четвертый этап: построение матрицы БКГ. Из начала координат идут две оси: вертикальная (темп роста рынка) и горизонтальная (относительная доля рынка). Каждая ось делится пополам, на две части. Одной части соответствуют низкие значения показателей (низкий темп роста рынка, низкая относительная доля рынка), другой – высокие (высокий темп роста рынка, высокая относительная доля рынка) [3]:

В итоге построения матрицы БКГ получается, что товары (подразделения, компании) оказываются в разных квадратах, который имеет свое название и значение. Графически матрица БКГ представлена на рисунке 2.

Ниже представлена подробная характеристика квадратов матрицы.

- Квадрат 1 - «Трудные дети». Ещё их называют «Темные лошадки», «Дикие кошки», «Знаки вопроса». Относительная доля рынка данного товара небольшая, однако темпы роста продаж – высокие. Для увеличения их доли необходимо приложить много усилий и затрат;

- Квадрат 2 - «Звезды». Темпы роста продаж и доля рынка – высокие. Данные товары пользуются наибольшим спросом, привлекательны, быстро развиваются, требуя при этом значительных инвестиций в себя;

- Квадрат 3 - «Дойные коровы» или «Денежные мешки». Они имеют большую долю рынка, однако темп его роста низкий. Благодаря им приносится постоянный доход при минимальных инвестициях;

- Квадрат 4 - «Дохлые собаки» или «Хромые утки», «Мертвый груз». Для них характерны как низкая доля на рынке, так и низкие темпы роста рынка. Почти не приносят дохода. Данную группы товаров по возможности нужно ликвидировать [3].

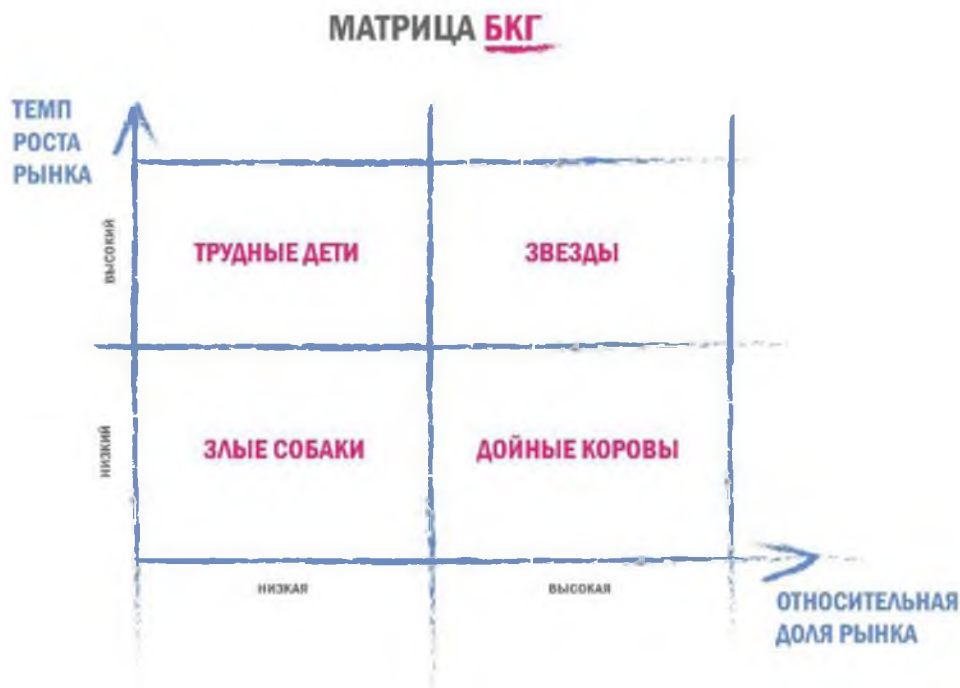


Рис. 2 – Матрица БКГ

Опираясь на данные матрицы БКГ, можно выбрать основные варианты дальнейших действий для оптимизации работы компании или предприятия.

Ниже рассмотрены плюсы и минусы матрицы БКГ как инструмента стратегического анализа.

Достоинства:

- твердая теоретическая основа (вертикальная ось - жизненный цикл товара, горизонтальная – масштаб производства);
- оцениваемые параметры (темп роста рынка, относительная доля рынка);
- простота построения;
- наглядность и простота расшифровки результатов;

Недостатки:

- определение четкой доли рынка затруднено;
- оцениваются только два фактора;
- при большом и разном ассортименте товаров инструмент теряет наглядность и необходимо рассматривать отдельно каждую товарную группу [4];

Применяя матрицу БКГ важно правильно измерить темпы роста рынка и относительную долю организации на этом рынке. Относительная доля компании на рынке есть отношение объема продаж исходной компании к объему продаж компании-лидера. И если в результате коэффициент равен единице, это доказывает первенство компании на рынке. Если меньше единицы - необходимо предпринять какие-либо меры для повышения конкурентоспособности.

Список использованной литературы:

1. Крылатков П. П., Кузнецова Е. Ю., Кожушко Г. Г., Минеева Т. А., Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина. // Логистика промышленного предприятия: учебное пособие - Екатеринбург, Издательство Уральского университета 2016 [Электронный ресурс]. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/42415/1/978-5-7996-1830-8_2016.pdf (дата обращения 22.04.2018).
2. myleksii.ru // «R» - главное правило логистики [Электронный ресурс]. URL: <http://myleksii.ru/11-78031.html> (дата обращения 22.04.2018).
3. galyautdinov.ru // Галяутдинов Р.Р. Матрица БКГ: что такое, как построить и проанализировать // Сайт преподавателя экономики [Электронный ресурс]. URL: <http://galyautdinov.ru/post/matrica-bkg> (дата обращения: 22.04.2018).
4. center-yf. Центр управления финансами // Матрица БКГ [Электронный ресурс]. URL: <http://center-yf.ru/data/Marketologu/Matrica-BKG.php> (дата обращения: 22.04.2018).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 629.113

Повышение эффективности работы сервисной службы с использованием систем помощи принятия решений

К.Ю. Андреев, А.В. Камольцева

Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79

Исследованы основные причины возникновения потерь времени в процессе выполнения работ по ТО и ремонту в автосервисном предприятии. Разработана имитационная модель работы сервисной службы, позволяющая принимать и проверять управленческие решения. Модель позволяет определять оптимальное количество производственных рабочих и режим работы смены для выполнения загрузки за заданный период времени. Критерием оптимизации является среднее время ожидания ремонта. Адекватность модели подтверждена сравнением со статистическими данными работы моделируемого сервиса.

Ключевые слова: *Сервисное обслуживание, эффективность, конкурентоспособность, автомобили, имитационное моделирование, мультиагентные системы.*

В связи с кризисной обстановкой и спадом продаж с 2015 году резко обострилась конкуренция в сфере автомобильного сервиса. К концу года было продано всего 13% автомобилей по сравнению с продажами 2012. В следствие чего положение дилерских станций резко приблизилось к уровню рентабельности европейских предприятий в 1-3% без бонусов от импортера.

При таких условиях залогом успешного развития и в дальнейшем удержания позиций в данном сегменте бизнеса, стала необходимость использования всех возможностей оптимизации процессов компаний. В том числе компьютерных технологий и последних достижений в области поддержки принятия решений.

Необходимость решения подобных задач обоснована в работах Хабибуллина Р.Г. [1] [2]. Существующие на настоящий момент системы автоматизации работы автосервисных предприятий позволяют вести учет информации о клиентах, автомобилях и регистрировать обращения в автоцентр, однако целью такого учета является лишь сбор информации и ее хранение, она не приспособлена для дальнейшего анализа, является не структурированной и не формализованной. Анализ информации в лучшем

случае выполняется по финансовым показателям, которые не позволяют оптимизировать деятельность такой сложной организационно технической системы, поскольку не учитывается специфика производственного процесса.

Возможности совершенствования процессов сервисного обслуживания автомобилей с помощью информационных технологий так же поднимались рядом исследователей таких как Анискина А.М. [3], Власова В.М. [4], Князькова А.В. [5] и др.

Наиболее системно данным вопросом занимался Постолиит А.В. [6]. В диссертационном исследовании которого, приводятся результаты анализа влияния информационных технологий на эффективность работы технической службы автотранспортных предприятий в условиях рыночной экономики. Согласно его выводам актуальной задачей для повышения эффективности работы технической службы является автоматизация четвертого, пятого и шестого этапов управления автотранспортным предприятием, представленных на рисунке 1.



Рис. 1. Основные этапы управления автотранспортным предприятием

Человек уже не в состоянии обработать такое количество информации и принять взвешенное и научно обоснованное управленческое решение. В этом ему может помочь современная информационная система.

Вопросами совершенствованием фирменного обслуживания дилерских центров с использованием информационных систем, в частности компьютерного моделирования, занимался Беляев А.И. [7]. Однако основные идеи в представленных выше работах заключались в совершенствовании документооборота и использовании собранных при помощи разработанной информационной системы данных для выбора оптимальной периодичности обслуживания автомобилей, структуры подразделений сервиса и прогнозирования спроса на обслуживание.

Актуальными на данном этапе являются следующие задачи, в решении которых могут быть использованы современные информационные технологии:

1. Управление очередью на обслуживание;
2. Составление графиков работы постов сервиса, с целью согласованности работ и общим уменьшением времени обслуживания клиента;

3. Планирование закупки автозапчастей под потребности сервиса, а также заполнение склада с учетом статистики и сезонности, складская логистика;

4. Управление движением транспорта внутри сервиса.

Решение такого рода задач для автомобильных сервисов состоит из следующих этапов:

- разработка пакета математических моделей процессов логистики для прогнозирования работы автомобильного сервиса;
- создание на базе разработанных моделей программного комплекса для оптимизации отдельных процессов сервиса;
- создание модуля прогнозирования работы сервиса в зависимости от внешних факторов;
- создание модуля поддержки принятия решения для каждого уровня оперативного управления предприятием.

В данной работе в качестве решаемой задачи выбрана разработка имитационной модели работы автосервиса, которая позволяет повысить эффективность его работы путем проведения оптимизационного эксперимента.

В качестве исходных данных для определения характеристик процессов сервиса были использованы статистические данные распределения поступления автомобилей в сервис по времени, а также данные по фактическим срокам выполнения работ, полученные в ходе исследования на одном из дилерских центров г. Красноярска.

В процессе проведения экспериментального исследования были получены данные, характеризующие работу сервисной службы от приезда клиента до выдачи (74 автомобиля): время выполнения операций на автомобиле с фиксацией возникающих задержек при выполнении работ, причины возникновения простоев и другие показатели эффективности использования рабочего времени в ходе выполнения операций. Фактические данные трудоемкости выполнения работ сравнивались с нормативными на выполнение операций.

На рисунке 2 представлены данные по интенсивности заездов автомобилей на обслуживание в течение дня.

Из диаграммы, представленной на рисунке 3, видно, что фактическое время выполнения работы гораздо меньше заложенного нормативом. Однако, при суммировании фактического времени и времени неэффективного простоя в сервисной зоне, вызванного несовершенством управления (515 мин для 26 автомобилей), получаем увеличение продолжительности обслуживания на 209 минут по сравнению с нормативным временем, что негативно сказывается на пропускной способности сервисной зоны.

Для реализации поставленной задачи оптимизации работы сервисной службы была выбрана гибридная модель моделирования логистических

процессов на основе имитационного моделирования и численных методов, предложенная в работе Аксеновым К.А. и Клебановым Б.И. [9], а позднее модифицирована Аксеновым К.А. и Гончаровой Н.В. [8].

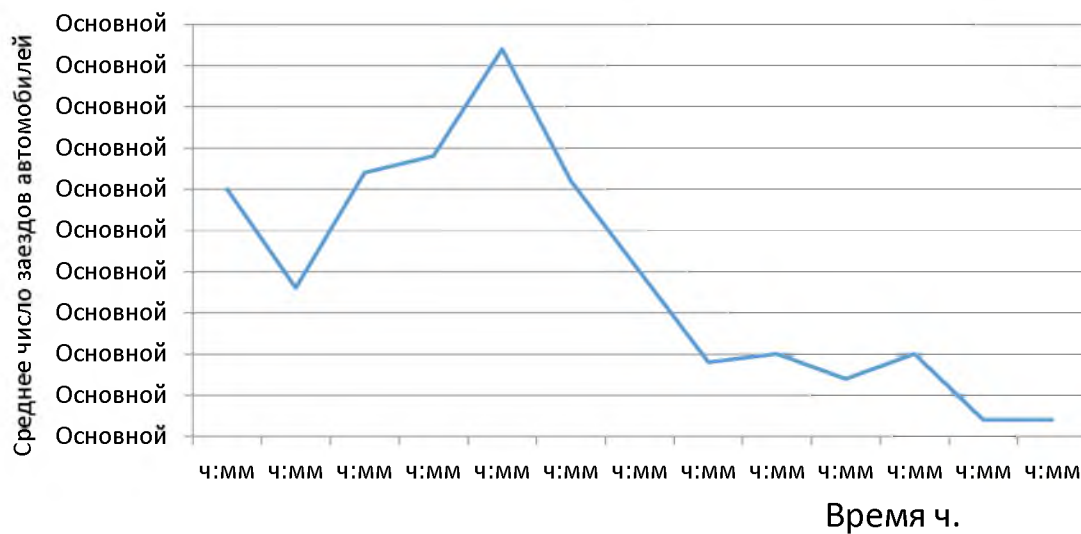


Рис. 2- Распределение интенсивности заездов автомобилей по времени на обслуживание в течение дня

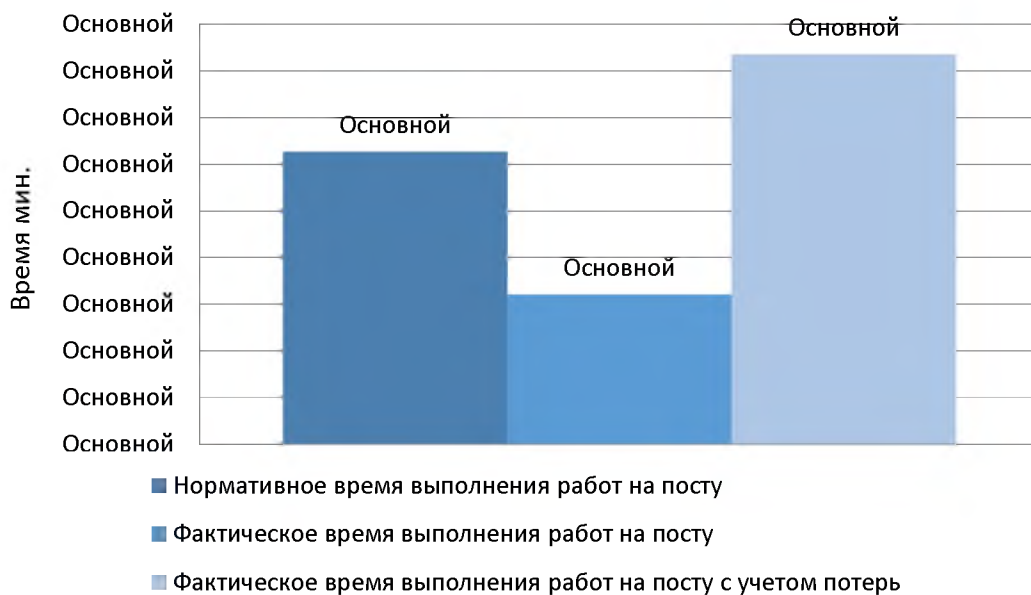


Рис.3. Диаграмма сравнения времени выполнения работ

В предложенных Поповым А.В., Аксеновым К.А., Доросинским Л.Г. мультиагентных системах (МАС) множество автономных агентов действуют в интересах различных пользователей и взаимодействуют между собой в процессе решения определенных задач. Примерами таких задач являются: управление информационными потоками и сетями, управление воздушным движением, поиск информации в сети Интернет, электронная

коммерция, обучение, электронные библиотеки, коллективное принятие многокритериальных управленческих решений и другие [10].

Главная черта МАС, отличающая их от других интеллектуальных систем, — взаимодействие между агентами. Взаимодействие означает установление двусторонних и многосторонних динамических отношений между субъектами. Оно является не только следствием деятельности агентов, но и необходимым условием формирования виртуальных сообществ. Взаимодействие — не просто связь между сосуществующими агентами, но и предпосылка для взаимных превращений самих агентов и отношений между ними [10].

В качестве основы для создания мультиагентной системы была выбран пакет AnyLogic - российский профессиональный инструмент имитационного моделирования. Преимущество данного пакета состоит в том, что использующийся в нем объектно-ориентированный подход позволяет простым и естественным образом организовать и представить структуру сложной системы.

Был составлен алгоритм имитационного моделирования работы автосервиса для решения оптимизационной задачи, представленный на рисунке 4.

Результаты работы.

Использование предлагаемого оптимизационного эксперимента дает возможность достичь оптимальной производительности автосервиса в сложившихся условиях работы за счет помощи в принятии решения по сочетанию расписания рабочих смен и количества производственных рабочих, необходимых для выполнения заданного объема работ. Например, при заданной интенсивности заезда на обслуживание (рис. 2), оптимальное количество производственных рабочих равно 7 человек при режиме работы с перерывом 10 минут каждый час и перерывом на обед 1 час. Это позволит сократить среднее время ожидания постановки на пост с 15 мин до 10 мин, что в свою очередь позволит обслужить на 3 автомобиля больше за одну смену по сравнению с работой сервиса по фактическим данным.

Использование модели так же позволяет определить места образования очередей на обслуживание, причины их возникновения и др. Путем внесения изменений в работу оптимизационной модели определить пути их сокращения, не влияющие на другие параметры, т.к. модель отражает внутренние взаимосвязи ее элементов. Разработанную модель можно использовать для прогнозирования пиковой загрузки автосервиса, выработки рекомендаций для мастера цеха на следующий день, основанных на записи клиентов и сезонности спроса на услуги.

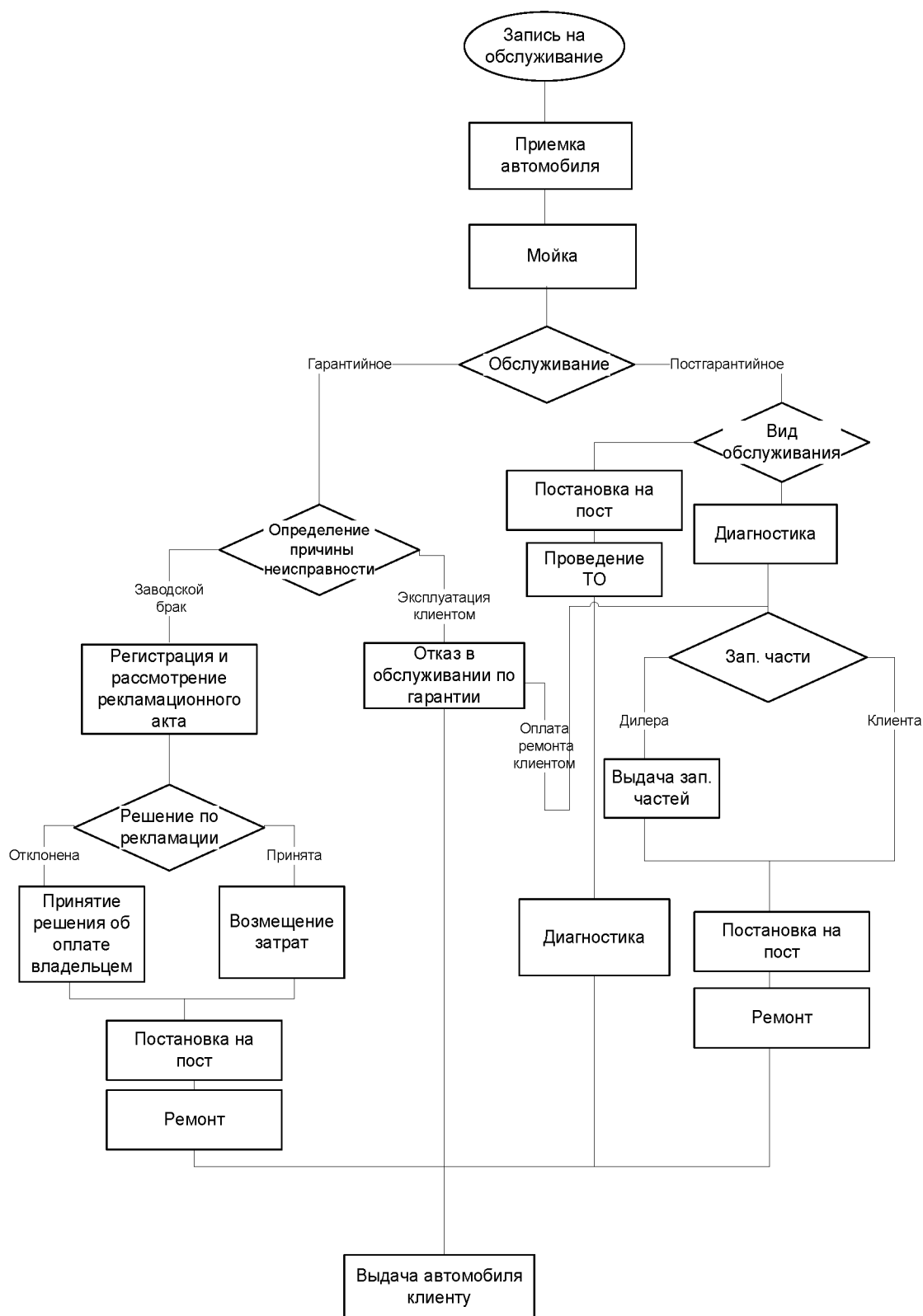


Рис. 4. Алгоритм имитационного моделирования сервисной службы дилерского центра

Перспективы развития.

В качестве дальнейшего развития возможна разработка автоматического модуля поддержки принятия решения для каждого уровня опера-

тивного управления. Это может существенно снизить нагрузку на мастера цеха по распределению работ и сократить связанные с этим простои.

Список использованной литературы:

1. Хабибуллин, Р.Г. Совершенствование фирменного обслуживания автомобильной техники с помощью интегрированной информационной системы / Р. Г Хабибуллин, И.В. Макарова, А.И. Беляев // Транспорт. Наука, техника, управление : научно-информационный сборник. - М.: ВИНТИ. - 2008. - №1.-С. 51-53.
2. Хабибуллин, Р.Г. Разработка информационной системы для совершенствования обслуживания автомобильной техники по гарантии / Р. Г. Хабибуллин, И. В. Макарова, А. И. Беляев, Д. О. Жданов, Э. М. Мухаметдинов // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе : материалы XXXIII международной конференции - Ялта-Гурзуф, 2006. - С. 198-201.
3. Анискин, А.М. Оценка качества технического обслуживания и ремонта на автотранспортных предприятиях : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10. -М.:МАДИ, 1990.-126 с.
4. Власов, В.М. Оценка и проектирование организационнотехнологического обеспечения производства ТО и ремонта автомобилей: дисс. ... докт. техн. наук : 05.22.10. -М.: МАДИ, 1996. - 362 с.
2. Князьков, А.Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы технического обслуживания и ремонта автомобилей : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. - 154 с
3. Постолит, А. В. Совершенствование информационного обеспечения технической эксплуатации автомобилей : дисс. ... докт. техн. наук : 05.22.10. -Москва:МАДИ, 1998.-423 с.
4. Беляев А.И. Совершенствование фирменого обслуживания автомобилей в дилерско-сервисных центрах с использованием информационной системы: дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – Оренбург: КамГИ-ЭА, 2009. – 129 с.
5. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография / К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
6. Аксенов К.А., Гончарова Н.В., Смолий Е.Ф. Мультиагентный подход к процессам преобразования ресурсов // IX отчетная конференция молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. - Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 186-190 С.
7. Попов А.В., Аксенов К.А., Доросинский Л.Г. Использование мультиагентных систем (МАС) для решения задач логистики и распределения ресурсов // Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2006» в рамках III Евро-Азиатского между-

народного форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2006». Екатеринбург: ЗАО «Компания Реал-Медиа», 2006. – С.306-308.

УДК 629.113.001

Влияние геометрических размеров датчика на частоту собственных колебаний датчика для измерения нормальных и продольных касательных реакций, распределенных по длине пятна контакта колеса с эластичной шиной

А.В. Бойко, В.Б. Распопина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

В статье приведены результаты анализа влияния геометрических размеров датчика на частоту собственных колебаний датчика для измерения нормальных и продольных касательных реакций распределенных по длине пятна контакта колеса с эластичной шиной при его взаимодействии с цилиндрической опорной поверхностью.

