Институт авиамашиностроения
и транспорта

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей

XIII Всероссийской научно-технической
конференции

23 декабря 2019
Иркутск

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

**Сборник статей
XIII Всероссийской
научно-технической конференции**

(Иркутск, 23 декабря 2019 г.)

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета
2020**

УДК 629+656 (082)
ББК 39Я45

Печатается по решению редакционно-издательского совета ИРНИТУ

Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. статей XIII Всеросс. науч.-практ. конф. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2020. – 138 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.

Редколлегия:

ответственный редактор – Бобарика И.О., канд. техн. наук, доцент (ИРНИТУ)

Беломестных А.С. – канд. техн. наук, доцент (ИРНИТУ)

Пятых А.С. – канд. техн. наук (ИРНИТУ)

Печатается с файлов, предоставленных авторами

ISBN 978-5-8038-1479-5
978-5-8038-1480-1

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ 5

Иерархические координатные модели в задачах технологического проектирования изделий машиностроения Ахатов Р.Х. 5

Моделирование методом монте-карло процесса фильтрации дискретной металлической примеси при импульсном поступлении частиц в маслосистему авиационного двигателя Иванов Н.А.[1], Дроков В.Г.[2], Дроков В.В.[2], Казмиров А.Д.[1], Мурыщенко В.В.[2] 11

Снижение трудоемкости балансировки инструментальных наладок для высокоскоростного фрезерования высокопрочных алюминиевых сплавов А.Ю. Николаев 19

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 27

Экспериментальное исследование кинематики промышленного робота KUKA KR210 R2700 С.Б. Прокофьев, А.С. Беломестных, В.П. Чапышев 27

Моделирование единичного удара дроби о поверхность детали при параметрах дробеударного формобразования. Ле Чи Винь, В.П. Кольцов, В.Б. Ракицкая, Нгуен Тхе Хоанг 34

Сквозные технологии изготовления деталей обшивки А.Е. Пашков 45

Применение промышленных роботов для автоматизации производства М.Е. Лебедева, А.В. Сидорова 50

Проблемы интеграции этапов подготовки производства и обработки на станках с ЧПУ в условиях высокоточного производства Ю.И. Карлина, Д.А. Журавлёв, Т.А. Опарина 55

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ 59

Использование дуговой сварки для аддитивного производства Балановский А.Е., Гречнева М.В, Куликов А.А. 59

МЕХАНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН71

Расчет показателей надежности клиноременных передач на примере привода ленточного конвейера. П.В. Королев, А.И. Мартышенко, С.В. Степанов 71

МЕНЕДЖМЕНТ И ЛОГИСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ 77

Транспортная мобильность населения А.Б. Бутузова, Е.А. Потылицын.. 77

Анализ зависимости сезонной неравномерности пассажиропотоков от количества обучающихся в учебных заведениях на примере г. Иркутска Л.П. Федорова 83

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА 88

Результаты оценки шума в салоне транспортных средств в реальных условиях движения Ю.В. Галевко, Т.В. Иванова, А.А.Тюркин, А.В. Бочаров88

Учебно-измерительный комплекс для определения экологических свойств двигателя. Т.И. Кривцова, М.В. Тихонов.....95

Разработка системы мониторинга выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобильного транспорта. Т.И. Кривцова, А.З. Цыденешеев.....101

Алгоритм превращения топлива в отработавшие газы при работе двигателя внутреннего сгорания О.А. Свирбутович, Д.М. Казанцев.....106

Влияние автотранспортных средств на экологическую.....112

безопасность г. Иркутска О.А. Свирбутович, В.О. Пределин 112

Математическая модель регулятора аксиально-поршневого насоса с гидравлическим управлением для закрытого контура В. Г. Зедгенизов, А.Н. Стрельников, В.Н. Ляпина.....118

Способы анализа смазывающих свойств масел С.Н. Котельников, У.А. Васечкин, А.Н. Стрельников, Д.В. Кокоуров.....123

Предпосылки для разработки метода диагностирования двигателя на холостом ходу по показаниям датчика массового расхода воздуха Кузнецов И.И., Кривцов С.Н. 128

ДАННЫЕ АВТОРОВ 135

УДК 903.085

Иерархические координатные модели в задачах технологического проектирования изделий машиностроения

Ахатов Р.Х.

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

Большое разнообразие моделей, используемых при автоматизированном технологическом проектировании затрудняет создание и развитие программных систем создания моделей, а также возможности согласованного взаимодействия этих моделей при решении комплексных задач. Предлагается построение объектов производственной системы выполнять в форме дискретных точечных моделей, иерархически вложенных и направленно дополняемых на каждом этапе технологического проектирования.

Ключевые слова: *дискретная модель объекта, технологическое проектирование, базы изделия.*

Ахатов Рашид Хадиатович, к.т.н., директор института авиамашиностроения и транспорта, тел.: +7(3952) 40-51-30, e-mail: axatob@istu.edu

Основной задачей технологического проектирования является разработка технологического процесса преобразования изделия на некотором этапе передела. При выполнении технологического процесса реализуются различные типы преобразований:

1) преобразование структуры объектов технологической системы (изделия, инструмента, средств технологического оснащения, средств контроля и др.) путем взаимно согласованного размещения их в пространстве с заданием взаимосвязей;
2) преобразование формы поверхностей отдельных компонентов изделия (деформации материала, снятие заданных припусков или, напротив, наращивание материала, разделение материала и др.);
3) преобразование свойств материала (закалка, упрочнение, локальная взаимная диффузия материала и др.).

Ряд технологических процессов может представлять комбинацию вышеперечисленных преобразований, например, такие процессы, как литье, порошковое спекание, изготовление изделий из композиционных материалов и т.п.

Практически тотально явно или косвенно на всех этапах передела при производстве изделия выполняется специфический процесс, заключающийся в определении степени соответствия параметров изделия требуемым значениям величин, заданным в его конечной модели в форме технического задания на выполнение технологического процесса. В этом случае технологический процесс реализует процедуру определения состояния предмета труда для принятия решения об использовании его на следующих этапах передела.

Технологический процесс имеет иерархическую структуру, в которой он может быть составляющим технологического процесса более высокого уровня и, в свою очередь, включает входящие в него составляющие процесса: операции, переходы, проходы. Для однозначной определенности технологического процесса необходимо выявить все объекты производственной среды, необходимые для его выполнения. На рис. 1 показана схема взаимосвязей основных составляющих объектов технологического процесса.