Ключевые слова: *колесо с эластичной шиной; взаимодействие колеса с эластичной шиной с опорным роликом; датчик; измерительная система, частота собственных колебаний.*

На сегодняшний день, к сожалению, не существует ни каких строго регламентированных рекомендаций о том, как и когда можно использовать в измерительной системе тормозного стенда с опорными роликами датчик (рис.1.) для измерения нормальных и продольных касательных реакций распределенных по длине пятна контакта колеса с эластичной шиной [4,5,6,7].

Тормозные стенды с опорными роликами позволяют осуществлять контроль и диагностику тормозной системы автотранспортных средств АТС с окружной скоростью колес от 2 до 60 км/ч, а в ряде случаев и более [3]. Возникает вопрос, при каких максимальных окружных скоростях опорных роликов тормозного стенда измерительная система с датчиком для измерения нормальных и продольных касательных реакций распределенных по длине пятна контакта колеса с эластичной шиной сохраняет свою способность корректной диагностики.

Для определения критической скорости прокатывания колеса по датчику, встроенному в опорный ролик стенда, требуется определить частоту собственных колебаний рейки датчика.

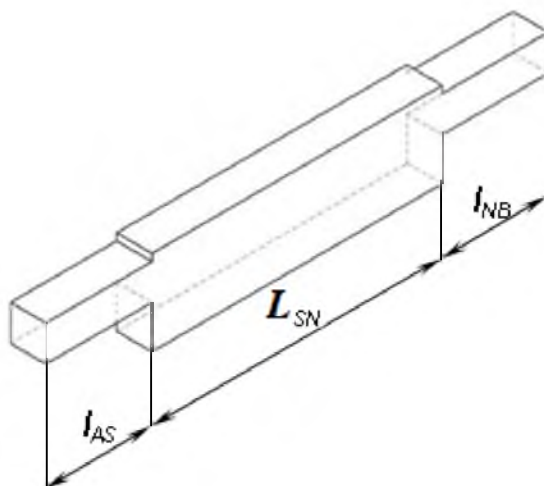


Рис. 1. Эскиз датчика с указанием размеров в параметрическом виде

Расчётная схема датчика для определения частоты собственных колебаний приведена на рис. 2, L_{SN} – рабочая длина датчика.

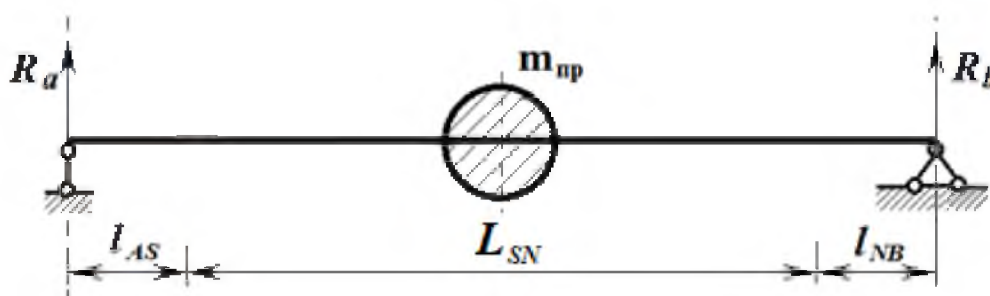


Рис.2. Расчетная схема датчика для определения собственной частоты колебаний датчика

Приведенная масса датчика определяется

$$m_{пр} = V_{пр} \cdot \rho, \quad (2)$$

где $V_{пр}$ - приведённый объем тела датчика, мм^3 ;

ρ – плотность материала, из которого выполнен датчик.

В данном случае рассматривается датчик, выполненный из стали. Следовательно, при расчётах было использовано численное значение для плотности материала, составляющее величину $\rho = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$ [2].

По сути, частота собственных колебаний является одним из ключевых параметров состояния датчика, определяющих его влияние на достоверность результатов измерения нормальной и продольной касательной реакций, установленных в опорных роликах диагностических стендов.

Интерес представляет влияние геометрических параметров датчика на величину частоты собственных колебаний.

Чувствительность данного параметра состояния была исследована путём варьирования величин геометрических параметров датчика в определённом диапазоне значений.

В качестве варьируемых параметров были приняты толщина датчика и рабочая длина датчика (таблица 1).

Таблица 1. Значения варьируемых геометрических параметров датчика

Рабочая длина датчика L_{SN} , мм	250	350	450	550
Толщина датчика, мм	8	8	8	8
	10	10	10	10
	12	12	12	12

Выполненные расчеты позволили установить, что частота собственных колебаний датчика меняется от 26 до 84 с⁻¹ в зависимости его длины и толщины рис. 3. Так при увеличении рабочей длины датчика с 250 мм до 550 мм толщиной 8 мм частота собственных колебаний датчика меняется от 69 до 26 с⁻¹, а толщиной в 12 мм частота собственных колебаний датчика меняется от 84 до 26 с⁻¹.

Полученные в процессе расчета графики (рис.3.) были аппроксимированы функцией вида:

$$\omega_D = A \cdot L_{SN}^3 + B \cdot L_{SN}^2 + C \cdot L_{SN} + D, \quad (3)$$

где A , B , C и D – коэффициенты аппроксимации.

Для аппроксимации полученных зависимостей функцией, описанной формулой (3), были установлены коэффициенты аппроксимации A , B , C и D (таблица 2). Приведённая функция с поправкой на конкретику, обуславливающую соответствующие коэффициенты, позволяет определить критическую величину круговой частоты датчика ω_D в случае варьирования значениями геометрических параметров датчика: рабочей длины датчика L_{SN} и его толщины b_D .

Значение окружной скорости, при котором будут возникать гармонические колебания датчика и, как следствие, погрешности измерения можно определить по формуле

$$V_o = \frac{\omega_D \cdot d_p}{2}, \quad (4)$$

где d_p - диаметр опорного ролика. В результате, для опорного ролика диаметром 240 мм, толщине датчика в 12 мм и рабочей длине в 250 мм окружная скорость составит 10 м/с, а при рабочей длине в 550 мм составит 3,12 м/с.

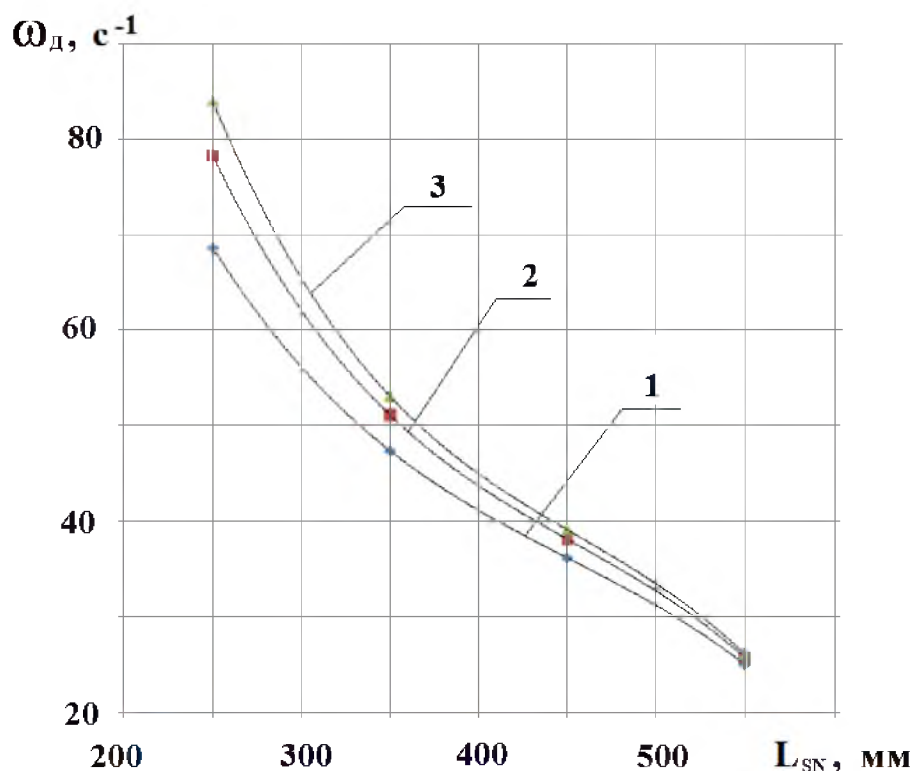


Рис. 3. Графики зависимости критической круговой частоты датчика ω_d от длины датчика $L_{сн}$ и от его толщины b_d : 1 – толщина датчика 8 мм; 2 – толщина датчика 10 мм; 3 – толщина датчика 12 мм

Таблица 2. Коэффициенты аппроксимации зависимости критической частоты датчика от длины датчика и от его толщины

№	A	B	C	D	R^2
1	$- 2 \cdot 10^{-6}$	$22 \cdot 10^{-4}$	- 1,1084	231,32	1
2	$- 2 \cdot 10^{-6}$	$31 \cdot 10^{-4}$	- 1,4993	296,54	1
3	$- 3 \cdot 10^{-6}$	$36,35 \cdot 10^{-4}$	- 1,766872	340,063928	1

Проведенные аналитические исследования позволили установить, что использование датчиков для измерения нормальной и продольной касательной реакций, установленных в опорных роликах диагностических стендов, ограничены окружной скоростью опорного ролика. В процессе исследования было установлено, что геометрические размеры датчика существенно влияют на собственные колебания датчика. Количественно зависимость была описана с помощью соответствующей функции.

Список использованной литературы:

1. Бойко А.В., Распопина В.Б. Датчик для измерения нормальных и продольных касательных реакций распределенных по длине пятна контакта при взаимодействии колеса с эластичной шиной с цилиндрической опорной поверхностью. Закономерности развития современного естествознания, техники и технологий : сборник научных трудов по мате-

риалам Международной научно-практической конференции 30 января 2018 г. / Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2018. – С. 151-157.

2. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов: Учеб. для техн. вузов – 5-е изд., перераб. и доп. / репринтное воспроизведение издание 1989 г. – М.: Альянс, 2014 – 624 с.: ил.

3. Портнягин Е.М. Моделирование процесса торможения автомобиля с ABS на полноопорном диагностическом стенде с беговыми барабанами. Портнягин Е.М., Федотов А.И., Бойко А.В. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 4 (36). С. 95-100.

4. Федотов А.И., Бойко А.В., Халезов В.П. Экспериментальный комплекс для исследования процессов происходящих в пятне контакта эластичной шины с беговым барабаном и дорогой. Сборник статей III всероссийской научно-практической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири», Иркутск: ИрГТУ, 11-12 апреля 2013 г. С.174-180.

5. Федотов А.И., Бойко А.В., Халезов В.П. Комплекс для исследования взаимодействия в пятне контакта шины с поверхностью бегового барабана и дороги. III Международная научно-практическая конференция «Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта» г. Иркутск: НИ ИрГТУ 31 мая – 2 июня 2011 г. С.218-223.

6. Федотов А.И., Бойко А.В., Халезов В.П. Экспериментальные исследования процесса взаимодействия эластичного колеса с беговым барабаном и дорогой. Вестник ИрГТУ. 2012 Выпуск №9.- Иркутск: ИрГТУ, 2012.- С. 157-163.

7. Федотов А.И., Патент № 2548643 Российская федерация, МПК В60Т 17/22, G01L 5/28. Способ диагностирования тормозной системы автотранспортного средства и устройство для его осуществления / В.П. Халезов, А.И. Федотов, А.В. Бойко, Ле Ван Луан // Заявитель и патентообладатель ИрГТУ. – № 2014111733/11; заявл. 26.03.2014; опубликовано 20.04.2015, Бюл. № 11. – 10 с.

УДК 629.113

Сети зарядных станций для электромобилей как эффективный элемент транспортной инфраструктуры

А.В. Камольцева, Г.А. Писарев

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, 660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20

Рассмотрены преимущества перехода на электромобили, анализ технических характеристик электромобилей, рассмотрены зарядные

станции для электромобилей и проанализированы научные работы российских и зарубежных авторов. Сделаны выводы и обозначены цели дальнейшего исследования.

Ключевые слова: *электромобили, зарядные станции, параметры сети, проектирование сети.*

Неблагоприятная экологическая обстановка в крупных городах, рост дефицита топливных ресурсов являются одними из острых проблем современного мира. Так, по данным сервиса AirVisual от 4 февраля 2018 года, Красноярск стал самым грязным городом планеты. [1] Основную лепту в развитие данных проблем вносят автомобили, число которых бурно увеличивается с каждым годом. Ведь в состав их отработавших газов входят такие вещества, как оксиды азота и углерода, диоксиды азота и серы, сернистый ангидрид, бензопирен, альдегиды, ароматические углеводороды, сажа, взвешенные частицы. [2] Одним из выходов при данной ситуации является переход автомобилей от двигателей внутреннего сгорания к автомобилям на электрической тяге.

Для стимулирования роста электрического транспорта, необходимо поддерживать автовладельцев, предоставить им доступную и удобную инфраструктуру для заряда и обслуживания электромобилей. С ростом количества электромобилей должно увеличиваться и количество элементов сети зарядных станций, чтобы удовлетворить спрос и привлечь новых автовладельцев к переходу на электромобили.

Сеть электрозаправочных станций растет и развивается постепенно, подстраивается под владельцев электромобилей, таким образом, на каждом этапе она должна быть максимально доступной и удобной для автовладельцев и в то же время приносить максимальную выгоду.

Для решения этих вопросов необходимы достаточно точные алгоритмы проектирования, учитывающие технические характеристики электромобилей, состав структуры сети зарядных станций, условия города, в котором сеть проектируется и природно-климатические условия региона.

Для того чтобы говорить о грамотном проектировании сети заправочных станций, необходимо затронуть тему самих электромобилей, их технических характеристик. Такой подход поможет понять: будут ли водители вообще пересаживаться на автомобили с электрической тягой, и каким параметрам должна соответствовать сеть заправочных станций. В данный момент рынок электромобилей постоянно пополняется все более интересными и заманчивыми предложениями. На этот рынок уже успели зайти и прочно закрепились такие всемирно известные компании, как Tesla, Ford, BMW, Volkswagen, Nissan и др. Так же можно встретить такие относительно молодые и малоизвестные бренды, как BYD, Faraday Future

и др. С каждым новым поколением улучшают характеристики электромобилей и, что не мало важно, интерьер и экстерьер.

Такая конкуренция приводит к постепенному снижению цен. Кроме того развитие электромобилей идет по пути увеличения пробега, если еще совсем недавно 100 км пробега на одной зарядке казались чем то невообразимым, то сейчас это минимально необходимый показатель. Несмотря на то, что время заряда от бытовой розетки оставляет желать лучшего, нельзя сказать, что работа в этом направлении не ведется. Некоторые компании достигли 4х часов для полной зарядки.

На рисунке 1 отображены изменения стоимости и пробегов электромобилей.

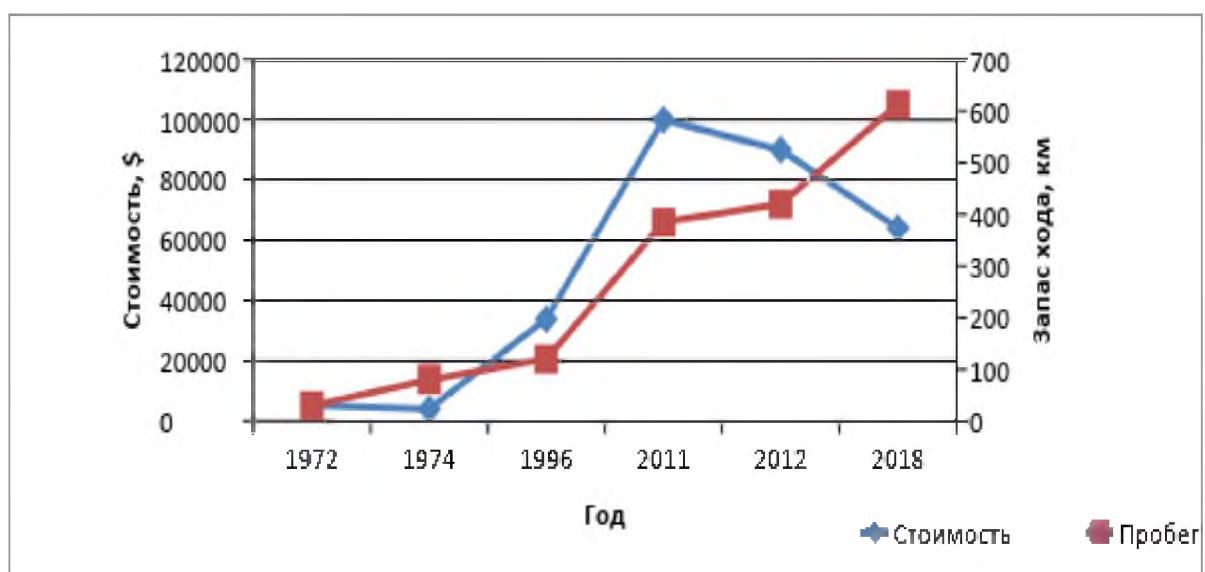


Рис. 1 – Развитие электромобилей

Таким образом, можно заметить огромную проделанную работу в развитии электромобилей. Такие факторы, как цена, время зарядки и пробег на одном заряде делают их намного привлекательней для покупателей, однако этого недостаточно для того, чтобы привлечь покупателей. Необходимо предоставить максимально доступную и удобную для населения инфраструктуру зарядных станций и обслуживания электромобилей.

Поэтому следующим пунктом будут зарядные станции. Не менее важный пункт, чем сами электромобили. Станции делятся на 3 группы (Таблица 1)

Кроме деления по времени заряда производители станций вносят много неразберихи, создавая различные порты для подключения. Это обусловлено не только тем, что зарядки разных уровней пропускаю через себя токи различных мощностей, но и тем, что разные производители придумывают что-то «свое». Стандарты разных производителей несовместимы. Кроме того более медленные зарядные станции используют по-

стоянный ток, быстрые же - переменный. Так же появляются и развиваются беспроводные зарядные станции.

Таблица 1 – Характеристики зарядных станций

Тип	Время, ч	Стоимость, \$	Мощность, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В
Тип	Время, ч	Стоимость, \$	Мощность, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В
Level 1	12	<1000	3,3	16	220
Level 2	4	3500-6000	7	32	240
Level 3	0,5	60000- 100000	22	63	690

Несмотря на то, что различные типы и стандарты зарядных станций является очень важным фактором, но не единственным при проектировании сети. Важен учет и других параметров сети, а также различных условий их эксплуатации.

Следующим пунктом являются работы российских и зарубежных авторов.

В статье [3] автор предлагает алгоритм, позволяющий рассчитывать показатели эффективности системы массового обслуживания электрических зарядных станций. На основе данных показателей производится анализ целесообразности размещения электрической зарядной станции при заданных характеристиках.

В статье [4] автор утверждает, что оптимальное количество и эффективность деятельности зарядных станций могут быть определены лишь на основе современных научных методов оптимального проектирования производственных процессов на принципах ресурсосбережения и высокой производительности. Поэтому необходимо установить эффективные соотношения между количеством поступающих за единицу времени заявок и производительностью или пропускной способностью соответствующей зарядной станции.

Еще одна статья [5] от этого же автора, в которой он рассуждает над сдерживающими факторами роста рынка электромобилей, над созданием сети заправочных станций и отмечает, что все проекты развития инфраструктуры для электромобилей на первом этапе исходят из того, что на каждый электромобиль должно приходиться в среднем 2-4 зарядные станции.

Объектом исследования в работе [6] является изучение параметров размещения электростанций в г.Казани на основе моделирования Matlab Simulink. Целью исследований является изучение влияния количества и параметров зарядных установок на режимы работы электрических сетей.

В диссертации [7] автор делит зарядные станции на 3 уровня, в зависимости от стоимости и времени полной зарядки автомобиля. И занимается проектированием сети зарядных станций 2го и 3го уровня. Применяется метод сегментирования геометрических объектов.

Данные научные работы предлагают разнообразные подходы к расчёту необходимой мощности сети зарядных станций для электромобилей, однако ни в одном из них нет учета поправок на климатические условия, географические особенности расположения сети. Так в условиях низких температур дальность запаса хода будет существенно меньше, чем в более теплых районах. В результате чего параметры сети будут отличаться. В дальнейшей работе предполагается рассматривать зависимость между климатической зоной эксплуатации электромобилей и изменением запаса хода на одном заряде аккумулятора и учета в дальнейшем при проектировании зарядных сетей.

Список использованной литературы:

1. Онлайн-карта загрязнения воздуха: сайт. URL: <https://www.airvisual.com>
2. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов: учебное пособие / Грушевский А.И., Кашура А.С., Блянкинштейн И.М.[и др.]/ Красноярск: СФУ, 2015. 220 с.
3. Гопаченко Ю. А. Алгоритм модуля программного комплекса для моделирования системы массового обслуживания электрических зарядных станций/ Гопаченко Ю. А., Якунин А.Г. // Ползуновский альманах – 2016. – № 2. – С. 58 – 62.
4. Асадов Д. Г. Обоснование оптимального количества зарядных станций электромобилей / Асадов Д. Г. // Международный научный журнал – 2011. – № 5. – С. 131 – 135.
5. Асадов Д. Г. Исследование состояния и перспективы развития инфраструктуры электромобилей / Асадов Д. Г. // Международный технико-экономический журнал – 2011. – № 5. – С. 132 – 135.
6. Оптимизация количественных и качественных параметров размещения электростанций для электромобилей в г.Казани с учетом режимов электрических сетей на основе MATLAB SIMULINK: отчет о НИР / Зиганшина А.И. – Томск :Томский Политехнический университет, 2016. – 4 с.
7. Xiaozhou Zhang. The Design of Electric Vehicle Charging Network// China University of Geosciences. Wuhan. China. 2015. 51 с.

Анализ методов определения скорости изнашивания агрегатов

И. С. Писарев, Д. А. Поцейко

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт,
660074, г. Красноярск, ул. Борисова, 20

Рассмотрена проблема повышения ресурса агрегатов. Проведен анализ методов определения скорости изнашивания агрегатов.

Ключевые слова: ремонт, агрегат, износ, ресурс, методы.

В процессе эксплуатации автомобилей ресурс, заложенный в них при конструировании и производстве, снижается вследствие изнашивания деталей.

Основными характеристиками изнашивания являются [1]: скорость изнашивания, интенсивность изнашивания, линейный износ и т.д.

Скорость изнашивания — отношение величины износа ко времени, в течение которого он возник. Различают мгновенную скорость изнашивания (в определенный момент времени) и среднюю — за определенный промежуток времени.

Интенсивность изнашивания — отношение величины износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы.

Линейный износ — изменение размера детали в результате изнашивания в направлении, перпендикулярном поверхности трения. Применительно к деталям машин линейный износ является одной из основных характеристик изнашивания.

Выделяются два основных способа повышения ресурса (рисунк 1).

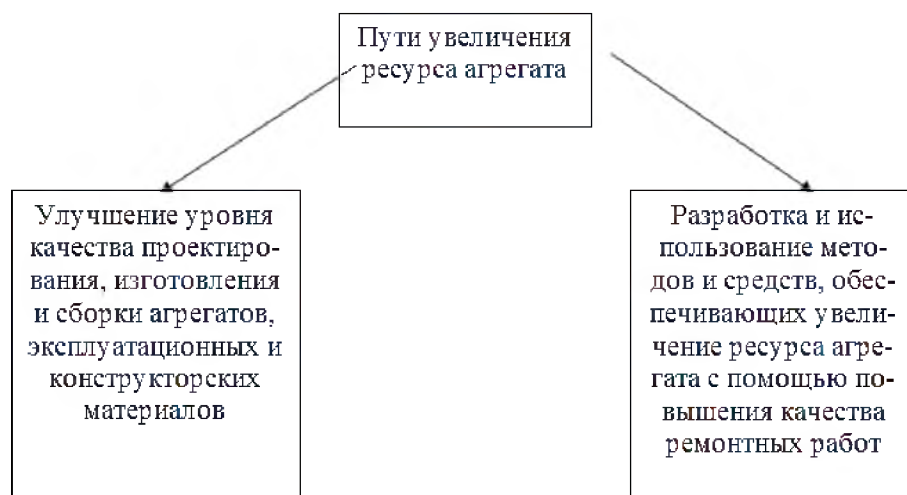


Рис. 1. Схема способов повышения ресурса агрегата

Задачей данного исследования, является выбор методов по определению скорости изнашивания, применительно к реальным возможностям их реализации в условиях ремонтных предприятий.

Использование соответствующих методов определения износа позволит повысить ресурс агрегата и качество ремонта.

В настоящее время существует большое количество методов для определения износа деталей машин. Диапазон применения методов обуславливается точностью и затратой времени на их выполнение. В общем случае методы измерения износов машин можно условно разделить на четыре класса (рисунок 2): интегральные, дифференциальные, диагностические и экономические [2, 3, 4, 5].

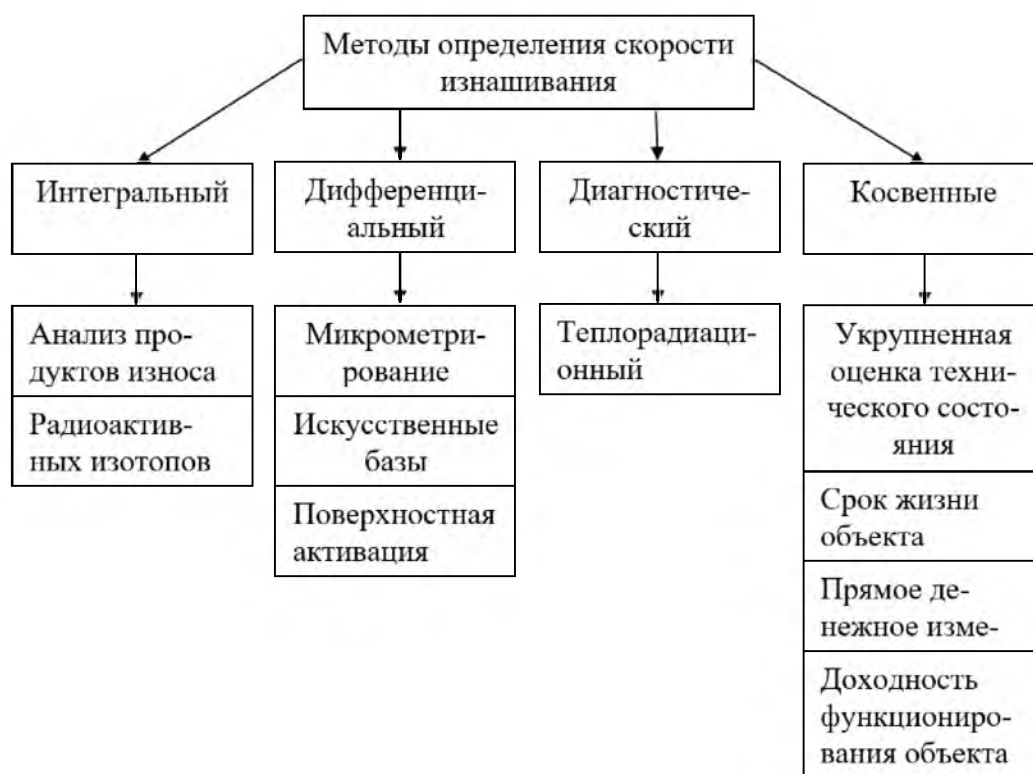


Рис. 2. Методы определения скорости изнашивания

Интегральный метод измерения износов охватывает положения по оценке суммарного износа, т.е. по изменению массы и объема образца, зазора сопряжений. К интегральному методу можно отнести определение продуктов износа в смазке с помощью химического, спектрального, нейтронно-активационного анализов, магнитной проницаемости, электропроводности, радиоактивных изотопов и других физико-химических способов.

Метод анализа продуктов износа в рабочих маслах основан на следующем. Продукты износа деталей представляют собой мельчайшие металлические частицы, в большинстве своем находящиеся в масле во взвешенном состоянии. Для анализа отбирается проба масла, которая сжигается, и в золе при помощи химического, полярографического,

нейтронно-активационного или спектрального анализа определяют содержание металлов. Наиболее перспективными являются методы, позволяющие без сжигания масла установить в пробе концентрацию продуктов износа.

Значительно расширились возможности метода анализов работавших масел при использовании квантометров, приспособленных для автоматической расшифровки спектрограмм, а также в случае применения вставок – "свидетелей" износа, вмонтированных в работающие детали из материалов, которые не используются для данных машин, но износостойкость которых равна нормативному значению износа.

Метод радиоактивных изотопов заключается в том, что в трущуюся деталь вводят радиоактивный изотоп. При работе пары трения вместе с продуктами износа в масло будет попадать пропорциональное им количество атомов радиоактивного изотопа. По интенсивности их излучения в пробе масла можно судить о количестве металла, попавшего в масло за данный период времени. Свойства вводимого изотопа должны быть таковы, чтобы он равномерно распределялся в металле детали. Наведение радиоактивности в уже готовые детали возможно путем их облучения в ядерном реакторе.

Дифференциальные методы. Дифференциальный метод определяет износ конкретной пары трения или ее составляющей. К указанному методу относятся: микрометрирование с помощью различных микрометрических приборов и профилографов, метод искусственных баз (метод отпечатков, лунок, слепков), метод поверхностной активации, вставок.

В последнее время для определения износов широкое распространение получил диагностический метод, основанный на определении коэффициента трения, утечек или расхода жидкостей и газов, изменения температуры и радиационного потока.

Метод микрометрирования основан на измерении при помощи микрометрических приборов размеров детали до и после работы. По разности измерений судят о линейном износе в разных местах поверхности трения. Измерительные индикаторы снабжаются контактными и бесконтактными датчиками.

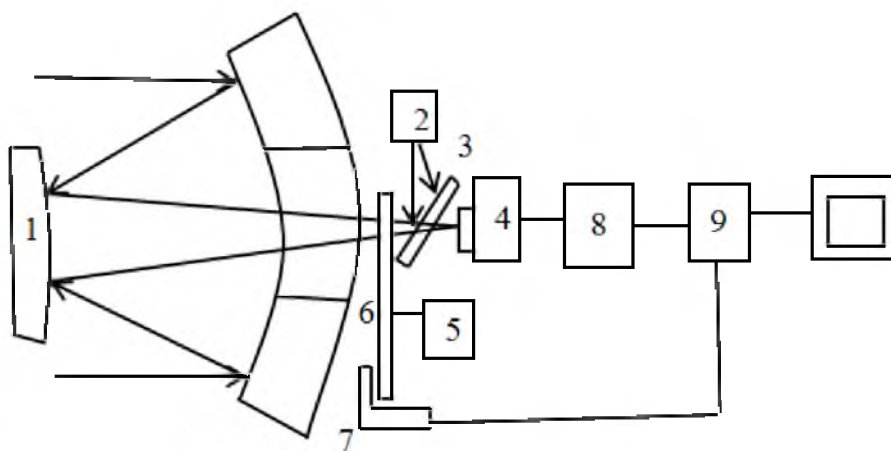
Метод поверхностной активации является разновидностью метода радиоактивных изотопов. В данном случае активированию подвергается лишь участок поверхности трения и с помощью счетчика отмечается изменение интенсивности излучения этого участка, происходящее по мере изнашивания поверхности.

Метод искусственных баз состоит в том, что на поверхности выдавливают или вырезают углубление строго определенной формы (рисунок 3).

Диагностические методы определения износа. К диагностическим методам относится теплорадиационный метод определения технического состояния узлов трения.

В процессе работы пары трения происходит трансформация внешней механической работы в энергию внутренних процессов. При этом изменяются свойства поверхностных слоев материалов, увеличивается сопротивление деформации, изменяется электрическое сопротивление, интенсифицируются химические процессы, образуется теплота и т.п.

Для точных количественных и бесконтактных измерений температур деталей в процессе работы применяется прибор, называемый радиометром (рисунок 3). Тепловое излучение (поток) с исследуемой поверхности фиксируется оптической системой 7 на приемник излучения 4. Интенсивность падающего излучения измеряется путем сравнения с излучением внутреннего эталонного источника 2.



1 – оптическая система; 2 – эталонный источник; 3 – зеркало; 4 – приемник излучения; 5 – электродвигатель; 6 – модулятор; 7 – генератор; 8 – усилитель; 9 – синхронный выпрямитель

Рис. 3. Схема радиометра

Для этой цели приемник (болометр) при наличии модулятора 6 попеременно облучается то со стороны измеряемой поверхности, то со стороны эталонного источника. В тот момент, когда болометр перекрывается сектором модулятора, излучение эталонного источника, отразившись от зеркала 3 и тыльной стороны модулятора, попадает на болометр. Диск 6 при вращении перекрывает сигнальную лампочку, облучающую фотодиод в генераторе опорных напряжений 7. Синхронизирующие импульсы от генератора опорных напряжений управляют переключателем синхронного выпрямителя 9.

В оценочной практике используются, в основном, четыре косвенных метода измерения физического износа техники [2, 3, 4]:

- метод укрупненной оценки технического состояния объекта;
- метод срока жизни объекта;
- метод прямого денежного измерения;
- метод доходности функционирования объекта.

Рассмотрим более подробно **метод укрупненной оценки технического состояния** или метод экспертной оценки.

Сущность метода заключается в том, что эксперты (оценщики) изучают техническое состояние техники, делают выводы и сравнивают это состояние с данными специальной оценочной шкалы, которая разрабатывается оценщиком самостоятельно с учетом практики его работы либо является нормативным документом оценочной фирмы.

Метод срока жизни технических объектов. В процессе эксплуатации машины, оборудование, транспортные средства неоднократно подвергаются ремонту: какие-то их части заменяются, другие ремонтируются. В результате возраст отдельных элементов оцениваемого объекта получается различным. В этой ситуации оценщик определяет средневзвешенный возраст оцениваемого объекта на основе возраста обновленных элементов технического объекта, который принято называть эффективным возрастом.

Метод прямого денежного измерения. Сущность метода заключается в том, что подсчитывается сумма затрат на замену отдельных элементов техники (в денежном выражении), которая бы потребовалась для устранения износа. Затем эта сумма соотносится со стоимостью нового объекта (аналогичного).

Метод доходности функционирования объекта. В основе метода лежит расчет чистого дохода, который приносит оцениваемый объект в процессе эксплуатации.

Все методы, кроме косвенных (не учитывают физ. состояние объекта), были оценены экспертами по 5-балльной шкале. Оценка проводилась по 4 параметрам, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1– Оценка методов

Название метода	Параметры				Сумма
	Стоимость	Время	Точность	Реализация	
Анализ продуктов износа	4	4	3	4	15
Радиоактивных изотопов	2	3	4	2	11
Микрометрирование	4	4	4	5	17
Искусственные базы	3	3	4	4	14
Поверхностная активация	1	2	5	1	9
Теплорадиационный	3	4	3	3	13

Больше всего баллов имеет метод микрометрирования.

В дальнейшей работе планируется использование метода микрометрирования для определения скорости изнашивания агрегатов. Для обработки результатов будут использованы статистические методы исследо-

вания и налажен строгий учет параметров, влияющих на определение скорости износа.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 27674-88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.
2. Черноиванов В.И. Нанотехнологии – основа повышения качества обслуживания и ремонта машин // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 22-32.
3. Черноиванов В.И., Ольховский А.К. Продление ресурса сельхозтехники применением нанотехнологий и модернизацией в процессе ремонта // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 102. С. 14-22.
3. Черноиванов А.Г., Шапиро Е.А. Методические рекомендации по расчету объемов работ и затрат средств на ремонт новой сельскохозяйственной техники (в условиях Краснодарского края) / Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2010. – 48 с.
6. ГОСТ 27860-88 Детали трущихся сопряжений. Методы измерения износа.

УДК 504.064.4

***Современный подход к оценке экологической безопасности
автотранспортных потоков на участках улично-дорожной сети***

Л.Н. Третьяк, Е.В. Бондаренко, А.С. Вольнов

Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург,
пр. Победы 13

В статье предложен комплексный подход к оценке негативного влияния автотранспортных потоков при их экологическом мониторинге. Обоснована необходимость учёта не только вредных веществ из отработавших газов двигателей автомобилей, продуктов изнашивания узлов и агрегатов автомобиля, но и уровня акустического и электромагнитного загрязнения. Разработана схема оценки безопасности автотранспортных потоков по экологическим, социальным и экономическим критериям, учитывающая параметры автотранспортного потока. При оценке негативного влияния автотранспортных потоков на здоровье населения предложен дозный подход, применительно к шумовой нагрузке и загрязнению вредными веществами приземного слоя атмосферы автомобильных дорог. Введён показатель комплексного экологического ущерба выбросов вредных веществ отработавших газов двигателей автомобилей, продуктов изнашивания дорожного покрытия, автомобильных шин, тормозных механизмов, а также акустического и электромагнитного

загрязнения от автотранспортных потоков, на основе которого возможен наиболее объективный расчёт доли экологического налога в транспортный.

Ключевые слова: *автотранспортные потоки, вредные вещества, безопасность, экологический мониторинг, дозный подход, ущерб.*

Согласно транспортной стратегии РФ до 2030 года основная цель развития транспортной системы – удовлетворение потребностей инновационного социально-ориентированного развития экономики и общества в конкурентоспособных качественных транспортных услугах. При этом устойчивость транспортной системы определяется ее способностью обеспечивать качественное удовлетворение потребностей общества в перевозках при одновременной минимизации негативных воздействий на здоровье населения и состояние окружающей среды не только при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) и авариях, но и при нормальном функционировании автотранспортного средства (АТС).

В настоящее время автотранспортный поток это самостоятельный объект управления, его экологическая безопасность представляется комплексом законодательных, организационных, технических и экономических мероприятий и средств, обеспечивающих минимальное суммарное воздействие движущихся АТС на окружающую среду (ОС). Специфика передвижных источников загрязнения окружающей среды проявляется: в высоких темпах роста численности АТС; более высокой токсичности выбросов вредных веществ (ВВ); сложности технической реализации средств защиты от загрязнений; непосредственной близости к жилой застройке и т.д. [1]. Перечисленные особенности передвижных источников обуславливают создание в городе автотранспортными потоками обширных зон с устойчивым превышением санитарно-гигиенических нормативов. Для определения негативных последствий транспортной деятельности и принятия решений, предупреждающих (или минимизирующих) возможные негативные последствия необходим комплексный мониторинг автотранспортных потоков по экологическим, социальным и экономическим критериям путём оценки качества ОС (атмосферного воздуха, воды, почвы), их влияния на здоровье населения в приагистральных зонах, а также оценки экономического ущерба (рисунок 1).

Проведённые нами исследования [2, 3] показали, что автотранспортные потоки загрязняют ОС веществами, которые выбрасываются с отработавшими газами (ОГ), продуктами изнашивания протектора автомобильных шин, фрикционных материалов тормозных механизмов и дорожных покрытий. Причём наибольший объем токсичных ВВ образуется ОГ ДВС несмотря на то, что автомобильный парк постоянно обновляется и становится «экологичнее» за счёт появления АТС с 5 и 6 экологическими классами. На участках уличной дорожной сети (УДС) Оренбурга соотно-

шения масс выбросов ВВ от автотранспортного потока (при интенсивности 1811 авт./ч) после их рассеивания в приземном слое атмосферы на перекрестках распределяются следующим образом: ОГ ДВС – 56,40 %, ВВ из продуктов изнашивания дорожного покрытия – 35,78 %, шин – 6,71 %, тормозных механизмов – 1,10 %.

По объемам выбросов одним из основных ВВ, образующихся при эксплуатации АТС, являются дисперсные частицы (ДЧ), содержащие токсичные элементы. ДЧ образуются в основном из пыли дорожного покрытия, подвергающегося изнашиванию в результате его взаимодействия с протекторами шин. На интенсивность образования частиц износа и загрязнение ими воздуха влияют многие факторы: параметры автотранспортного потока, конструкции шин и тормозных механизмов АТС, составы резины и фрикционного материала, условия окружающей среды, прочность асфальто-бетонной смеси и т.д. Токсичные свойства проявляют все химические соединения, находящиеся в частицах автомобильной пыли, но наиболее опасны выделяющиеся из шин канцерогены: бенз(α)пирен и другие ПАУ, а также N-нитрозамины. Все эти вещества по международной классификации входят в список приоритетных токсичных ВВ. По оценке некоторых специалистов [4] из шин выделяется больше канцерогенных веществ, чем из ОГ двигателя или асфальтового дорожного покрытия.



Рис. 1. Предлагаемая схема оценки безопасности автотранспортных потоков по экологическим, социальным и экономическим критериям

Таким образом, при оценке негативного влияния автотранспортных потоков необходим комплексный подход, учитывающий вклад каждого из источников выбросов, с учётом динамично изменяющихся в городских условиях параметров автотранспортного потока.

Так при определении массового выброса ВВ от автотранспортного потока ($M_{ВВ \text{ авт. потока, г}}$) авторами статьи предложено [2, 3] учитывать не только токсичное влияние ОГ, но и продуктов изнашивания шин, тормозных механизмов, а также дорожного покрытия для участков улично-дорожной сети (УДС) (рисунок 2). Экологическую безопасность автотранспортных потоков необходимо проводить с учётом транспортной работы при грузопассажирских перевозках. Кроме того при оценке негативного влияния на здоровье населения от выбросов ВВ нами принят дозный подход, базирующийся на достижениях учёных отечественной токсикологической школы [6], признанных в международной практике. Уровень нормирования токсичности компонентов приземного слоя атмосферы автомобильных дорог нами предложено оценивать как суммарную дозу токсичности типичных загрязняющих веществ в объёме одного метра кубического воздуха $\left(\sum_{i=1}^n C_i / CL_{50} \right)$.



Рис. 2. Схема расчёта основных источников ВВ от автотранспортных потоков и оценки негативного влияния на здоровье населения городов

Допустимую на муниципальном уровне сумму токсичных доз химических веществ, способных аэрогенно воздействовать на жителей, для автомобильных дорог предлагается принять как ориентировочный допустимый уровень загрязнения. При этом суммарную токсичность необходимо нормировать на уровне не более одной условно токсичной дозы. Применённый нами дозный подход к оценке токсичности всего комплекса из 17 ВВ на наиболее загрязнённых участках УДС Оренбурга позволил составить рейтинговый ряд их опасности в приземном слое атмосферы. При этом установлено [2, 3], что наибольший вклад в суммарную токсичность (в % от общей токсичности) вносят: бенз(а)пирен 68,65 %, акролеин 19,73 %, формальдегид 7,81 %, фенол 1,89 %. На основе проведённого нами анализа установлено, что степень токсичного загрязнения приземного слоя атмосферы автомобильных дорог по районам города Оренбурга в среднем составляет 0,0003 суммарных токсичных дозы учитываемых ВВ.

Ещё одним существенным источником загрязнения ОС является шум автотранспортного потока. Уровень и характеристики шума зависят от типа автомобиля, конструкции подвески, рисунка протектора, нагрузки на шину, ее жесткости и давления в ней, а также от степени изнашивания узлов и агрегатов автомобиля. Уровень шума нормируется для АТС в зависимости от полной массы и мощности двигателя. Для автотранспортного потока эквивалентный уровень звука за временной интервал необходимо рассчитывать согласно ГОСТ 20444-2014 с учётом уровня звукового воздействия АТС для каждой категории (рисунок 3).

Оценку негативного влияния на здоровье населения предлагается проводить согласно дозовому подходу, принятому при оценке производственных шумов (по МИ 2908-82). При этом допустимое значение звукового давления для территорий непосредственно прилегающих к жилым домам должно быть равно 70 дБА (СП 51.13330.2011). Такой подход позволяет оценивать реальную шумовую нагрузку и проводить шумовой мониторинг для охраны здоровья каждого жителя города.

На основании проведенных исследований шумовой нагрузки на автомобильных дорогах г. Оренбурга составлен рейтинг участков УДС (таблица 1), а также установлено, что уровень шумового загрязнения зависит не только от интенсивности автотранспортного потока, но также от подвижного состава, скорости движения, сезона, конструкция дороги, системы организации движения, а также времени суток (рисунок 4).

Автомобиль также является источником электромагнитного излучения (ЭМИ) хотя и сравнительно маломощным. Проблема оценки электромагнитной безопасности АТС связана с большим числом источников, в том числе, электротранспорта на улицах города (таблица 2). На территории современных городов электромагнитное поле от 18 до 32 % формируется в результате или с учетом автомобильного движения. К 2026 году этот показатель может вырасти в 3 раза (таблица 3).

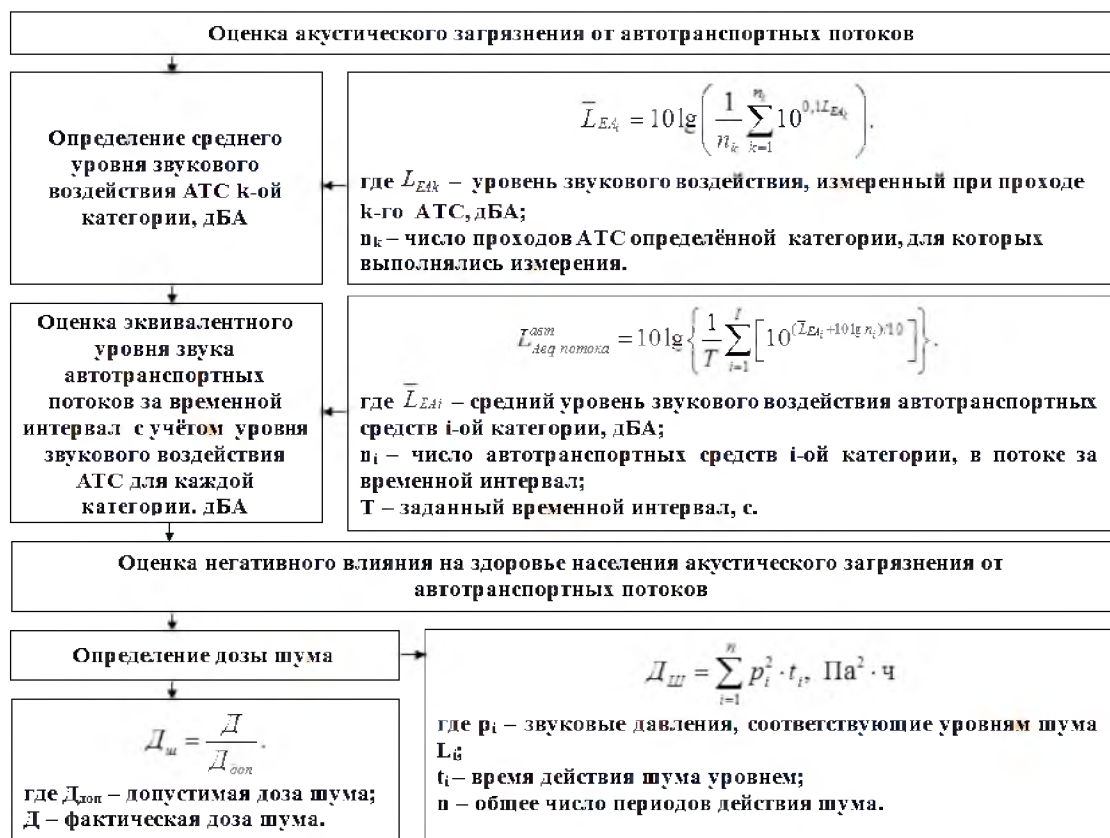


Рис. 3. Схема расчёта акустического загрязнения от автотранспортных потоков и оценки негативного влияния на здоровье населения городов

Таблица 1 – Результаты оценки шумового загрязнения от автотранспортного потока на улицах города Оренбурга в «час пик» (фрагмент)

Участок УДС	Интенсивность потока авт./ч	Эквивалентный уровень звука, дБА	Доза шума
ул. Донгуская	2292	79,613	9,22
ул. Салмышская	1980	78,813	7,67
ул. Чкалова	3144	77,966	6,31
ул. Дзержинского	1548	77,516	5,69
ул. Мира	1164	77,343	5,47
пр-т. Победы	2820	74,940	3,14

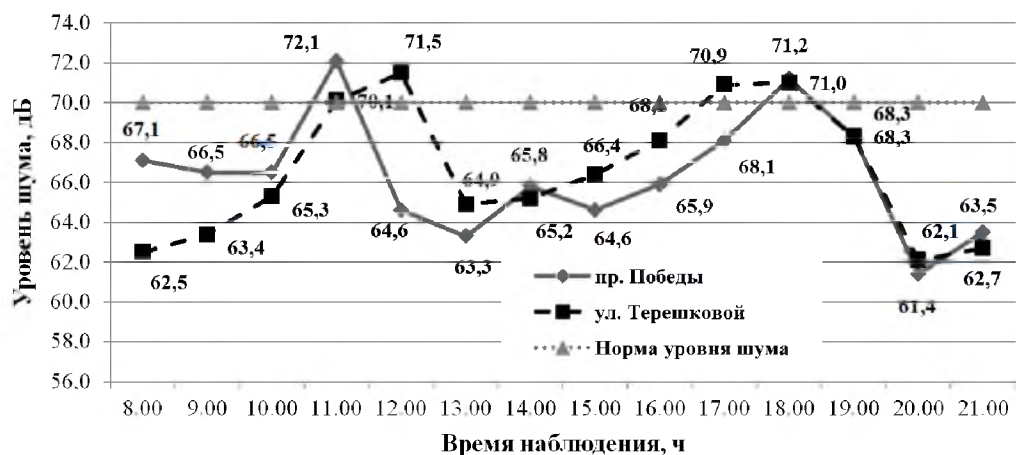


Рис. 4. Изменение уровня шума на ул. Терешковой и пр. Победы

Таблица 2 – Исследование электромагнитных низкочастотных полей в зависимости от интенсивности движения автотранспортного потока [7]

Интенсивность движения, авт./ч	Характеристики электромагнитного поля в диапазоне частот					
	5 Гц-2 кГц		2 кГц-400 кГц		50 Гц	
	Е, В/м	В, мкТл	Е, В/м	В, мкТл	Е, В/м	В, мкТл
2400	7,0	0,1	0,3	1,0	2,0	2,0
3600	16,0	0,3	0,9	1,0	6,0	3,0

Таблица 3 – Прогноз структуры парка АТС России по типу энергоустановок (по данным МАДИ)

Тип АТС	Тип энергоустановок									
	Дизель		Бензин		Газ		Гибрид		Энергоустановки, работающие на водороде, электромобили	
	2016	2031	2016	2031	2016	2031	2016	2031	2016	2031
Легковые	0,1	0,203	0,8	0,378	0,04	0,135	0,035	0,149	0,025	0,135
Грузовые	0,45	0,53	0,51	0,31	0,02	0,08	0,01	0,04	0,01	0,04
Автобусы	0,807	0,82	0,153	0,02	0,02	0,08	0,01	0,04	0,01	0,04

В настоящее время также требуются и новые подходы и методы оценки экологического ущерба от автотранспортных потоков. При оценке экологического ущерба нами предлагается ввести показатель комплексного ущерба от автотранспортного потока ($Y_{ЭБ}$), определяемый как алгебраическая сумма ущербов с учётом основных источников негативного влияния на здоровье населения: ОГ, продуктов изнашивания дорожного покрытия, шин, тормозных механизмов от АТС, находящихся в потоке, а также акустического и электромагнитного загрязнения:

$$Y_{ЭБ} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{ОГ}} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{ш}} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{шп}} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{тм}} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{АЗ}} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk_{ЭЗ}},$$

где $Y_{ЭБ}$ – комплексный экологический ущерб от автотранспортного потока, тыс. руб.; $Y_{ОГ}$, $Y_{шп}$, $Y_{ш}$, $Y_{тм}$ – ущербы от выброса i -го ВВ из состава ОГ двигателя, продуктов изнашивания дорожного покрытия, шин, тормозных механизмов j -го автомобиля k -ой категории, тыс. руб.; $Y_{АЗ}$, $Y_{ЭЗ}$ – ущербы от акустического и электромагнитного загрязнения j -го автомобиля k -ой категории, тыс. руб.; I – количество ВВ; J – количество автомобилей одной категории; K – количество категорий.

Используя методику НАМИ, нами рассчитан ущерб от выбросов ТЧ, нанесенный АТС, зарегистрированными на территории Оренбургской об-

ласти. При этом были учтены ТЧ не только в составе ОГ, но и продуктов износа шин, а также дорожного покрытия (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты расчета показателей экологической безопасности для парка АТС Оренбургской области

Автотранспортное средство	Количество АТС, ед.	Ущерб, млн. руб. (Показатель экологической безопасности)			Комплексный ущерб от АТС, млн. руб.
		ОГ	Шины	Дорожное покрытие	
Легковые (15 тыс. км)	488946	29,33	1466,84	44494,09	45990,26
Грузовые (40 тыс. км)	85663	27,41	8155,11	58250,84	66433,36
Автобусы (30 тыс. км)	16970	4,073	1211,66	8654,7	9870,43
Итого от АТС	591579	60,81	10833,17	111399,63	122293,61

Результаты расчета показателей экологической безопасности для Оренбургской области позволили установить, что ущерб здоровью населения и окружающей среде от ОГ в 40 раз меньше продуктов изнашивания шин и более чем в 1800 раз меньше продуктов изнашивания дорожного покрытия. Что говорит о необходимости постоянного мониторинга и оценки ущерба от продуктов изнашивания шин и дорожного покрытия. Таким образом, существует необходимость разработки комплексной методики оценки экологического ущерба от автотранспортных потоков, а также эффективности проводимых мероприятий по снижению выбросов ВВ.

Предложенный нами показатель комплексного экологического ущерба от автотранспортных потоков позволит проводить наиболее объективный расчёт доли экологического налога в транспортный налог для каждого АТС. Кроме того применение системного подхода к оценке экологической безопасности автотранспортных потоков будет способствовать не только выбору оптимальных параметров автотранспортного потока с учётом их комплексного экологического мониторинга, но и оценки суммарной дозы токсичности всех ВВ, образующихся из ОГ, в результате изнашивания автомобильных шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия, а также акустического и электромагнитного загрязнения. Результаты оценки безопасности автотранспортных потоков по экологическим, социальным и экономическим критериям и их имитационного моделирования в условиях загрязнения воздушного бассейна показывают важность планирования грузопассажирских перевозок и проведения организационно-технических мероприятий с учётом их транспортной работы. Что в последствие позволит снизить негативное воздействие на ОС и риски возникновения хронических заболеваний населения городов.

Список использованной литературы:

1. Цыплакова Е.Г., Янкевич Ю.Г. Анализ воздействия автотранспорта на воздушную среду северных городов России: сб. науч. ст./ Царско-сельские чтения: XXI международной научной конференции. СПб. 2017. С. 132–139.
2. Третьяк Л.Н., Вольнов А.С., Косых Д.А. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных потоков путём комплексного учёта выбросов вредных веществ и разработки организационно-технических мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. №11. С. 40–46.
3. Вольнов А.С. Методика экологического мониторинга автотранспортных потоков по параметрам комплексного загрязнения приземного слоя атмосферы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Вольнов Александр Сергеевич. – Оренбург, 2017. – 17 с.
4. Хесин А.И., Скудатин М.Е., Ушмодин В.Н. Канцерогенная опасность автомобильных шин [Электронный ресурс] // Национальная безопасность и геополитика России, №10-11(51-52), 2003. URL: <http://www.hesin-tech.ru/article21.html> (дата обращения: 24.04.2018).
5. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. М.: Медицина, 1975, 328 с.
7. Азаров В.К., Гайсин С.В., Кутенёв В.Ф. Концепция разработки универсальной методики объективной оценки комплексной безопасности автомобиля по обеспечению безопасности водителя, пассажиров и пешеходов // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 1. С. 44–48.
8. Кухарев А.М., Евдокимов М.В. Автотранспортное средство как источник электромагнитной опасности / Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 2 (28). С. 91–94.

УДК 629.113.001

Экспериментальное исследование влияния износа беговой дорожки шины на величину установившегося замедления АТС при торможении в блоковом режиме

А.И. Федотов, А.С.Марков, Э.С. Салчак

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Авторами данной статьи проведены исследования влияния износа беговой дорожки шины на величину установившегося замедления АТС при экстренном торможении, методом дорожных испытаний. В результате проведенного исследования было установлено, что для эластичных шин

марки BridgeStone Sneaker, с износом беговой дорожки 10% величина установившегося замедления составила 8,04 м/с², а для шин с износом 90% установившееся замедление составило 7,19 м/с². Снижение установившегося замедления составило 10,5% соответственно, как и коэффициент сцепления эластичной шины с опорной поверхностью.

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

Автомобиль в наше время занял неотъемлемую часть нашей жизни. Автотранспортные средства (АТС) используются для грузоперевозок, пассажироперевозок и в личном пользовании граждан. Как и любое другое транспортное средство - автомобиль является источником повышенной опасности, как для водителя и пассажиров АТС, так и для других участников дорожного движения. Как показывает практика достоверность контроля состояния тормозной системы не дает сто процентной достоверности в правильности поставленного результата. На территории нашей необъятной страны в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) получают ранения около двухсот пятидесяти тысяч граждан и порядка двадцати семи тысяч граждан погибают [1].

Качественный контроль тормозной эффективности АТС жизненно важное мероприятия при прохождении технического осмотра. Под тормозной эффективностью АТС понимается следующее: установившееся замедление и время срабатывания тормозной системы автомобиля. На величину установившегося замедления АТС оказывает множество факторов, такие как состояние исполнительных механизмов тормозной системы, качество дорожного покрытия, характеристика и состояние эластичных шин и т.д. Согласно постановлению правительства №720 "Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств" тормозная система автомобиля должна обеспечивать установившееся замедление автомобиля категории М1 не менее 5,2 м/с². Износ автомобильных шин оценивается по остаточной величине рисунка протектора, что для полного износа шины легкового автомобиля составляет 1,6 мм [2]. Однако с достоверной точностью не известно, как износ рисунка протектора беговой дорожки шины влияет на эффективность тормозной системы АТС.

Для изучения данного вопроса было приобретено по несколько пар шин модели BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с разной остаточной величиной рисунка протектора (Рисунок 1).

Ранее выполненные исследования по повторяемости измерения тормозных сил при увеличении износа беговой дорожки шины на стенде СТМ-3500, в Иркутском национальном исследовательском техническом университете на кафедре «Автомобильный транспорт» позволили установить, что увеличение износа рисунка протектора беговой дорожки шины

от 5% до 90% для шин BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S приводит к снижению величины тормозной силы на 35% [3].



а) шина с износом 10%

б) шина с износом 10%

Рис.1 - Шина BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S

Данные шины поочередно устанавливались на переднюю ось автомобиля Nissan Sunny FB15. Шины на задней оси не менялись, т.к. при торможении автомобиля происходит перераспределение веса, и в результате чего на переднюю ось нагрузка приходится в большей степени. Затем перед проведением эксперимента на автомобиль устанавливали прибор "Эффект-02" фирмы МЕТА (Рисунок 2). Прибор "Эффект-02" предназначен для измерения параметров тормозной эффективности АТС методом дорожных испытаний. Данный прибор измеряет и рассчитывает 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 . Специально разработанная программа позволяет выводить значения установившегося замедления $J_{уст}$ в процессе торможения АТС (рисунок 3).



а) общий вид прибора «Эффект-02»



б) прибор, установленный на переднем стекле автомобиля

Рис.2 – Прибор «Эффект-02»

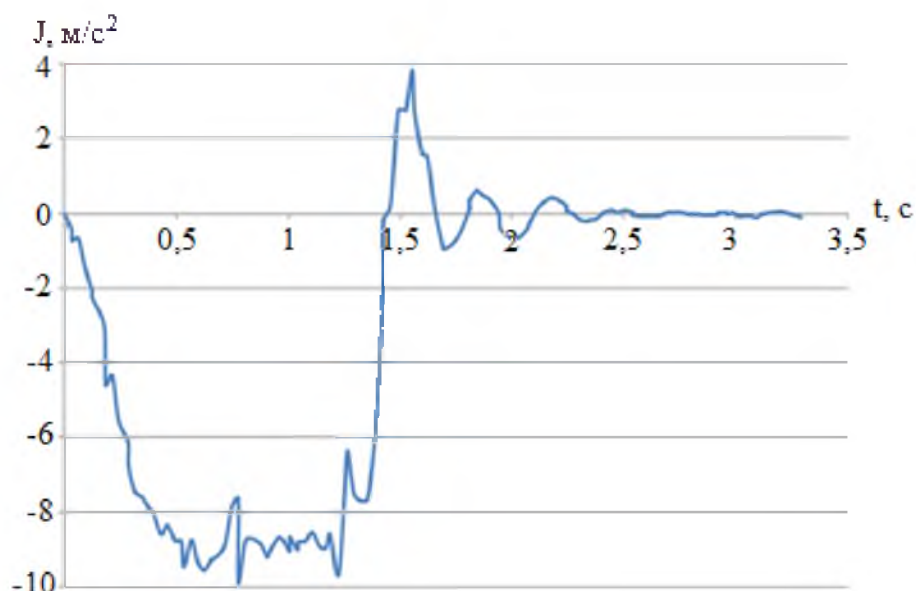


Рис.3 – График изменения установившегося замедления в процессе торможения АТС в блоковом режиме: масса АТС 1200 кг, температура окружающей среды 4°С, на передней оси установлены шины BridgeStone Sneaker 185/75 R14 88S с износом 10%, система ABS отключена

Эксперимент проводили на чистой, сухой ровной площадке покрытой асфальтобетоном, давление в шинах поддерживалось на уровне 0,21 МПа, при массе автомобиля в 1120 кг, а также на автомобиле отключалась система ABS. Автомобиль разгоняли до скорости в 45 км/ч, затем включалась нейтральная передача и во время выбега, когда скорость АТС снижалась до 40 км/ч производилось экстренное торможение до полной остановки автомобиля. Прибором "Эффект-02" фиксировались характеристики процесса торможения АТС - тормозной путь, установившееся замедление, начальная скорость торможения, время срабатывания тормозной системы, линейное отклонение и т.д.

На основе полученной информации по результатам 40 торможений для каждой пары шин устанавливаемых на переднюю ось АТС строились гистограммы распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС (Рисунок 4 и 5).

Анализируя полученные гистограммы видно, что при установке шин с износом в 10% на переднюю ось АТС установившееся замедление выше, чем при установке шин с износом в 90%. При установке шин с износом в 10%, математическое ожидание установившегося замедления составило 8,04 м/с², а при установке шин с износом в 90% составило 7,19 м/с², величина тормозного пути при этом составила 7,8 м и 8,55 м соответственно. Снижение установившегося замедления составило 10,5% соответственно, как и коэффициента сцепления эластичной шины с опорной поверхностью. Стоит заметить, что при повышении износа беговой дорожки шины, снижается разброс измеренных значений установившегося замедления.

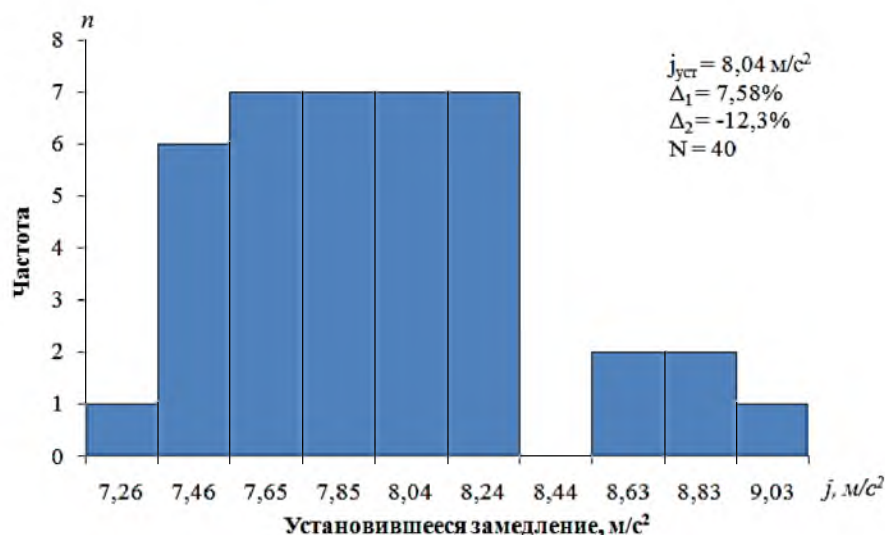


Рис.4 - Гистограмма распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС, на передней оси установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 10%

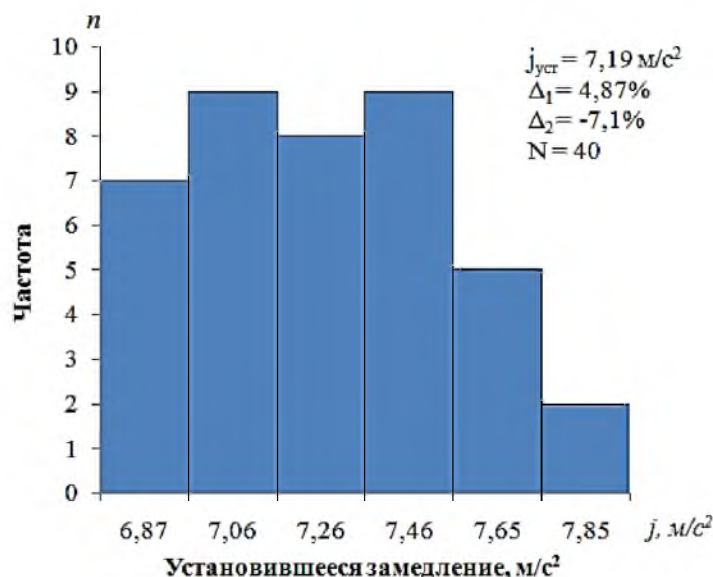


Рис.5 - Гистограмма распределения измеренных значений величины установившегося замедления АТС, на передней оси установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 90%

Полученный результат коррелирует с ранее полученными результатами [4,5,6,7], т.е. прослеживается снижение тормозной эффективности АТС при увеличении износа рисунка протектора беговой дорожки шины.

Для получения более подробной картины о зависимостях коэффициента сцепления от износа рисунка протектора, были проведены аналогичные эксперименты по измерению установившегося замедления при изменении массы АТС и варьировании температуры окружающей среды. По полученным измерениям были построены гистограммы распределения измеренных значений установившегося замедления АТС и полученные результаты были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов эксперимента при торможении АТС в блоковом режиме

	Масса АТС, кг	Температура ОС, °C	Δ_1 , %	Δ_2 , %	Установившееся замедление, $J_{уст}$ м/с ²	Δ , %
Шина с износом 10%	1120	4	4,21	-7,19	7,89	11,4
		18	7,81	-9,67	8,06	17,48
		32	3,83	-8,7	7,66	12,53
	1200	4	5,55	-7,78	7,73	13,33
		18	7,81	-4,96	8,06	12,77
		32	5,14	-5,22	7,43	10,36
	1280	4	4,33	-4,92	7,57	9,25
		18	4,01	-5,94	7,74	9,95
		32	7,12	-5,77	6,9	12,89
Шина с износом 90%	1120	4	2,56	-1,97	8,71	4,53
		18	5,2	-5,34	7,3	10,54
		32	3,66	-3,99	7,71	7,65
	1200	4	2,65	-1,47	7,76	4,12
		18	6,58	-5,91	7,44	12,49
		32	5,7	-6,21	7,48	11,91
	1280	4	0,67	-1,08	7,42	1,75
		18	10,22	-5,88	7,14	16,1
		32	4,62	-5,55	6,98	10,17

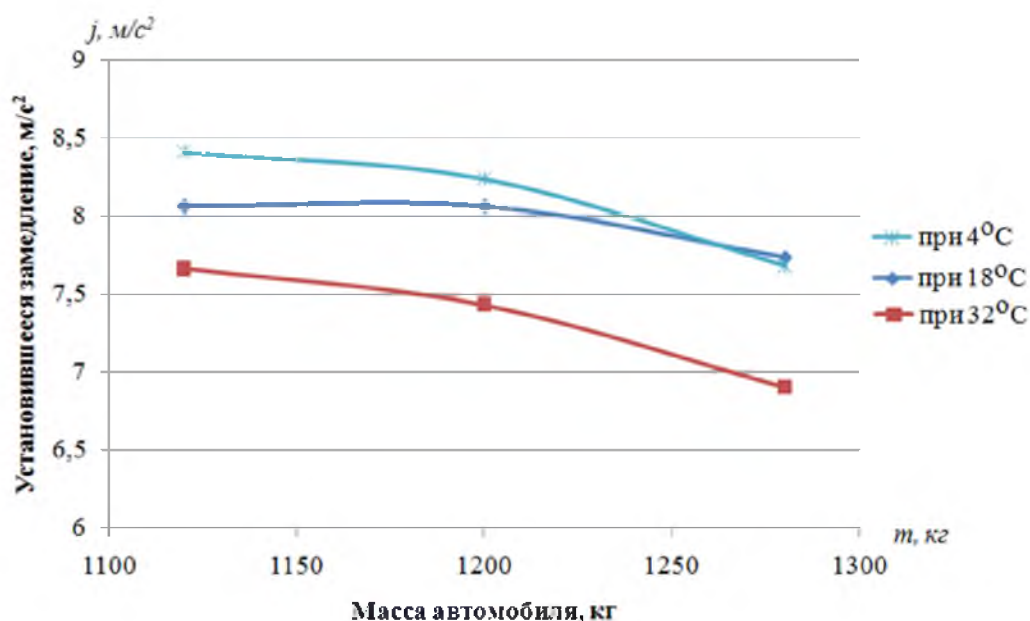


Рис.6 – График изменения установившегося замедления АТС от изменения массы АТС при варьировании температуры окружающей среды, на передней оси установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 10%.

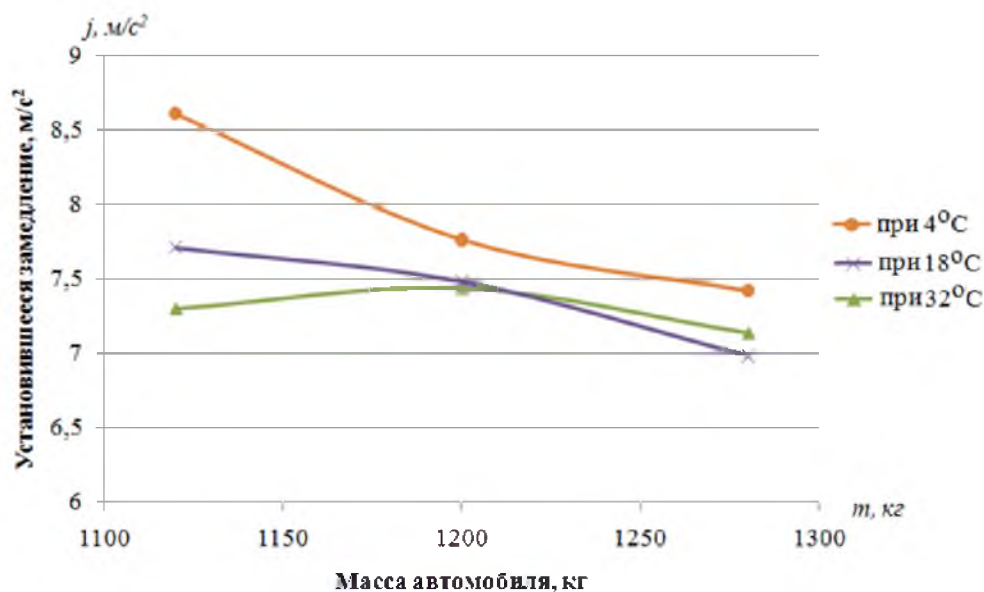


Рис. 7 – График изменения установившегося замедления АТС от изменения массы АТС при варьировании температуры окружающей среды, на передней оси установлены шины BridgeStone Sneaker 185/70 R14 88S с износом 90%.

Анализируя полученные результаты можно заметить, что при увеличении массы АТС и повышении температуры окружающей среды происходит снижение величины установившегося замедления, полученный результат подтверждает и дополняет ранее выполненные исследования [4,5,7]. Также при увеличении износа беговой дорожки прослеживается снижение сцепных свойств шины с опорной поверхностью, за исключением некоторых режимов тестового воздействия.

В заключение необходимо отметить что износ беговой дорожки шины оказывает значительное влияние на её сцепные характеристики с опорной поверхностью, и как следствие на безопасность управления транспортным средством. Однако полученной информации недостаточно для получения полной картины происходящего, для чего необходимо провести более углубленные исследования изменения установившегося замедления АТС при варьировании температуры окружающей среды, массы транспортного средства и т.д., это позволит разработать новые или дополнить существующие математические модели процесса торможения автомобиля.

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 по 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.

4. Пилушина 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

УДК 621.876.

Сравнительный анализ универсальных тормозных силовых стендов

О.С. Яньков Н.А. Демин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье приведено описание стендов, предназначенных для контроля технического состояния тормозных систем колёсных транспортных средств, и их сравнительная характеристика.

Ключевые слова: *силовой тормозной стенд, балансирный мотор редуктор, тензометрические системы, магнитострикционный датчик, бесконтактные магнитострикционные системы, опорные ролики, тормозная сила, металлоёмкость, контроль технического состояния, погрешности измерения параметров.*

Введение

Параметры, характеризующие техническое состояние тормозных систем автотранспортных средств (АТС) являются одними из основных показателей с точки зрения обеспечения безопасности. Осуществление кон-

троля технического состояния тормозной системы в условиях эксплуатации осуществляется, как правило, посредством стендовых испытаний на стендах с опорными роликами. На сегодняшний день это самый распространённый тип тормозных стендов, применяемых на станциях технического осмотра и автотранспортных предприятиях. Главным преимуществом таких стендов является реализуемый ими принцип обратимости движения, когда автомобиль стоит, а его системы функционируют так же, как в дорожных условиях. Это повышает информативность и оперативность контроля тормозных систем колёсных транспортных средств [1, 2, 3].

Анализ проблемы

Подавляющее большинство современных тормозных силовых стендов имеют типовую конструкцию. Они состоят из двух одинаковых механических блоков, симметричных друг другу, каждый из блоков приводит во вращение колесо диагностируемой оси колёсного транспортного средства. Механические блоки, содержат по два опорных ролика, приводимых во вращение индивидуальным балансирным мотор-редуктором. Статоры балансирных мотор-редукторов опираются на тензометрические датчики измерения тормозных сил. Симметричность конструкции механических блоков обеспечивает равные тестовые условия для тормозящих колёс диагностируемой оси колёсного транспортного средства.

К описанной выше конструкции относится тормозной силовой стенд «СТМ 3500М». Данный стенд является универсальным и предназначен для проверки тормозной системы легковых автомобилей и микроавтобусов с нагрузкой на ось до 3,5 тонн. Общий вид стенда представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид тормозного силового роликового стенда «СТМ 3500М».

Данный стенд позволяет осуществлять автоматическое выполнение измерений и расчет параметров тормозных систем по ГОСТ Р 51709-2001 согласно требованиям приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 6 декабря 2011 г. № 1677 «Об утверждении основных технических характеристик средств технического диагностирования и их перечня». Измерения и расчёт параметров тормозных систем осуществляются по следующим показателям: тормозная сила, развиваемая тормозными системами колёсного транспортного средства; масса, приходящаяся на ось колёсного транспортного средства; усилие, прикладываемое к органам

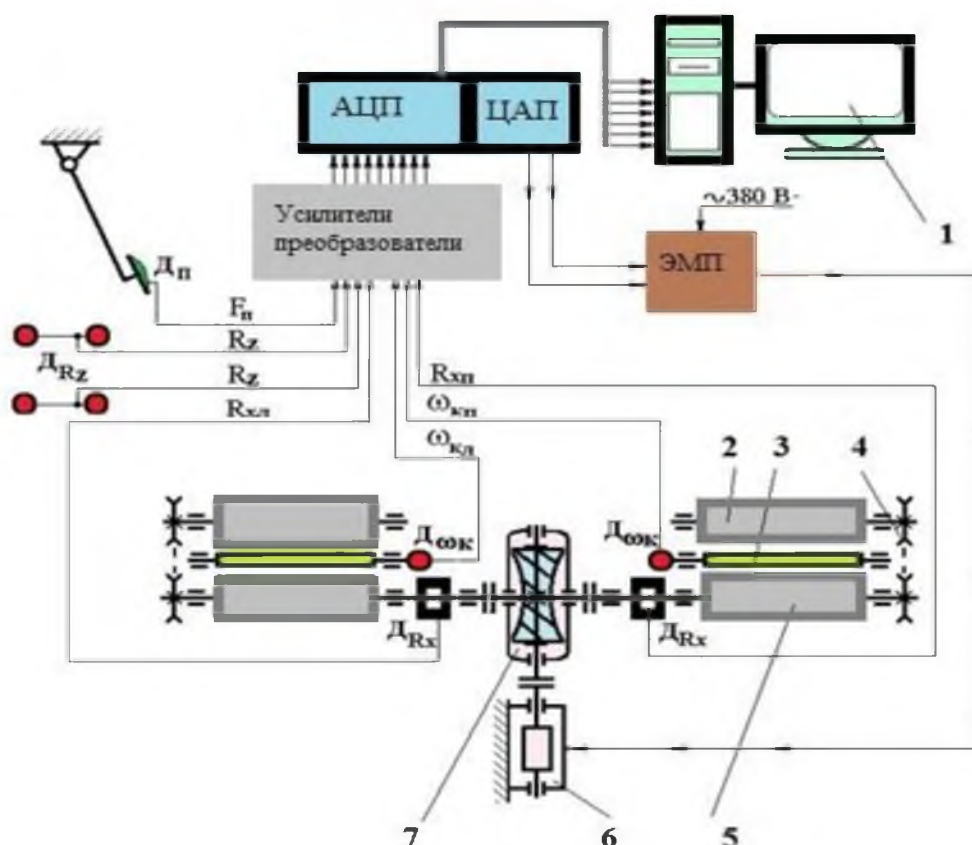
управления тормозными системами колёсного транспортного средства. Отображение результатов измерений и их графической интерпретации производится на экране монитора и информационном табло. Управление режимами измерения выполняется в автоматическом режиме в соответствии с методикой ГОСТ на программном уровне или в ручном режиме с радиопульта. После выполнения контроля производится распечатка протокола измерений и графиков тормозных сил. Возможна автоматическая работа стенда в составе линий технического контроля с оформлением диагностической карты автомобиля.

Однако, в конструкции стенда «СТМ 3500М» присутствуют два электродвигателя и два редуктора для привода опорных роликов, что усложняет их изготовление, увеличивает металлоёмкость, снижает надёжность [4]. Ещё одним недостатком является то, что использование балансирных мотор-редукторов сказывается на стабильности результатов проверок. Доказано, что измеренные 40 раз значения тормозных сил имеют большой разброс [5, 6].

С учётом недостатков силового стенда с балансирными мотор-редукторами на кафедре «Автомобильный транспорт» Иркутского государственного технического университета разработан и собран экспериментальный опытный образец тормозного силового стенда, с одним электродвигателем и одним редуктором (*мотор-редуктором*), приводящим во вращение опорные ролики, с применением бесконтактного метода измерения тормозных сил. Схема стенда представлена на рис. 2. На данный момент опытному образцу присвоено рабочее название «И7».

Одной из главных отличительных особенностей разработанного опытного образца стенда «И7» является его моно-привод. Опытный образец оборудован одним электродвигателем мощностью $N_{\text{э}} = 7,5 \text{ кВт}$ и одним червячным редуктором с передаточным числом $i = 25$, которые соединены между собой в единый силовой привод – мотор-редуктор. Концы выходного вала мотор-редуктора соединены с парами опорных роликов при помощи цепных муфт, что способствует одновременному синхронному включению и выключению привода стенда, а также синхронному вращению обоих колёс диагностируемого колёсного транспортного средства. Мотор-редуктор способен вращать колеса одной оси колёсного транспортного средства с окружной скоростью 4,1 км/ч. Система измерения тормозной силы содержит пару магнитострикционных датчиков, что повышает точность измеренных результатов [4].

Опытный образец предназначен для контроля эффективности торможения и устойчивости легковых автотранспортных средств (АТС) при торможении с осевой нагрузкой до 3000 кг (рис. 3).



1 – компьютер; 2 – опорный ролик ведомый; 3 – ролик следящей системы; 4 – цепная передача; 5 – опорный ролик ведущий (приводной); 6 – электродвигатель; 7 – червячный редуктор

Рис. 2. Схема разработанного опытного образца стенда «И7»:

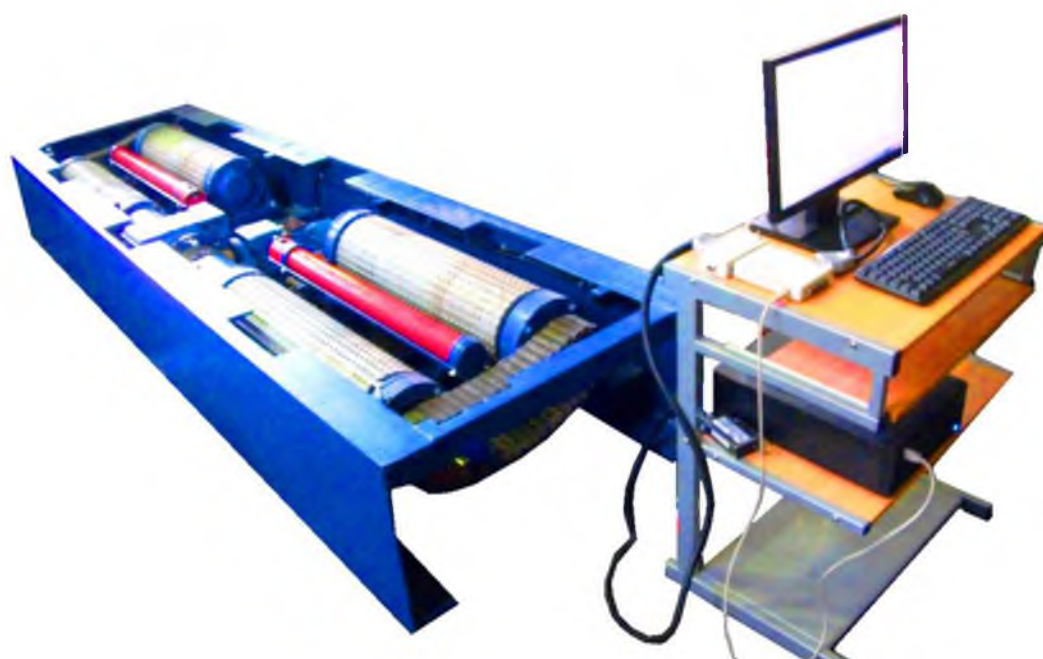


Рис. 3. Внешний вид тормозного силового роликового стенда «И7» (верхние крышки демонтированы)

Опытный образец может применяться на станциях государственного технического осмотра АТС, станциях технического обслуживания, предприятиях автомобильной промышленности для контроля эффективности тормозных систем АТС в эксплуатации, при выпуске на линии, а также при ежегодном техническом осмотре. Опытный образец обеспечивает выполнение измерений и расчет параметров тормозных систем по ГОСТ Р 51709-2001 и согласно требований приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 6 декабря 2011 г. № 1677 «Об утверждении основных технических характеристик средств технического диагностирования и их перечня». Для контроля полноприводных автомобилей, не имеющих дифференциала между ведущими осями, предусмотрено дополнительное устройство, обеспечивающее подъём одного из колёс, не диагностируемой оси для свободного его вращения. Отображение результатов измерений и их графической интерпретации осуществляется на экране монитора и информационном табло. После выполнения контроля производится распечатка протокола измерений и графиков тормозных сил. Возможна автоматическая работа стенда в составе линий технического контроля с оформлением диагностической карты автомобиля.

Результаты анализа

Сравнение основных эксплуатационных характеристик, таких как: габаритные размеры, мощность, максимальная скорость, развиваемая автомобилем на стенде, предельной относительной погрешности при измерении тормозной силы на колесе и т.д. представлены в виде таблицы 1 [7, 8].

Стенды близки по техническим характеристикам, но ввиду того, что стенд «И7» является опытным образцом, и при его изготовлении были использованы комплектующие от стенда для контроля тормозной системы грузовых автомобилей, масса и габаритные размеры стенда «И7» существенно больше, чем масса стенда «СТМ 3500М». Но стоит заметить, что наиболее важный параметр для каждого диагностического оборудования, а иногда и решающий, это его цена. У опытного образца «И7», стоимость для потребителя ниже, чем у серийного стенда «СТМ 3500М». Такое снижение цены во многом обусловлено упрощением конструкции стенда, снижением его металлоёмкости, заменой двух балансирных мотор-редукторов одним моно-приводом.

Стоит отметить, что применение в конструкции опытного образца стенда «И7» магнитострикционных датчиков взамен тензодатчиков приводит к снижению системных погрешностей измерения тормозных сил, что даёт более высокие показатели повторяемости измерений, и как следствие, более высокую эффективность контроля тормозных свойств колёсных транспортных средств [4].

Таблица 1 – Сравнение технических характеристик стендов «И7» и «СТМ 3500М»

Наименование стенда	Опытный образец тормозного стенда «И7»	Тормозной стенд «СТМ 3500М»
Наименование параметра	Значение	Значение
1	2	3
Диапазон измерения тормозной силы колеса, кН	0 – 10	0 – 6
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения тормозной силы на колесе, %	±3	±3
Диапазон измерения усилия на органе управления тормозной системой, Н	0 – 1000	0 – 1000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения усилия на органе управления тормозной системой, %	± 5	±5
Диапазон измерения массы транспортного средства, приходящейся на ось, кг	0 – 3000	0 – 3500
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения массы транспортного средства, приходящейся на ось, %	±3	±3
Скорость автомобиля, имитируемая на стенде, км/ч	4,1	4
Диаметр роликов, мм	210	200
Габаритные размеры опорного роликового устройства, мм	3100x850x450	2320x680x320
Масса опорного роликового устройства, кг	950	550
Потребляемая мощность, кВт	7,5	7
Параметры сети электропитания	380 В; 50 Гц	380 В; 50 Гц
Диапазон температуры эксплуатации	от +10°C до +35°C	от -10°C до +40°C
Влажность воздуха, %	не более 80	не более 80
Средний срок службы, лет	6	8
Межповерочный интервал, год	1	1
Стоимость изделия для потребителя, руб.	495 000	594 000

Выводы

По результатам сравнительного анализа силовых стендов можно сделать следующие выводы. Опытный образец силового тормозного стенда «И7» по техническим характеристикам аналогичен серийному стенду «СТМ 3500М», уступая последнему в массе и габаритных размерах роликовой установки. Этот недостаток необходимо устранять при помощи совершенствования опорного роликового устройства путём замены тяжёлых деталей и узлов наиболее лёгкими. Для этого необходимо провести дополнительные исследования, направленные на совершенствование опытного образца стенда «И7».

Исходя из вышесказанного, при серийном производстве стенда «И7» и последующем его использовании при проведении контроля тормозных си-

стем колёсных транспортных средств, возможно повысить эффективность контроля и диагностики путём снижения погрешностей при измерении. Это преимущество в связке с низкой ценой делает опытный образец стенда «И7» серьёзным конкурентом другим силовым стендам, существующим на сегодняшний день на рынке диагностического оборудования.

Список использованной литературы:

1. Федотов А.И. Диагностика автомобиля, Федотов А.И.: 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.
2. Кулько П.А., Государственный Технический осмотр. Проблемы и решения. / К.В. Ушаков / Автотранспортное предприятие №9 2005, с.15-19
3. Федотов А.И. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении: учебник для студ. Учреждений высш. Образования / А.И. Федотов. – М. : Издательский центр «Академия», 2015. – 352 с
4. Н.Ю. Кузнецов, О.С. Яньков, А.И. Федотов, Г.А. Безносков Стенд для контроля технического состояния тормозных систем колёсных транспортных средств// В сборнике «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» Материалы 99-й международной научно-технической конференции ААИ в ИРНИТУ. 2017. С. 417-426. .
5. Федотов А.И., Бойко А.В., Потапов А.С. Воспроизводимость результатов измерений параметров тормозной системы автомобиля на тормозном стенде с беговыми барабанами./ Сборник трудов. Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования» г. Иркутск ИрГТУ. 2007 г. с.26-32.
6. Федотов А.И., Бойко А.В. Результаты экспериментальных исследований процесса торможения автомобиля на современном тормозном стенде СТМ 3500 / Сборник трудов. Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации машинотракторного парка, технического сервиса, энергетики и экологической безопасности в агропромышленном комплексе», посвященной 75-летию со дня рождения И.П. Терских Иркутск, 2007г. с. 146-150.
7. Стенды тормозные «СТМ 3500М». Паспорт М 220.000.00.00 ПС
8. <http://www.meta-moscow.ru> Сайт компании «МЕТА»— объединение научно-технических центров, конструкторских бюро, заводов, учебных центров, экспериментальных производственных участков и диагностических станций — в целях реализации Программы повышения безопасности на дорогах России.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 338.4

Проблемы и пути повышения качества транспортного обслуживания населения (железнодорожный транспорт)

Т.А. Булохова

Иркутский университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15

Для того, чтобы наглядно увидеть контролируемые зоны ответственности подразделений железной дороги, участвующих в процессе обеспечения удовлетворенности пассажира на всем пути клиента: от процесса приобретения (покупки билета) до прибытия в пункт назначения, а также отслеживания «сквозного» качества предоставляемых услуг, определения зон возможных «изломов», разработана матрица ответственности на всем клиентском пути следования пассажира.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, пассажиропоток, пассажирские перевозки, пассажирский сервис.*

Пассажирский железнодорожный транспорт занимает одно из ведущих мест на рынке пассажирских перевозок Российской Федерации, осваивая более 25% совокупного пассажирооборота всех видов транспорта [1]. Во многих регионах России железные дороги являются единственным видом транспорта, который обеспечивает круглогодичную связь населённых пунктов друг с другом.

Однако, за последние пять лет (с 2012 по 2016 гг.) количество перевезенных пассажиров в дальнем следовании в поездах формирования федеральной пассажирской компании сократилось на 20%, в том числе в сегменте перевозок вагонами СВ и купейными вагонами на 28%, плацкартными и общими вагонами на 15% [1]. Анализ изменения структуры рынка пассажирских перевозок с 2009 -2016 гг. показывает тенденцию к потере рынка железнодорожным транспортом: его доля на рынке транспорта сократилась с 20% в 2009 г. до 15 % в 2016 г. [1].

Причем прогнозная динамика развития пассажиропотока по сегментам расстояний и видам транспорта показывает, что в самых крупных по объему сегментах рынка (< 300 км 300-600 км) ожидается падение пассажиропотока маршрутного транспорта, в значительной степени из-за «перетока» пассажиров в личный транспорт. В сегментах расстояний 600-1200 км и > 1200 км расти будет только воздушный транспорт, другие виды транспорта, включая железнодорожный, покажут спад. Как следствие,

ожидается, что наиболее конкурентоспособным для железнодорожного транспорта сегментом будет средний сегмент (<1500 км) [1].

Происходящие преобразования ставят перед железнодорожным транспортом новые сложные комплексные задачи - не только гарантированно обеспечивать экономику и население страны в перевозках, но и формировать новый, конкурентоспособный сегмент железнодорожного бизнеса как в сфере пригородных, так и дальних пассажирских перевозок, способный эффективно взаимодействовать со всеми участниками перевозочного процесса, постоянно повышать качество своей работы, несмотря на жесткие тарифные ограничения и усиление конкурентного давления со стороны других видов пассажирского транспорта [2].

В результате реализации структурной реформы на железнодорожном транспорте из состава ОАО «РЖД» были выделены дочерние предприятия, основная деятельность которых связана с предоставлением сервиса пассажирам. В то же время, часть функционала, непосредственно связанного с предоставлением сервиса пассажирам, остается в ведении ОАО «РЖД», его филиалов и их структурных подразделений [3].

Клиентский путь пассажира проходит через сервис, предоставляемый всеми субъектами бизнес-блока «Пассажирские перевозки» Холдинга «РЖД», имеющими не только различную организационно-правовую форму, но и различные (зачастую никак не согласованные), ключевые показатели эффективности, непосредственно влияющие на мотивацию руководителей и персонала.

Однако для пассажиров, как для клиентов железнодорожного транспорта в целом, не имеет значения кто именно, на каком этапе его пути, предоставляет ему те или иные услуги. Как правило, у пассажира даже отсутствует информация о том, какое количество подразделений в конкретный момент времени участвует в процессе его обслуживания в цепочке комплексного транспортного продукта. Поэтому у пассажиров естественным образом формируется целостный взгляд на весь клиентский путь. Негативный опыт пассажиров, полученный ими на одном из этапов клиентского пути, в конечном итоге неизбежно отражается на всех представителях бизнес-блока «Пассажирские перевозки», предоставляющих им различные виды сервиса.

В профессиональном сознании сотрудников бизнес-блока отсутствует представление о едином комплексном транспортном продукте. Границы сфер деятельности различных субъектов бизнес-блока формируют в восприятии работников ошибочное представление о характеристиках законченного качественно совершенного продукта, как завершенного результата деятельности их подразделения.

Хотя некоторые пассажиры четко формулируют для себя единый транспортный продукт бизнес-блока, визуально представляющий его путь из точки А в точку Б. Например, «Принятие решения о поездке → Проверка наличия билета на нужную дату и время → Оформление билета →

Прибытие на вокзал → Покупка товаров в дорогу → Посещение кафе на вокзале → Посещения сервис-центра → Посадка в поезд → Заказ такси в пункте прибытия – Окончание поездки). Для пассажира это единое событие – поездка. Для сотрудников бизнес-блока это совокупность функций, где мера их индивидуальной ответственности значительно меньше, чем соответствующая общему понятию «поездка».

Таким образом, главной проблемой пассажирского сервиса Российских железных дорог является дискредитация надлежащего качества одних элементов пассажирского сервиса ненадлежащим качеством других, что приводит к снижению общего уровня удовлетворенности пассажира от потребляемого им комплексного транспортного продукта [3].

В цепочке комплексного транспортного продукта «изломы» (разрывы) уровня качества предоставляемых услуг возникают, в основном, в «зонах перехода» пассажиром от одного элемента (этапа) сервиса к другому, курируемых различными по функционалу и кругу ответственности субъектами Холдинга.

В качестве характерных примеров таких случаев могут быть приведены:

- несоответствие возраста подвижного состава классу обслуживания, предлагаемому пассажиру по проездному документу, включая ситуации различного санитарного состояния и технического оснащения вагонов в рамках одного класса обслуживания в составе одного поезда;
- несоответствие профессиональных данных обслуживающего персонала (например, проводников пассажирских вагонов) классу обслуживания, предлагаемому пассажиру по проездному документу;
- отсутствие согласованного предложения от других видов транспорта на транспортировку пассажира по принципу «последней мили», включая вопросы сопоставимости цен, уровня качества обслуживания и состояния транспортных средств, а также включая вопросы сопоставимости уровней безопасности всех видов;
- отсутствие на малоделятельных станциях технических средств, обеспечивающих полноценное поддержание технологии электронной регистрации оплаты пассажиром проезда (отсутствие ТТС, отказы кассиров распечатать билет и т. п.);
- отсутствие технологической возможности и технических средств, предоставляющих пассажиру информацию, подтверждающую наличие электронной регистрации на конкретную дату, время и поезд;
- ненадлежащее качество (например, санитарное состояние) мест общего пользования на вокзалах и станциях, вызванное, в том числе, отсутствием контроля качества работы аутсорсинговых компаний, обеспечивающих чистоту и исправность оборудования в таких местах.

Таким образом, большинство «изломов» (разрывов) уровня качества предоставляемых пассажирам услуг могут быть классифицированы по следующим укрупненным направлениям:

- информационно-справочное обслуживание;
- состояние транспортных средств;
- состояние объектов инфраструктуры;
- квалификация обслуживающего персонала;
- уровень предоставляемого сервиса;
- оптимальность спектра дополнительных (сопутствующих) услуг с вне транспортным эффектом;
- реализация интермодальности перевозки;
- обеспечение безопасности пассажиров всех видов: (личной, имущественной, движения, транспортной и т. д.).

Основные причины наличия указанных разрывов – отсутствие стандартов и отсутствие централизованного (согласованного участниками перевозочного процесса) управления качеством.

Нарушение в одном из звеньев транспортной цепочки всего пути пассажира в зоне ответственности нескольких субъектов бизнес-блока «Пассажирские перевозки» Холдинга «РЖД» не может быть исправлено только силами одной бизнес-единицы. В конечном итоге, это приводит к искажению оценки реального уровня удовлетворенности качеством услуг, предоставляемых пассажирам каждым субъектом пассажирского комплекса в отдельности [4].

В связи с вышесказанным, автором сделана попытка разработки матрицы ответственности на всем клиентском пути следования пассажира. С целью того, чтобы наглядно увидеть контролируемые зоны ответственности подразделений ВСЖД участвующие в процессе обеспечения удовлетворенности пассажира на всем пути клиента от процесса приобретения (покупки билета) до прибытия в пункт назначения, а также отслеживания «сквозного» качества предоставляемых услуг, определения зон возможных «изломов».

Таблица 1 - Матрица ответственности подразделений, участвующих в формировании показателей удовлетворенности пассажиров

Наименование этапа в цепочке транспортного продукта (на протяжении клиентского пути)	ДЖВ	ФПК					ДПО	Д
		ВСЖА	ОП	В	РС	М		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
БИЛЕТ								
Осознание необходимости (желания) совершения поездки	у	у				о	у	у
Получение информации о возможных вариантах перемещения (все виды транспорта) + багаж	у	о				у	у	у
Получение информации о возможных вариантах перемещения ж./д. транспортом (маршруты)	у	о				у	у	у

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Получение актуальной информации об условиях предоставления услуги (размеры багажа, перевозка велосипедов, негабаритный багаж)	у	о				у	у	у
Получение информации о возможных способах оплаты проезда, в т. ч. - багажа	у	о				у	у	у
Получение информации о возможных местах оформления услуги	у	о				у		
Оформление оплаты проезда (оформление проездного документа)	у	о				у	у	у
Получение актуальной информации о предстоящей поездке в случаях задержки, отмены, изменений условий предоставления услуг, маршрута следования поезда	у	о	у			у	у	у
ВОКЗАЛ								
Получение информации о наиболее оптимальном маршруте следования от места нахождения к месту отправления (месту получения услуги) (возможно рекомендовать партнеров по оказанию доставки от порога дома до вокзала)	у	о				у	у	
Получение информации о наличии сервисов на прилегающей территории к вокзальному комплексу (парковка с наличием свободных мест, банки, аптеки, мед. пункты, и т. д.) в радиусе 500 метров	о	у				у	о	
Перемещение от места нахождения на вокзал/станцию отправления	о	у					о	
Прибытие на вокзал	о	у					о	
Получение информации о пути/платформе отправления	о	у					о	
Получение информации об актуальном времени отправления/опоздания	о	у					о	
Получение информации о видах сервиса на вокзале/станции	о	у					о	
Получение информации о подаче/прибытии поезда под посадку (СМС-инфо, эл. почта)	о	у					о	
Получение информации о начале посадки (СМС-инфо, инфо на табло, аудио инфо)	о	у					о	
Получение информации о кратчайшем пути прохода к пути/платформе отправления (навигация)	о	у					о	
Получение информации о направлении нумерации вагонов	о	у					о	
Получение информации о нахождении вагона в составе поезда (на вагоне, напольно, проекционно, в подшатровом пространстве, эл. табло)	о	у					о	
ПОЕЗДКА								
Посадка в поезд	у	у	о			у		
Валидация проездного документа или электронной регистрации	у	у	о			у		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Получение информации о месте в вагоне	у	у	о			у		
Размещение багажа и ручной клади		у	о			у		
Получение информации о времени, оставшемся до отправления	о	у	у			у		
Отправление в поезде			о			у		у
Получение информации о наличии и расположении сервиса на борту (бортовые журналы или сервисные книжки, как в отелях, мобильное приложение поезда)	у		о			у		
Питание					о			
Досуг, включая развлекательные, медиа и интерактивные элементы			о			у		
Бытовые услуги			о	у		у		
Исправное оборудование вагона			у	о				
Отдых			о					
Информационно-справочное обслуживание			о			у		
Получение информации о попутных станциях, времени остановок на них			о			у		у
Получение информации о наличии сервиса на попутных станциях при стоянках на них более 20 минут	у	у	о			у		
Получение информации о наличии и расположении платформ			о				у	
Получение информации об актуальном времени прибытия/опоздания на станцию назначения (проводник, СМС - за один час до прибытия с возможностью оперативной корректировки)			о					у
Получение информации об условиях на станции назначения (метео и т. п.)	у		о			у	у	
Получение информации о наличии/дислокации сервиса на станции назначения	о		у				у	
Получение информации о наличии и расположении платформ	о		у				у	
Прибытие на станцию назначения	у		у					у
Высадка из вагона	у		о					у
ВОКЗАЛ								
Получение информации о дислокации здания вокзала и пассажирских обустройств	о	у	у			у		о
Проход на вокзал/станцию и/или привокзальную площадь	о	у						о
Получение информации о видах сервиса на вокзале/станции	о	у				у		о
Получение информации о наличии и расписании смежных видов транспорта	о	у				у		о
Получение информации о порядке оплаты проезда в смежных видах транспорта	у	о				у		у

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Убытие с вокзала/станции назначения	о					у		о
Возможность для пассажира оставить обратную связь: отзыв, жалобу, благодарность и т. д.	о	у	у			у		о
Информирование пассажира о рекламных акциях, бонусах, изменениях статуса лояльности	у	у	у			о		у

Обозначения:

О – ответственный исполнитель;

У – участник процесса;

ДЖВ – дирекция железнодорожных вокзалов ВСЖД;

ФПК – акционерное общество Федеральная пассажирская компания;

ОП – отдел обслуживания и предоставления услуг пассажирам;

ВСЖА – Восточно-Сибирское железнодорожное агентство;

РС – сектор предоставления услуг питания в поездах;

В – отдел эксплуатации и ремонта пассажирских вагонов;

М – маркетинговый сектор;

Л – пассажирская служба ВСЖД;

ДПО – дирекция пассажирских обустройств ВСЖД.

Как видно из матрицы, весь клиентский путь разбит автором на процессы, у которого имеется ответственный за этот процесс и участники, косвенно влияющие на выполнение процесса, в конечном итоге на удовлетворенность пассажира. На некоторых процессах мы можем увидеть двух ответственных, что противоречит принципам построения матрицы. Однако, это связано с тем, что крупные вокзальные комплексы находятся в ведении Дирекции железнодорожных вокзалов, а мелкие станции, платформы находятся в ведении Дирекции пассажирских обустройств.

Таким образом, с целью визуализации процесса клиентского пути пассажира автором предложена матрица ответственности. Существующий уровень вариативности уровня качества, в большей степени за счет наличия элементов сервиса с более низким уровнем, влияет на общий уровень лояльности потребителей к продуктам бизнес-блока. Поэтому объективная оценка высокого уровня качества лучших продуктов бизнес-блока со стороны потребителя возможна при условии повышения уровня качества самых «слабых» продуктов, а также выравнивании уровня качества однородных продуктов, вне зависимости от того, какое подразделение их создает и реализует.

В дальнейшем на основе этой матрицы можно рекомендовать доработку регламентов взаимодействия с целью построения сквозного, а также определения финансовой ответственности между подразделениями в границах дороги. Также требуется разработать единые сервисные стандарты обеспечения сквозного уровня качества по всей транспортной цепочке с разработкой модели пассажирского сервиса по всей транспортной

цепочке, в которой были бы идентифицированы участники перевозочного процесса и процессов обслуживания пассажиров, определены зоны ответственности, ликвидированы «разрывы» по обеспечению «бесшовной» технологии сервиса. Предложенная матрица ответственности может, являясь отправной точкой в этой работе.

Список использованной литературы:

1. www.frc.ru Стратегия развития АО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года. Отчетные материалы согласно техническому заданию. 2018 г.
2. Елизарьев М.Ю. Оценка качества транспортного обслуживания населения // Экономика железных дорог.-2012.-№5.- С. 92-97.
3. Булохова Т.А., Булохов А.П. Совершенствование методических подходов к оценке качества пассажирских перевозок // материалы Шестой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» – Иркутск: изд-во ИрГУПС, 2015. - в 2 т. - Т. 2. – 700., с. 62 - 67.
4. Силичева Г.В., Булохова Т.А., Подгорнова Е.С. Методологические подходы к управлению качеством на железнодорожном транспорте в условиях реформирования отрасли. – Иркутск: ИрГУПС, 2016.- 154 с.

УДК 629.4

***Усовершенствование конструкции натяжителя цепи КМ-87
локомотива***

А.А. Герасимов, Н.Г. Филиппенко, Н.С. Дроздов, Д.Т. Кириенко

Иркутский государственный университет путей сообщения 664074,
г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15

Произведен анализ конструкции натяжителя цепи КМ-87 локомотива. Подтверждена актуальность дальнейших исследований конструкторских и технологических особенностей ремонта и изготовления данного узла.

Ключевые слова: *локомотив, конструкции натяжителя цепи КМ-87, недостатки.*

В локомотивах ВЛ-80 известна важнейшая проблема полной потери управления. Она возникает вследствие нарушения работы цепной передачи привода дополнительного и главного вала в контроллере машиниста КМ-87 (сход цепи со звездочек). В связи с этим машинист производит экстренное торможение, что приводит к износу узлов, простою и как

следствие - чрезвычайным происшествием. Например: крушение двух грузовых поездов на перегоне Игорец - Битюг 06.09.18. В ноябре 2017 года на перегоне Нижнеудинск - Зима произошла аналогичная ситуация. Неисправность была устранена на месте, но тем ни менее поезд был длительное время в простое [1, 2]. В связи с этим целью настоящего исследования стало изучение причин неисправностей и разработка способов их устранения.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- изучить конструкцию натяжного механизма цепной передачи КМ-87
- определить причины неисправностей натяжного механизма
- разработать мероприятия дальнейших исследований натяжного механизма

Конструкция натяжного механизма цепной передачи КМ-87

На рисунке 1 представлена цепная передача КМ-87 с натяжным механизмом [3, 4]. Приводная цепь ПР-12,7-10, роликовая с шагом 12,7 мм и разрушающей нагрузкой 1000 кг. установлена на звездочках. Ее моторесурс составляет 15000 часов (около 2 лет) [5, 6]. Было определено, что цепь растягивается гораздо раньше истечения срока службы (моторесурс).

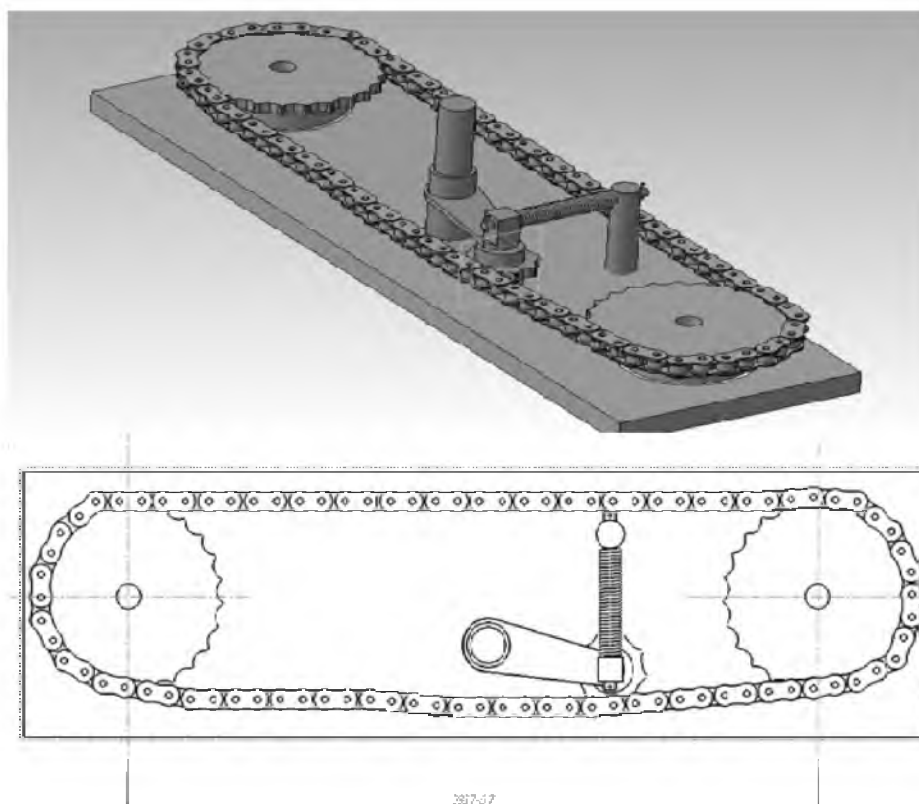


Рис. 1 Цепная передача КМ-87 с натяжным механизмом

Также, рассмотрев конструкцию устройства натажителя, было выявлено, что пружина натяжного механизма из малолегированной стало

60Г (рис.2) упирается в грань натяжной звёздочки при достижении ее длины 59 мм, а ее размер в разжатом состоянии 80 мм [3, 6]. Таким образом было определено, что пружина имеет возможность натянуть цепь на при на какую то длину, требующую дополнительных расчетов. С учетом того, что со временем способность натягивать цепь до работоспособного состояния теряется.

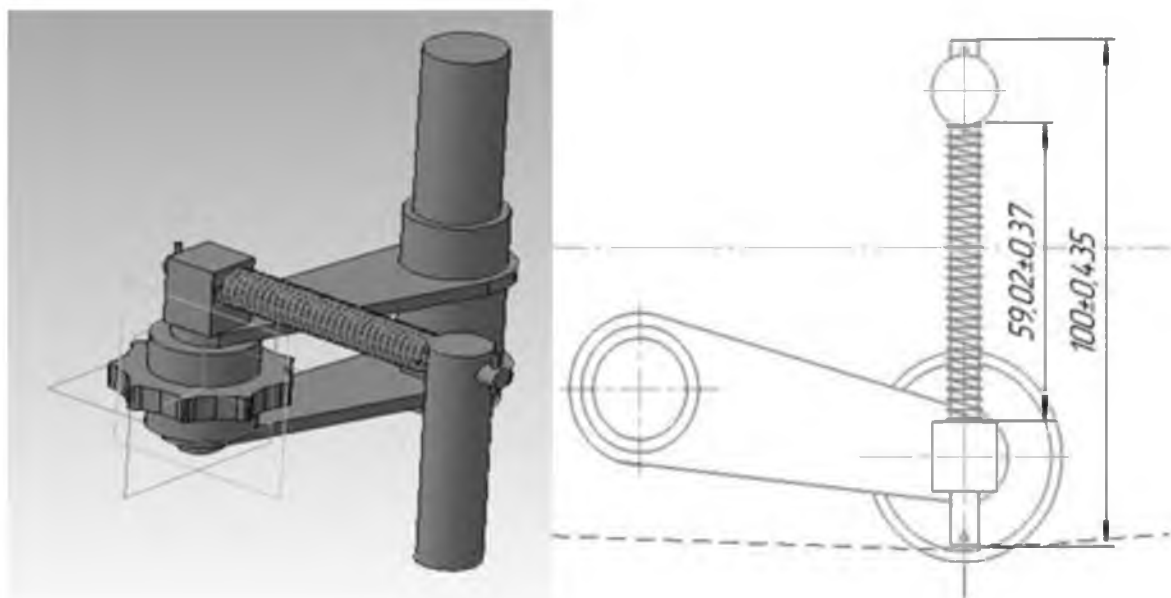


Рис. 2 Натяжитель цепи

Причины неисправностей натяжного механизма

Анализ конструкции показал, что происходит это из-за короткой натяжной тяги (рис.3) длина которой составляет всего 100 мм [4, 7]. Проведенные исследования конструкции механизма цепи позволил сделать вывод, что тягу натяжителя выполненного из материала незакаленной стали Ст40, (изготовленной путемковки), можно увеличить на 20-30 мм. Такое изменение конструкции увеличит моторесурс цепи, посредством более продолжительной работы натяжителя цепи.

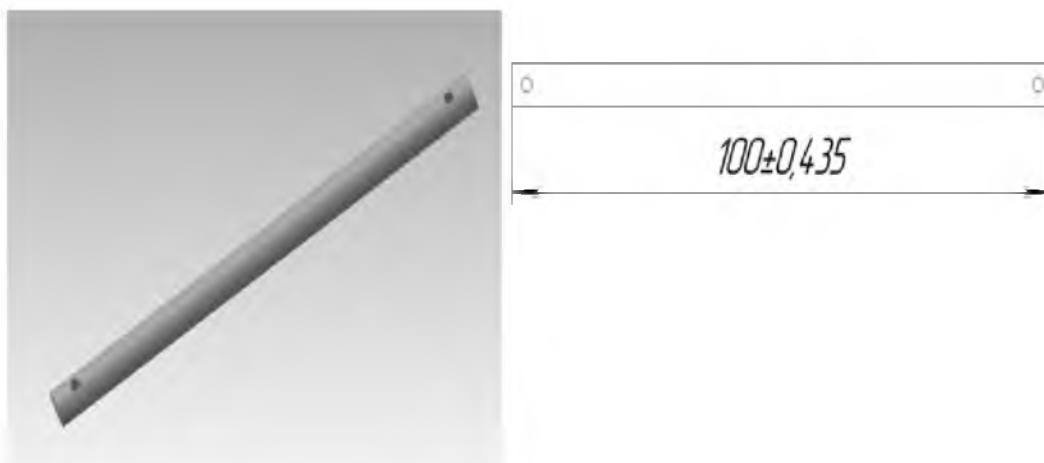


Рис. 3 Натяжная тяга

Планируемые мероприятия дальнейших исследований конструкции натяжного механизма

Дальнейшая работа направлена на более подробное исследование конструкцию натяжного механизма, после его усовершенствование (удлинение тяги). При этом произведенные расчеты подтверждают работоспособное состояние цепной передачи. Также полностью сохраняются габаритные размеры узла. Прикидочные расчеты по надежности узла показывают, что такая конструкция значительно снижает причины нарушения работы контроллера машиниста КМ-87.

Более детальные исследования будут произведены в ближайшее время и результаты работ будут опубликованы.

Список использованной литературы:

1. Электровоз ВЛ-85: Руководство по эксплуатации/Э45 Б.А.Тушканов, Н.Г. Пушкарев, Л.А. Позднякова и др. – М.: Транспорт, 1992.-480 с.: ил., табл.
2. Электровоз ВЛ80с: Руководство по эксплуатации / Н. М. Васько, А. С. Девятков, А. Ф. Кучеров и др. - 2-е изд., переработ, и доп. - М.; Транспорт, 1990. - 454 с: 315 ил., 26 табл.
3. Дробинский В. А., Егуиов П. М. Как устроен и работает тепловоз. М.: Транспорт, 1980. 367 с.
4. Развитие локомотивной тяги 1/ Н. А. Фуфрянский, А. Н. Долганов, А. С. Нестрахов и др.; Под ред. Н А. Фуфрянского, А. Н. Бевзенко. М.: Транспорт, 1988. 340 с.
5. А.И. Бабкин. Проектирование цепных передач. Учебно-методическое пособие для курсового проектирования. – Северодвинск, РИО Севмашвуза, 2006. -23 с.
6. Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В, Ларченко А. Г., Устройство диагностики полиамидных сепараторов методом высокочастотного излучения / Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС. – 2014. – Вып. 5 (41).
7. Чернавский С.А. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие - М.: ООО ТИД «Альянс», 2005.-416с.

УДК 629.4

Оборудование и технологии индукционного нагрева трубопроводов подвижного состава РЖД

Н.С. Дроздов, Н.Г. Филиппенко, Д.Т. Кириенко, А.А. Герасимов

Иркутский государственный университет путей сообщения 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15

Произведен анализ развития технологий и оборудования ТВЧ-нагрева. Подтверждена актуальность дальнейших научных исследований в данной области.

Ключевые слова: *ТВЧ-нагрев, актуальность, мобильность, автономность.*

Проблемы энергосбережения в технологии пайки заставляют обратиться к процессам высокочастотного электромагнитного нагрева, обеспечивающим высокую скорость локального нагрева проводящих материалов в любой среде. Для формирования качественных паяных соединений в изделиях необходим соответствующий выбор частоты нагрева, конструкции индукторного устройства и оптимизация режимов процесса [1].

В связи с этим данное исследование направлено на изучение существующих конструкций индуктора и технологий пайки с целью их совершенствования.

Особенности высокочастотного нагрева

Воздействие энергии высокочастотных (ВЧ) электромагнитных колебаний позволяет осуществлять высокопроизводительный бесконтактный нагрев в различных процессах обработки проводящих материалов: термообработке, плавке, упрочнении, сварке, пайке, выращивании кристаллов и т. д. Наиболее важными преимуществами ВЧ-нагрева являются следующие:

- энергия нагрева создается вихревыми токами непосредственно в изделии;
- возможны высокая плотность энергии и короткое время нагрева;
- локализация нагрева в пределах обрабатываемой зоны;
- возможность нагрева в любой среде, включая вакуум или инертный газ;
- высокая экологическая чистота нагрева;
- возможность использования электродинамических сил для улучшения растекания припоя, перемешивания расплава металла и т. д.

Индукционный нагрев основан на использовании трех известных физических явлений: электромагнитной индукции, открытой Фарадеем, эффекте Джоуля и поверхностном эффекте [2].

В индукционной нагревательной системе существуют два типа напряжения и вихревых токов. Первый тип вызван изменяющимся во времени магнитным потоком, который создается индуктором и проходит через неподвижное тело. Второй тип индуцированного напряжения связан со скоростью перемещения проводящего тела в неоднородном магнитном поле, при этом величина тока зависит от скорости перемещения тела. Исследования показали, что такой вариант индукционного нагрева используется сравнительно редко, что возможно определить после изучения конструкций нагревательных устройств.

Принцип конструкции индукционных нагревательных устройств

Существуют разнообразные конструкции индукционных нагревательных устройств [2]. Для сквозного нагрева проводящих тел круглого, квадратного и прямоугольного сечения применяют индукторы соленоидального типа (рис. 1), плоских тел — индукторы с магнитопроводом (рис.3) или в виде плоской спирали (рис.2).

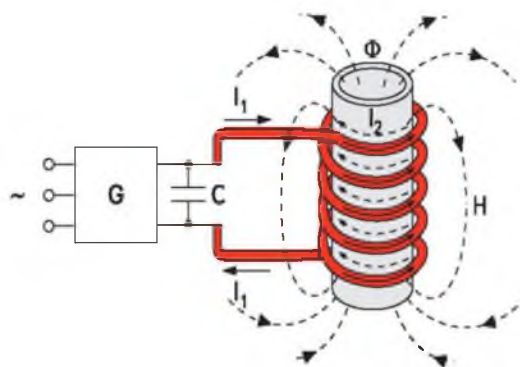


Рис. 1. Схема индукционной системы нагрева

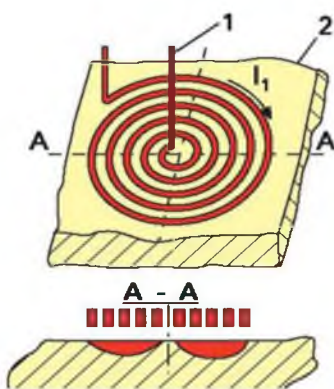
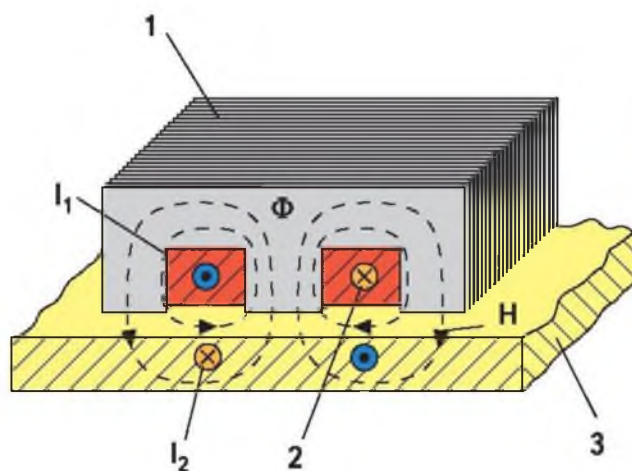


Рис. 2. Индуктор в виде плоской спирали :



1- магнитопровод, 2 индуктор, 3- нагреваемое тело

Рис.3. Концентрация магнитного поля с помощью магнитопровода

Индукционным нагревательным системам свойственны такие эффекты, как близости, кольцевой и концентрации магнитного поля. Первый эффект показывает, что вихревые токи создаются в непосредственной близости от индукционного витка. Чем выше частота тока и чем меньше зазор между витком и поверхностью тела, тем больше эффект близости (рис. 4) [3, 4].

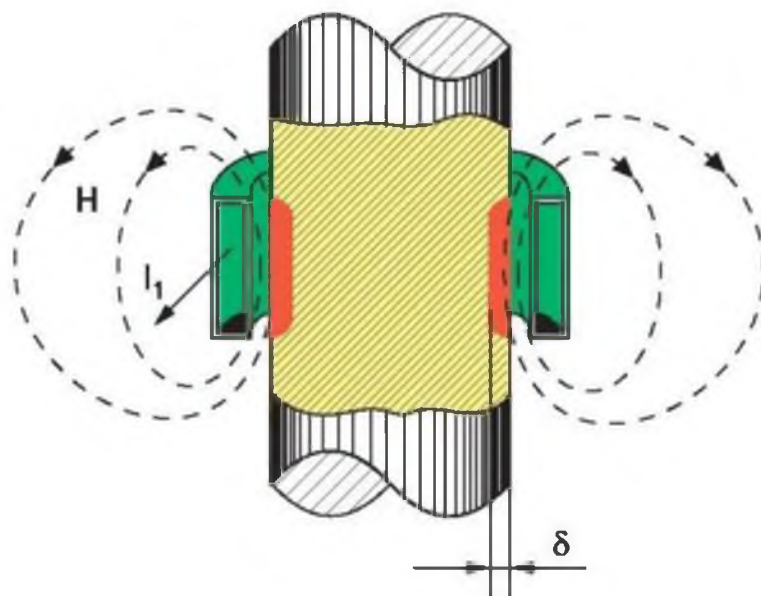


Рис.4. Схема действия эффектов близости в индукционной система нагрева

Таким образом можно сделать вывод, что за основу технологического оборудования ТВЧ пайка целесообразно взять конструкцию соленойдного типа. Для разработки технологии пайки необходимо произвести изучения параметров СВЧ нагрева.

Параметры ВЧ-нагрева при пайке

Параметры ВЧ-нагрева были рассмотрены на примере пайки электронных устройств.

Для пайки электронных устройств характерны невысокая удельная мощность нагрева, малые габариты изделий и их чувствительность к электромагнитным наводкам. Поэтому необходимо оптимизировать такие параметры ВЧ-нагрева, как эффективная мощность, выделяемая в зоне нагрева, и коэффициент полезного действия (КПД) нагрева.

Для соленоидального индуктора (рис. 1) увеличение зазора $h_{от}$ 1 до 10 мм на частотах от 400 до 2000 кГц вызывает снижение $\cos\phi$ для диамагнитных материалов почти в 10 раз, а для ферромагнетиков — в 3–4 раза. Поэтому для нагрева диамагнитных материалов необходимо максимально уменьшать величину зазора до значений, при которых возможно обеспечить нормальную работу индуктора [5].

В связи с этим было определено, что возможна и необходима оптимизация процесса пайки.

Оптимизация параметров ВЧ-нагрева позволит обеспечить высокую скорость нагрева в локальных зонах формирования паяных соединений и улучшить их качество за счет совместного действия поверхностного эффекта и пондеромоторных сил.

Можно сделать вывод, что предпочтительно применение индукторов с магнитопроводами, так как у них более высокий КПД за счет снижения излучения в окружающее пространство.

Исследовав принцип работы, методы и параметры управления ВЧ пайки дальнейшая работа была направлена на подробное исследование материалов. Конструкции, способов охлаждения и методов защиты от пробоя индуктора.

Конструкции индукторов, их охлаждение и защита от пробоя

Основным оборудованием при высокочастотной пайке являются высокочастотные генераторы и индукторы. Индукторами называются устройства, применяемые при высокочастотном нагреве для передачи энергии высокой частоты от источника питания в нагреваемое изделие. В зависимости от конфигурации нагреваемой поверхности в технике применяется много типов индукторов различной формы и размеров. Для пайки применяются относительно несложные одно и двухвитковые индукторы, реже — многovitковые.

Индукторы изготавливаются из медных трубок с наружным диаметром 8—12 мм и толщиной стенки 1—2 мм. Индукторы изготавливать из трубок прямоугольного сечения 10x10 мм или эллиптического сечения, так как последние понижают потери в индукторе примерно на 10%. Трубки при изготовлении индукторов применяют с целью создания возможности их охлаждения проточной водой в процессе работы [6].

При выборе индуктора необходимо стремиться правильно определить форму и размеры индуктора, которые соответствовали бы паяемому шву, так как от формы и размера индуктора зависит рациональность использования установки и качество пайки [7].

Размеры зазоров между паяемым изделием и индуктором колеблются от 2 до 20 мм; они зависят от размера, конфигурации изделий и характера нагрева. При пайке тонкостенных изделий зазоры невелики, а при пайке толстостенных изделий они увеличиваются. Увеличение зазоров ведет к снижению коэффициента полезного действия индуктора и его производительности. Однако при сложных конфигурациях деталей приходится идти на увеличение зазора с целью получения равномерного прогрева изделия за счет использования его теплопроводности. Для предохранения деталей от прожогов при малых зазорах и замыканиях витков индуктора между собою рекомендуется изолировать витки асбестовым шнуром, пропитанным в жидком стекле, или покрыть их эмалью.

Результаты проведенных исследований

Исследования показали, что в индукционной нагревательной системе наиболее применим тип напряжения и вихревых токов, изменяющийся во

времени магнитным потоком, который создается индуктором и проходит через неподвижное тело, причем было определено, что отсутствуют конструкции генераторов ТВЧ с изменяющимися частотными характеристиками.

За основу технологического оборудования ТВЧ сварки целесообразно брать конструкцию соленойдного типа.

Также в ходе исследований было принято решение, что предпочтительно использовать индукторы с магнитопроводами, так как у них более высокий КПД за счет снижения излучения в окружающее пространство.

Было определено, что индукторы целесообразно изготавливать из медных труб практически любого сечения.

В качестве охлаждающей жидкости более рационально использовать проточную воду.

Для предохранения деталей от прожогов и замыканий витков индуктора между собою рекомендуется изолировать асбестовым шнуром, пропитанных в жидком стекле, или покрытые эмалью.

Целью дальнейших исследований стало исследование и разработка оборудования ТВЧ-нагрева с возможностью автоматической настройки частотной характеристики генератора под нагреваемый материал.

Список использованной литературы:

1. Индукционная пайка/ В. В. Вологдин, Э. В. Куш, В. В. Асамов; под ред. А. Н. Шамова. – 5-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение 1989. – 72 с.: с ил.
2. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. М.: АН СССР. 1958.
3. Техническая литература онлайн. Оборудование для высокочастотной индукционной пайки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://imetal.in.ua/pajka-i-luzhenie/oborudovanie-dlya-vysokochastotnoj-pajki>
4. Бабат Г. И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. М.: Энергия. 1965.
5. Иванов А.В., Мульменко М.М., Уржумсков А.М. Н05В6/36 – Индукторы патентный поиск, 2012-2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.findpatent.ru/patent/217/2174291.html>
6. Филиппенко Н. Г. Экспериментальные исследования возможности восстановления изделий из полимерных материалов / С. И. Попов, А. В. Лившиц, Н. Г. Филиппенко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы третьей всероссийской научно–практической конференции с международным участием. 13–17 мая 2013 г. – Иркутск: ИрГУПС. – 2013. – С.430–437.
7. Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, А. Я. Машович Автоматизация процесса высокочастотного нагрева материалов на промышленной установке УЗП 2500 / // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Вып. 2 (30). – Иркутск. – 2011. – С.193–198

Усовершенствование мобильного оборудования ТВЧ для ремонта подвижного состава

Д.Т. Кириенко, Н.Г. Филиппенко, Н.С. Дроздов, А.А. Герасимов

Иркутский государственный университет путей сообщения 664074,
г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15

Произведен анализ развития технологий и оборудования ТВЧ-нагрева. Подтверждена актуальность дальнейших научных исследований в данной области

Ключевые слова: *ТВЧ-нагрев, актуальность, мобильность, автономность*

История развития генераторов ТВЧ

Открытие электромагнитной индукции в 1831 году принадлежит Майклу Фарадею. При движении проводника в поле магнита в нём наводится ЭДС, так же как при движении магнита, силовые линии которого пересекают проводящий контур. Ток в контуре называется индуцированным.

В 1841 году Джеймс Джоуль (и независимо от него Эмиль Ленц) сформулировал количественную оценку теплового действия электрического тока называемого законом Джоуля - Ленца. Тепловое действие индуцированного тока породило поиски устройств бесконтактного нагрева металлов. Первые опыты по нагреву стали с использованием индукционного тока были сделаны Е. Колбе в США [1, 2].

Первая успешно работающая канальная индукционная печь для плавки стали была построена в 1900 году на фирме «Benedicks Bultfabrik» в Швеции. В респектабельном журнале того времени «THE ENGINEER» 8 июля 1904 г. появилась знаменитая публикация, где шведский изобретатель инженер F. A. Kjellin рассказывает о своей разработке. Печь питалась от однофазного трансформатора.

Первая печь мощностью 78 кВт была запущена в эксплуатацию 18 марта 1900 года и оказалась весьма неэкономичной, поскольку производительность плавки составляла 270 кг стали в сутки. Следующая печь была изготовлена в ноябре того же года мощностью 58 кВт и ёмкостью 100 кг по стали. Печь показала высокую экономичность, производительность плавки составила от 600 до 700 кг стали в сутки. Однако износ футеровки от тепловых колебаний оказался на недопустимом уровне.

В мае 1902 года была введена в эксплуатацию значительно усовершенствованная печь ёмкостью 1800 кг, слив составлял 1000-1100 кг, остаток 700-800 кг, мощность 165 кВт, производительность плавки стали могла доходить до 4100 кг в сутки! Такой результат по потреблению энергии 970 кВт·ч/т впечатляет своей экономичностью, которая мало уступает современной производительности порядка 650 кВт·ч/т. По расчётам изобретателя из потребляемой мощности 165 кВт в потери уходило 87,5 кВт, полезная тепловая мощность составила 77,5 кВт, получен весьма высокий полный КПД, равный 47 %. Экономичность объясняется кольцевой конструкцией тигля, что позволило сделать многовитковый индуктор с малым током и высоким напряжением — 3000 В.

Своим изобретением инженер F. A. Kjellin положил начало развития промышленных канальных печей для плавки цветных металлов и стали в индустриальных странах Европы и в Америке. Переход от канальных печей 50-60 Гц к современным высокочастотным тигельным длился с 1900 по 1940 г [3].

По настоящее время используются генераторы высокой частоты с усовершенствованными схемами электрических цепей, а конкретно после 1940х годов был произведен переход от ламповых преобразователей к более современным полупроводниковым. Данный переход позволил повысить КПД установок, уменьшить габариты генераторов [4].

Применение генераторов ТВЧ

Необходимо отметить, что генераторы ТВЧ чаще всего применяются для следующих целей:

- Сверхчистая бесконтактная плавка, пайка и сварка металла.
- Получение опытных образцов сплавов.
- Гибка и термообработка деталей машин.
- Ювелирное дело.
- Обработка мелких деталей, которые могут повредиться при газопламенном или дуговом нагреве.
- Поверхностная закалка.
- Закалка и термообработка деталей сложной формы.
- Обеззараживание медицинского инструмента.
- Распыление геттера и прогрев (активация и тренировка) катода в процессе производства вакуумных электронных приборов [5].

Преимущества генераторов ТВЧ

Было определено, что основными преимуществами генераторов являются:

- Высокоскоростной разогрев или плавление любого электропроводящего материала.
- Возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в жидкости, в вакууме.

- Нагрев через стенки защитной камеры, изготовленной из стекла, цемента, пластмасс, дерева — эти материалы очень слабо поглощают электромагнитное излучение и остаются холодными при работе установки. Нагревается только электропроводящий материал — металл (в том числе расплавленный), углерод, проводящая керамика, электролиты, жидкие металлы и т. п., например, внутренности радиолампы можно прогревать для обезгаживания прямо через стеклянную колбу [6].

- За счёт возникающих МГД-усилий происходит интенсивное перемешивание жидкого металла, вплоть до удержания его в подвешенном состоянии в воздухе или защитном газе — так получают сверхчистые сплавы в небольших количествах (левитационная плавка, плавка в электромагнитном тигеле) [1].

- Поскольку, разогрев ведётся посредством электромагнитного излучения, отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения факела в случае газопламенного нагрева или материалом электрода в случае дугового нагрева. Помещение образцов в атмосферу инертного газа и высокая скорость нагрева позволят ликвидировать окалинообразование.

- Нет загрязнения воздуха, так как отсутствуют продукты горения. Небольшие установки индукционного нагрева можно эксплуатировать в замкнутом и плохо проветриваемом помещении, не оборудованном специальными средствами вентиляции и вытяжками (гаражи, небольшие домашние мастерские, подвалы).

- Удобство эксплуатации за счёт небольшого размера индуктора.

- Индуктор можно изготовить особой формы — это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному перегреву.

- Легко провести местный и избирательный нагрев.

- Так как наиболее интенсивно разогрев идет в тонких верхних слоях заготовки, а нижележащие слоигреваются более медленно за счёт теплопроводности, метод является идеальным для проведения поверхностной закалки деталей (сердцевина детали при этом остаётся вязкой).

- Лёгкая автоматизация оборудования и конвейерных производственных линий. Простота управления циклами нагрева и охлаждения. Простая регулировка и удерживание температуры, стабилизация мощности, подача и съём заготовок.

Недостатки генераторов ТВЧ

В рамках настоящего исследования было установлено, что у существующих генераторов ТВЧ имеется ряд недостатков:

- Повышенная сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для проектирования установок, их настройки и ремонта.

- При плохом согласовании индуктора с заготовкой требуется большая мощность на нагрев, чем в случае применения для той же задачи ТЭН, электрических дуг и электронагревательных спиралей.

- Требуется мощный источник электроэнергии для питания установки индукционного нагрева, а также насос и бак с охлаждающей жидкостью для охлаждения индуктора, которые в полевых условиях могут отсутствовать. В этом случае применение, например, газовых горелок с портативными газовыми баллонами более оправдано.

- Несмотря на небольшие размеры индуктора, агрегат индукционного нагрева в целом достаточно громоздок и маломобилен и больше подходит для стационарной установки в помещении, чем для выездных работ [6].

Результаты проведенных исследований

Анализ развития индукционных нагревателей позволил определить принципиальные схемы различных индукционных генераторов и обратить внимание на отсутствие их мобильных и недорогих конструктивов. Поэтому актуальной целью дальнейших исследований является разработка мобильного и бюджетного индукционного генератора.

Достижение данной цели возможно при решении следующих задач:

- 1 Исследование принципа нагрева токами высокой частоты с переменным генерируемыми частотами.
- 2 Анализ существующих и разработка новой схемы генераторов ТВЧ
3. Разработка конструкции мобильного и автономного индукционного генератора.

Список использованной литературы:

1. Бабат Г. И., Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. — М.: Госэнергоиздат, 1948. — 332 с.
2. Изюмов Н. М., Линде Д. П. Основы радиотехники. — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 512 с.
3. Установки индукционного нагрева/ Под ред. А. Е. Слухоцкого. — Л.: Машиностроение, 1981. — 330 с.
4. Савельев И. В. Курс общей физики, том 2. Электричество. 1970
5. Иванова Л. И., Грובה Л. С., Сокунов Б. А., Сарапулов С. Ф. Индукционные тигельные печи: Учебное пособие... — 2-е изд. — Екатеринбург : УГТУ - УПИ, 2002. — 87 с.
6. Филиппенко Н.Г. Автоматизация управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов Информационные системы контроля и управления в промышленности на транспорте // Филиппенко Н. Г., Каргапольцев С. К. – Иркутск: ИрГУПС, 2012.

***О погрешностях определения местоположения неподвижными
одночастотными GPS/ГЛОНАСС приемниками***

Н. Н. Климов, Л. В. Козиенко, А. Б. Бадмаев

Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074,
г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

В работе проведен анализ вариаций координат, полученных одночастотными навигационными приемниками GPS/ГЛОНАСС и GPS в течение 1 суток в статическом режиме. Приведено сравнение погрешностей местоопределения навигационных приемников, а также характерные вариации координат аппаратуры разных производителей.

Ключевые слова: GPS, ГЛОНАСС, погрешности, одночастотный приемник, навигационные системы, координаты, распределение.

В современном мире крайне велика роль спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Они предназначены для определения местоположения, скорости и точного времени сухопутных, воздушных и морских потребителей. Системы способны обеспечить значительное повышение безопасности движения транспортных средств, наиболее экономичное решение проблем в геодезии и картографии, а также в землеустройстве; помогают в освоении удаленных и малоизученных территорий, в точной синхронизации разнесенных в пространстве объектов, в быстром поиске и спасении терпящих бедствие и т.д. На железной дороге с помощью систем GPS/ГЛОНАСС осуществляется контроль подвижного состава, объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Вследствие чего понятен постоянно возрастающий интерес к основам и принципам построения СРНС [1, 2].

Точность определения местоположения пользователей сильно зависит от текущего состояния тропосферы и ионосферы, помехи отраженного сигнала на антенну спутникового приемника (многолучевость), разного рода неисправностей и задержек в навигационной аппаратуре, недостаточного количества видимых спутников и других факторов. В настоящее время точность определения координат существующими одночастотными приемниками на перегонах железной дороги находится в пределах 10-15 м, что часто является недостаточным для корректного позиционирования, поэтому все возрастает актуальность исследований, направленных на разработку методов и средств обеспечения и улучшения навигационных параметров СРНС. На железной дороге одночастотные приемники входят в

состав системы интервального регулирования движения поездов КЛУБ-УП [3].

На сегодняшний день глобальный сервис позиционирования на территории практически всего земного шара осуществляют лишь 2 системы: отечественная ГЛОНАСС и американская GPS.

Для изучения особенностей функционирования одночастотных навигационных приемников GPS/ГЛОНАСС авторами разработан специальный аппаратно-программный комплекс (полигон), функционирующий в круглосуточном режиме. Для исключения влияния многолучевости и создания оптимальных условий приема спутниковых сигналов навигационная аппаратура размещена на крыше 9-этажного здания университетского комплекса ИрГУПС (высота более 30 м) на специальной металлической конструкции. Там же в термобоксе установлен микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B под управлением ОС Linux, служащий для записи спутниковых данных. Мониторинг аппаратуры и управление полигоном осуществляется дистанционно по сети Ethernet.

Для приема спутниковых данных используется три навигационных одночастотных приемника:

- 2 приемника GlobalSat BU-353 GLONASS – одночастотные двухсистемные 99-канальные GPS/ГЛОНАСС приемники на базе чипсета MTK3333 (далее MTK1 и MTK2);

- GlobalSat BU-353 S4 – одночастотный 48-канальный GPS приемник на основе чипсета SiRFStar IV (далее GPS).

Приемники закреплены неподвижно на металлических фермах на расстоянии 1 м друг от друга в форме равностороннего треугольника.

Принимаемые навигационной аппаратурой спутниковые данные представляют собой стандартные сообщения в формате NMEA, поступающие с частотой 1 Гц. В сообщениях содержатся: временная метка в формате UTC, географические координаты приемника (высота, широта и долгота), состояние навигационной группировки спутников и ряд других параметров.

В эксперименте используются данные, полученные 30 сентября 2017 года. Статистический и корреляционный анализы принятых координат проводились при помощи программного комплекса MATLAB R2014a.

Ранее проведенные исследования показали, что статические одночастотные GPS/ГЛОНАСС приемники определяют свое местоположение с периодическими вариациями высоты, широты и долготы, которые связаны с особенностями алгоритмов обработки сигналов и с движением спутников орбитальной группировки [4].

На рисунках 1 и 2 представлены вариации широты и долготы наблюдений всех 3 приемников: GPS, MTK1 и MTK2. Стоит отметить, что время записи начинается с 00 ч 00 мин 00 с по Иркутскому времени и заканчивается в 23 ч 59 мин 59 с.

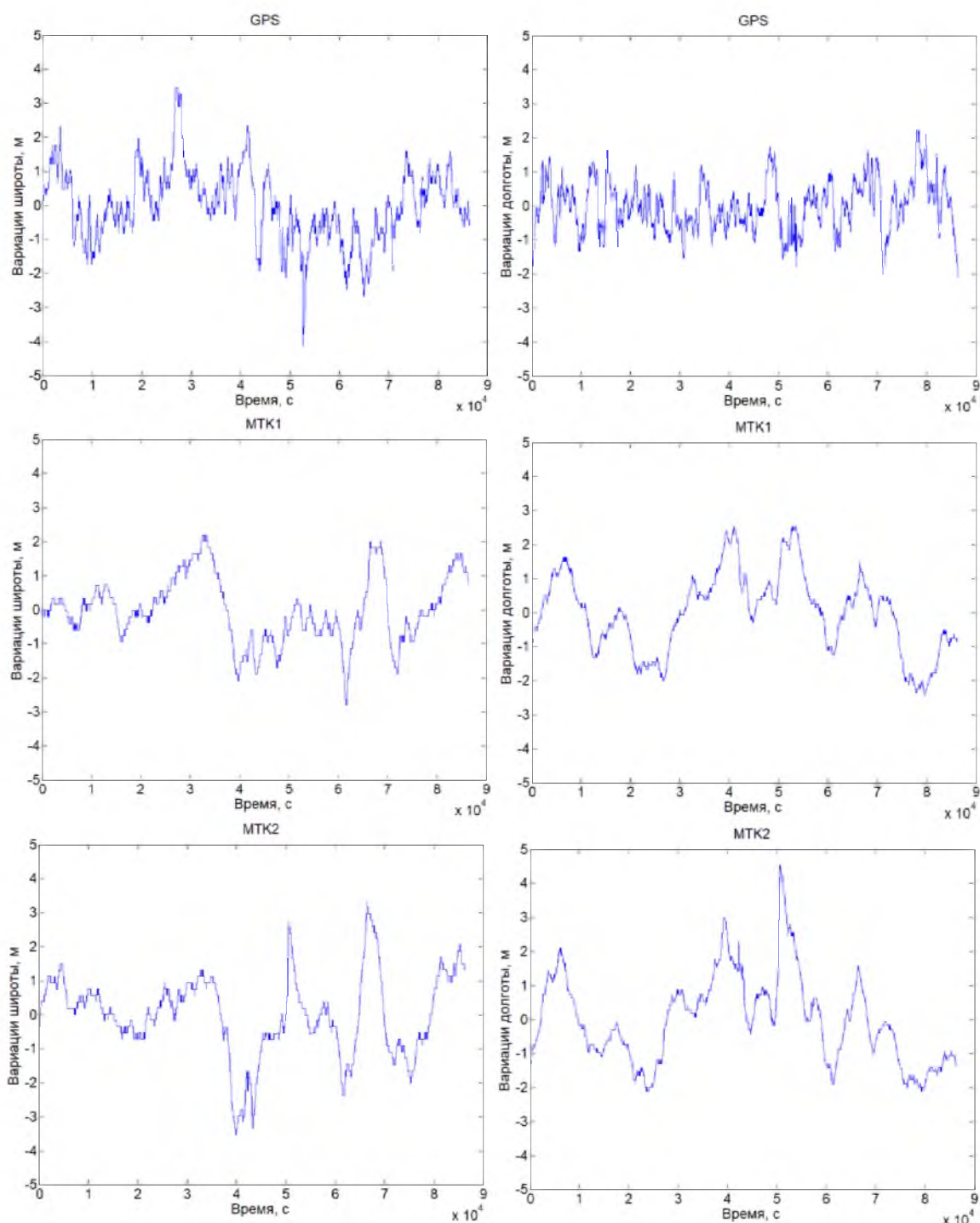


Рис. 1. Вариации широты (слева) и долготы (справа) приемников GPS, MTK1 и MTK2 в течение суток (30.09.2017)

На графиках рис.1 видны характерные вариации координат в течение суток. При этом заметна разница в вариациях координат между разными типами приемников (MTK1,2 и GPS), в то время как между однотипными приемниками MTK1 и MTK2 прослеживается определенная корреляция. Стоит отметить, что характер вариаций координат у приемника GPS более «зашумлен», в отличие от приемников MTK.

Для наглядного представления характера распределения значений широты, долготы и высоты на рисунке 3, 4 и 5 представлены гистограммы по данным всех трех приемников.

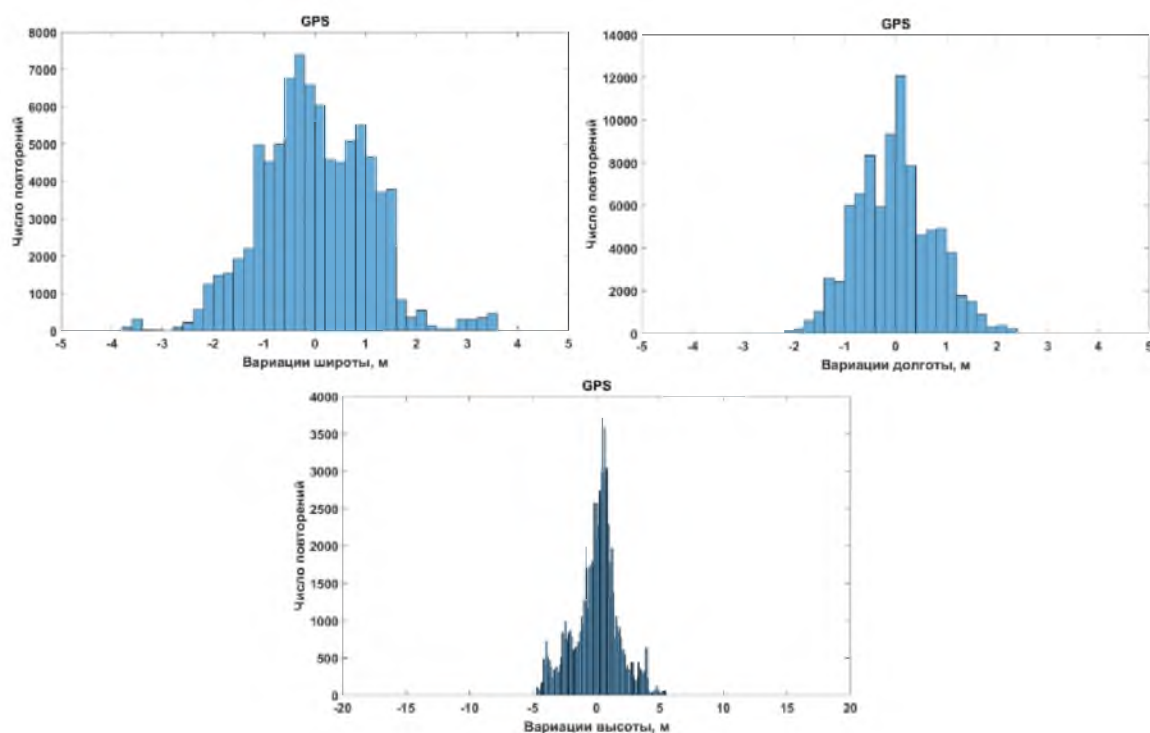


Рис. 2. Гистограммы широты (слева), долготы (справа) и высоты (снизу) для приемника GPS в течение суток (30.09.2017)

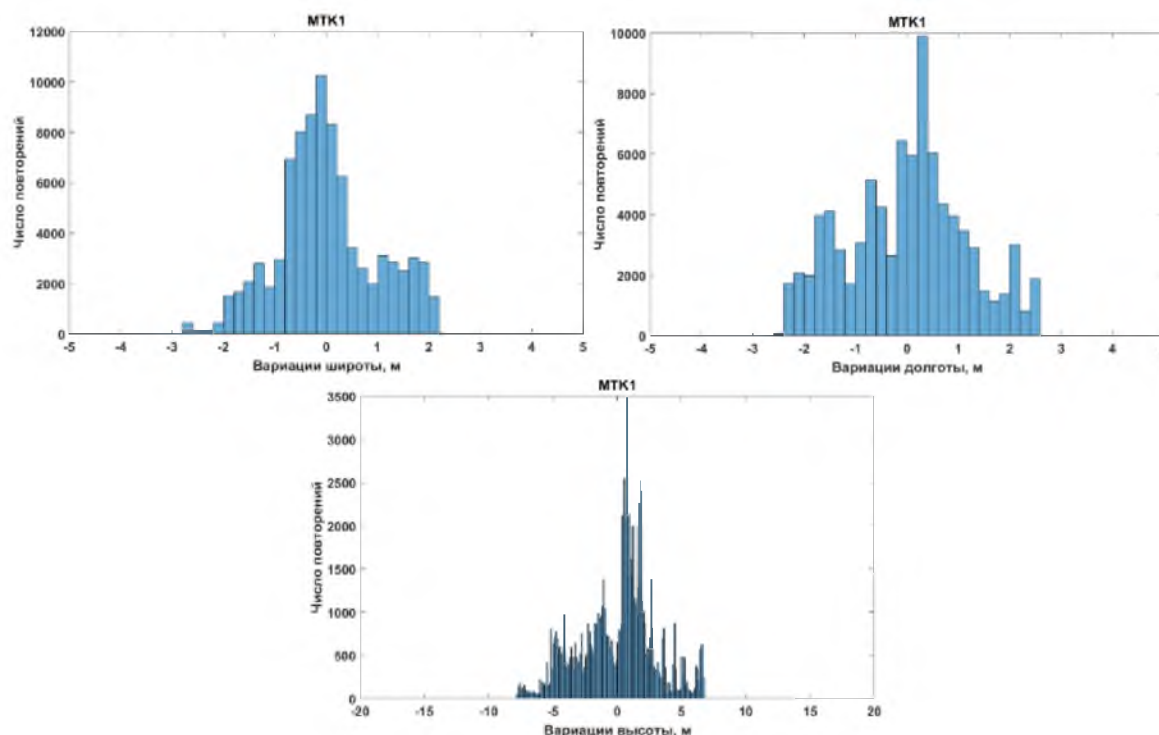


Рис. 3. Гистограммы широты (слева), долготы (справа) и высоты (снизу) для приемника MTK1 в течение суток (30.09.2017)

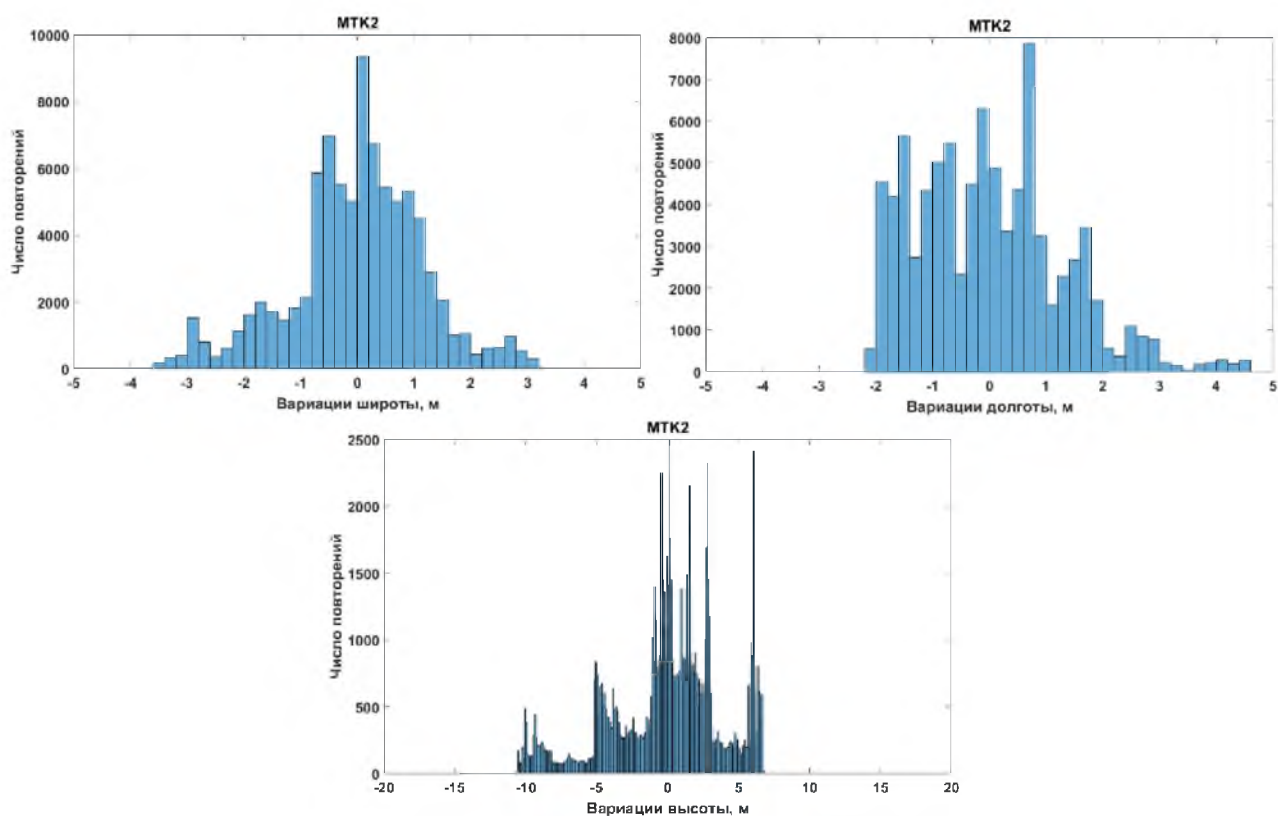


Рис. 4. Гистограммы широты (слева), долготы (справа) и высоты (снизу) для приемника MTK2 в течение суток (30.09.2017)

Во всех случаях прослеживается Гауссовский, или нормальный закон распределения. Большая часть значений находится в пределах ± 2 м для широты и долготы, и ± 5 м для высоты. Прослеживается более значительный разброс координат у приемника MTK2, что может быть связано особенностями работы конкретного экземпляра. По результатам наблюдений, лучшую точность местоопределения показывает односистемный GPS приемник.

В таблице 1 представлены результаты оценки погрешностей определения координат всех приемников для данных, записанных в течение суток (30.09.2017), а именно среднеквадратические отклонения (СКО), параметр CEP – радиус круга, куда попадают 50 % значений, 2DRMS – радиус круга, куда попадают 95 % значений, а также средние значения высоты над уровнем моря.

Таблица 1 – Погрешности определения координат приемников

Приемник	СКО, м			CEP (50%), м	2DRMS (95%), м	Средняя высота, м
	Широта	Долгота	Высота			
GPS	1.07	0.753	1.747	1.076	2.617	497.367
MTK1	0.974	1.168	2.979	1.263	3.041	494.187
MTK2	1.192	1.299	3.944	1.47	3.526	494.112

По результатам анализа наблюдений видно, что величины средне-квадратического отклонения для широты и долготы находятся в одних пределах (около 1 м для широты и 0.75-1.3 м для долготы). Тогда как для высоты СКО варьируется довольно сильно (1.7-3.9 м). В целом, одностотный приемник GPS показал более хорошие результаты, чем приемники МТК.

Коэффициенты корреляции для широты и долготы приемников МТК1 и МТК2 для 1 суток равны 0.812 и 0.92 соответственно, что является логичным исходя из однотипности данной аппаратуры. Корреляционный анализ для аппаратуры GPS не проводился ввиду различия оборудования.

По результатам наблюдений замечено, что в течение суток у всех приемников наблюдается периодически повторяющиеся вариации координат. При этом у одностотного GPS приемника вариации координат оказываются более зашумленными в сравнении с двухсистемными GPS/ГЛОНАСС приемниками. Несмотря на это, GPS приемник показывает лучшие результаты при оценке погрешности определения координат, чем аналогичная одностотная GPS/ГЛОНАСС аппаратура. Значения СКО всех трех приемников варьируются в пределах 0.75 – 1.3 м для широты и долготы, и 1.7 – 3.9 м для высоты. Коэффициент корреляции значений широты для однотипных приемников МТК1 и МТК2 равен 0.81, долготы – 0.92. Необходимо отметить, что данные результаты были получены в практически идеальных условиях (отсутствие переотражений, препятствий и т.д.), поэтому при эксплуатации в реальных условиях, погрешности местоопределения окажутся выше.

Список использованной литературы:

1. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. – 270 с.
2. Демьянов В.В. Особенности функционирования спутниковых радионавигационных систем в неблагоприятных гелио-геофизических условиях. Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 212 с.
3. Бервинов В.И., Доронин Е.Ю. Локомотивные устройства безопасности. М.: Маршрут, 2005. – 156 с.
4. Козиенко Л.В., Климов Н.Н., Унучков В.Е., Черкашин К.В. / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы пятой Всероссийской научно-практической конференции. - Иркутск: ИрГУПС, 2014. Т. 1. С.341–346.

Данные авторов

А

Аксенов Сергей Алексеевич, к.т.н., доцент Департамента прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ, e-mail: saksenov@hse.ru

Алейников Дмитрий Павлович, младший научный сотрудник кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: dmitriy-aleinikov@mail.ru

Алхуссейни Сами, аспирант кафедры транспорта, e-mail: eng.sami20143@gmail.com

Андреев Константин Юрьевич, магистрант кафедры транспорта, e-mail: hloi-787@mail.ru

Б

Багаутдинов Марсель Равильевич, студент кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем, e-mail: mr.mrsl@mail.ru

Бадмаев Алексей Баирович, аспирант кафедры автоматика, телемеханика и связь, e-mail: alexey_1207@mail.ru

Бакшеева Елизавета Николаевна, магистрант группы ВПОМ-16-2, e-mail: fat-maggot@mail.ru

Бейчук Данил Дмитриевич, студент гр. СМО-13-1 ИРНИТУ, e-mail: danik_mehanik@mail.ru,

Беломестных Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: berkut1@mail.ru

Бирюков Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем, ИРНИТУ

Боброва Анастасия Михайловна, студент кафедры автомобильного транспорта, e-mail: anastasbobr@yandex.ru

Божеева Татьяна Владимировна, ст. преподаватель кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: btv1974@mail.ru

Бойко Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», e-mail: veator@ramler.ru

Бондаренко Ангелина Сергеевна, магистрант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, e-mail: pospel@istu.edu

Бондаренко Елена Викторовна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей,

Брянских Татьяна Борисовна, аспирант кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении, e-mail: broocha@yandex.ru

Булдакова Вера Сергеевна, магистрант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: vera.buldakova@tl-istu.com

Булохова Татьяна Александровна, к.э.н., доцент кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте, e-mail: 677623@mail.ru

Бутузова Александра Борисовна, доцент кафедры автомобильного транспорта ИРНИТУ, e-mail: alexa.kupriyanova@gmail.com.

В

Вагнер Кирилл Сергеевич, студент 4 курса кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: wagnerks@mail.ru

Вергин Александр Сергеевич, мастер цеха ИАЗ, guiver86@mail.ru

Вольнов Александр Сергеевич, канд. техн. наук, ассистент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, e-mail: volnov_as@mail.ru

Г

Гайсин С. Н., инженер, ИРНИТУ

Герасимов Антон Андреевич студент кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: fish.f@mail.ru

Говорков Алексей Сергеевич, начальник УНД, доцент каф. СМиЭАТ, ИРНИТУ, e-mail: govorkov_as@istu.edu

Горбунова Юлия Дмитриевна, соискатель ученой степени к.т.н. кафедры «Обработка металлов давлением»,

Горнаков Иван Александрович, магистрант кафедры менеджмента и логистики на транспорте, гр. ЛМБм-16, e-mail: Gornakov_ivan@mail.ru

Груздев Александр Сергеевич, студент, e-mail: gruzdev-as@yandex.ru.

Гущин Сергей Владимирович, доцент каф. Самолетостроение и эксплуатация авиационной техники, к.т.н., e-mail: gushin_sv@sibnet.ru

Д

Демин Никита Александрович, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», e-mail: nik1993_93@list.ru

Джурук Дмитрий Сергеевич, преподаватель кафедры оперативно-разыскной деятельности и специальной техники в ОВД ВСИ МВД России, E-mail: Irkutsk.dmitriy@yandex.ru

Дошлов Иван Олегович, аспирант Института энергетики, e-mail: doslov125@mail.ru

Дошлов Олег Иванович, профессор кафедры Химической технологии, e-mail: doshlov125@mail.ru

Дроздов Николай Сергеевич, студент кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: ifpi@mail.ru

Е

Елфимова Наталия Алексеевна, гр. УТСб – 15 кафедры автомобильного транспорта, e-mail: natalia.elfimova@tl-istu.com

Ефименко Игорь Сергеевич, бакалавр института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: igorefimenko1999@mail.ru

Ж

Журавлева Клавдия Сергеевна, магистрант группы ЛМБм-17-1, Институт Авиамашиностроения и транспорта, e-mail: klavdia.zhuravleva@tl-istu.com

З

Зайдес Семен Азикович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроительных технологий и материалов, e-mail: zsa@istu.edu

Зедгенизов Антон Викторович, к.т.н. доцент кафедры менеджмента и логистики на транспорте, докторант, e-mail: azedgen@gmail.com.

Зедгенизов Виктор Георгиевич, профессор кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем, ИРНИТУ

Зотов Игорь Николаевич, доцент кафедры СМиЭАТ ИРНИТУ, e-mail: zegor-2008@yandex.ru

И

Иванов Николай Аркадьевич, ИРНИТУ проф. каф. «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем», e-mail: ivnik@istu.edu

К

Камольцева Алла Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры Транспорта, e-mail: alla20051608@mail.ru

Карамышев Александр Александрович, студент группы ММб-14-1, e-mail: Cserscs.465-486@yandex.ru

Кириенко Дмитрий Тимофеевич, студент кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: fish.f@mail.ru

Климов Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры автомата, телемеханика и связь, e-mail: klinn42@mail.ru

Коваль Алексей Петрович, студент, e-mail: ya.koval-alexey@yandex.ru.

Козиенко Леонид Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры автомата, телемеханика и связь, e-mail: leo.kozienko@gmail.com

Колесников Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники», e-mail: avk@istu.edu

Кологреев Егор Викторович магистрант гр. ТМм-16 кафедры технологии металлов и конструирования, e-mail: 24egor1991@mail.ru

Копытко Ярослав Викторович, инженер-конструктор отдела конструкторского сопровождения авиационной техники ИАЗ, yarik.kopter@mail.ru.

Корнилов Денис Анатольевич, магистрант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, e-mail: pospel@istu.edu

Королев Павел Владимирович, Россия, город Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ),

доцент, кандидат технических наук, Член Правления Союза лесопромышленников и лесозэкспортеров Иркутской области, e-mail: trpwood@rambler.ru

Короташ Владимир Максимович, студент гр. СДМ-14-1, E-mail: korotash2016@yandex.ru

Котельников Евгений Вадимович, бакалавр института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: dnevnik.92-12@ya.ru

Котов Вячеслав Валерьевич, к.т.н, доцент кафедры «Обработка металлов давлением», Технический директор Представительства компании ESI Group в Российской Федерации.

Кузиванов Семен Дмитриевич, бакалавр института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: kuzivanovsd@gmail.com

Л

Лановой Дмитрий Алексеевич, студент 4 курса кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: vault141@gmail.com

Ледовских Екатерина Владимировна, студентка гр. СМ-13, ИрННТУ, e-mail: ledowskih.katya@yandex.ru

Леонович Дмитрий Сергеевич, аспирант группы аМСТ-17-1, e-mail: dmitriy.leonovcih@mail.ru

Лэ Хонг Куанг, аспирант, ИРННТУ

Ляпина Валентина Николаевна, магистрант кафедры городского строительства и хозяйства, e-mail: liapinavalentina@yandex.ru

М

Максимова Оксана Вадимовна, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Авиационная техника» ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева. Имеет статьи, монографии, изобретения в области оптоэлектроники и СВЧ-техники, e-mail: first32007@yandex.ru

Марков Алексей Сергеевич, аспирант кафедры "Автомобильный транспорт", e-mail: buran.005@mail.ru;

Молокова Светлана Васильевна, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: svetmol@mail.ru

Москвитин Виктор Николаевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: burenie@istu.edu

Н

Николаев Пётр Валерьевич, аспирант кафедры «Проектирование и технология электронных средств» Ульяновского государственного технического университета, e-mail: nikollaew@mail.ru

О

Орлов Григорий Александрович, д.т.н, профессор кафедры «Обработка металлов давлением», e-mail: grorl@mail.ru

Осипов Артур Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и стандартизация в машиностроении», e-mail: arthur.osipov@rambler.ru

П

Пайкин Дмитрий Борисович, младший научный сотрудник кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: dpaykin@istu.edu

Панин Максим Александрович, магистрант гр. ВПОм-16-2 кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: panin_ma@mail.ru

Парамонов Олег Владимирович, студент гр. СМо-14-1, ИрННТУ, e-mail: varanov2012@mail.ru

Пашков А.Е. Зав. каф. ТОМП, ИрННТУ, г. Иркутск, Россия.

Писарев Георгий Александрович, магистрант кафедры «Транспорт», e-mail: chelovek1110@yandex.ru

Писарев Илья Сергеевич, доцент кафедры «Транспорт», e-mail: Ipisarev@sfu-kras.ru

Подрез Никодим Владимирович, студент гр. СМ-13-1, e-mail: podrez-nikodim@mail.ru

Полонский Анатолий Петрович, доцент кафедры самолетостроения и авиационной техники, e-mail: a_polonsky45@mail.ru

Полынский Игорь Владимирович, аспирант 4 курс 04.06.01 химические науки, 02.00.04 физическая химия, e-mail: polinigor@yandex.ru

Поспелова Ирина Юрьевна, к.т.н., доцент кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, e-mail: pospel@istu.edu

Поспелова Мария Ярославовна, ст.преп. кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, e-mail: pospel@istu.edu

Потылицын Евгений Андреевич, аспирант кафедры автомобильного транспорта ИрННТУ, e-mail: potilycin_j@mail.ru

Поцейко Дмитрий Андреевич, магистрант кафедры транспорта, e-mail: potseyko95@mail.ru

Прокофьева Оксана Сергеевна, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», e-mail: oksana.prok2701@gmail.com

Пярых Алексей Сергеевич, инженер – исследователь НИЧ, e-mail: alexess@istu.edu

Р

Распопина Вера Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение и эксплуатация авиационной техники», e-mail: vbr2604@mail.ru

Ратенко Олег Александрович, аспирант кафедры технической механики и инженерной графики, e-mail: ratenko.oleg@yandex.ru

Ратинер Михаил Моисеевич, Израиль, город Тель-Авив, Эбилити Лтд, Директор по исследованиям и разработкам, кандидат технических наук, e-mail: michael@ability.co.il

Репей Екатерина Олеговна, магистрант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: ekaterina_repey@mail.ru;

Решиков Сергей Александрович, студент гр. СДМ-14-1, E-mail: reshikovsergei@yandex.ru

С

Савилов Андрей Владиславович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: v25@istu.edu

Савина Мария Андреевна, студентка гр. ХТБп-16-2, e-mail: masha060991@mail.ru

Салчак Эртине Сергеевич, студент группы ЭТБп-16-1, кафедры "Автомобильный транспорт", e-mail: sal4ak-ertine@mail.ru;

Свинин Валерий Михайлович, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: svinin_vm@mail.ru

Семенов Евгений Николаевич, м.н.с. кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: sam.jlnex@mail.ru

Серебренникова Анжела Геннадьевна, доцент кафедры технологии машиностроения КнАГУ, e-mail: Anzhela03121967@yandex.ru

Сериков Константин Алексеевич, студент группы СДМ-16-1, кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем.

Серкина Елизавета Михайловна, магистрант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: elizaveta.serkina@tl-istu.com

Смирнов Антон Николаевич, студент группы СМ-15-2 каф. СМиЭАТ, ИРНИТУ, e-mail: horror512@yandex.ru

Соколов Дмитрий Александрович, студент группы ЭЛБп-17-1 кафедры самолетостроения и авиационной техники, e-mail: desh_122@list.ru

Стрелков Алексей Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: AlexejST@gmail.com.

Стрельников Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем, e-mail: v03@istu.edu

Стрельников Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», E-mail: strelnikov077@rambler.ru

Стуров А.А. Аспирант, ИРНИТУ, г. Иркутск, Россия.

Суржик Виталий Витальевич, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: svitali82@mail.ru.

Т

Тимофеев Сергей Анатольевич, младший научный сотрудник кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: sevans@istu.edu

Третьяк Людмила Николаевна, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, e-mail: tretyak_ln@mail.ru

Ф

Фадеев Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта, e-mail: 9135335784@mail.ru

Файзов Сорбон Хотамович, аспирант кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем

Федотов Александр Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Автомобильный транспорт", e-mail: fai.abs@yandex.ru;

Филиппенко Николай Григорьевич, доцент; кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: ifpi@mail.ru

Фокин Игорь Владимирович, аспирант каф. ТОМП института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: nikofrogi777@mail.ru

Фоломеев Валерий Андреевич, студент гр. МРБ-15-1, e-mail: folomeev.valera@mail.ru

Фомина Вера Дмитриевна, студентка 3 курса института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: windy_16_04@mail.ru

Фрейдман Оксана Анатольевна, к.э.н., доцент, доцент кафедры «Менеджмент» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», e-mail: oksana-frey@mail.ru

Х

Хвощевская Любовь Фёдоровна, программист кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: xvlf@mail.ru

Ходунаев Александр Юрьевич, аспирант кафедры общей и экспериментальной физики физического факультета ИГУ; e-mail: dead7simple@gmail.com

Худченко Александр Сергеевич, старший преподаватель, кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем, e-mail: Alex122809@rambler.ru

Ч

Чевтаев И.А., ст. гр. ММб-14-1, ИРНИТУ

Черных Екатерина Владимировна, инженер-технолог отдела клепально-сборочных работ, аспирант кафедры машиностроительных технологий и материалов, e-mail: chernykhev2014@yandex.ru

Ш

Шаров Максим Игоревич, доцент кафедры автомобильного транспорта, e-mail: sharov.maksim@gmail.com

Шутенков Антон Владимирович, студент 4 курса кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: shuteanton@yandex.ru

Щ

Щавелева Мария Владимировна, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт»; e-mail: maria.shaveleva@tl-istu.com

Я

Янчук Татьяна Леонидовна, студентка гр. СМ-16-2 института авиамашиностроения и транспорта, e-mail: kira.yank37@gmail.com

Яньков Олег Сергеевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт», e-mail: 066813@mail.ru

Яценко Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента и логистики на транспорте, sv_lana2005@mail.ru

Научное издание

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей

X Международной научно-технической конференции
«Авиамашиностроение и транспорт Сибири»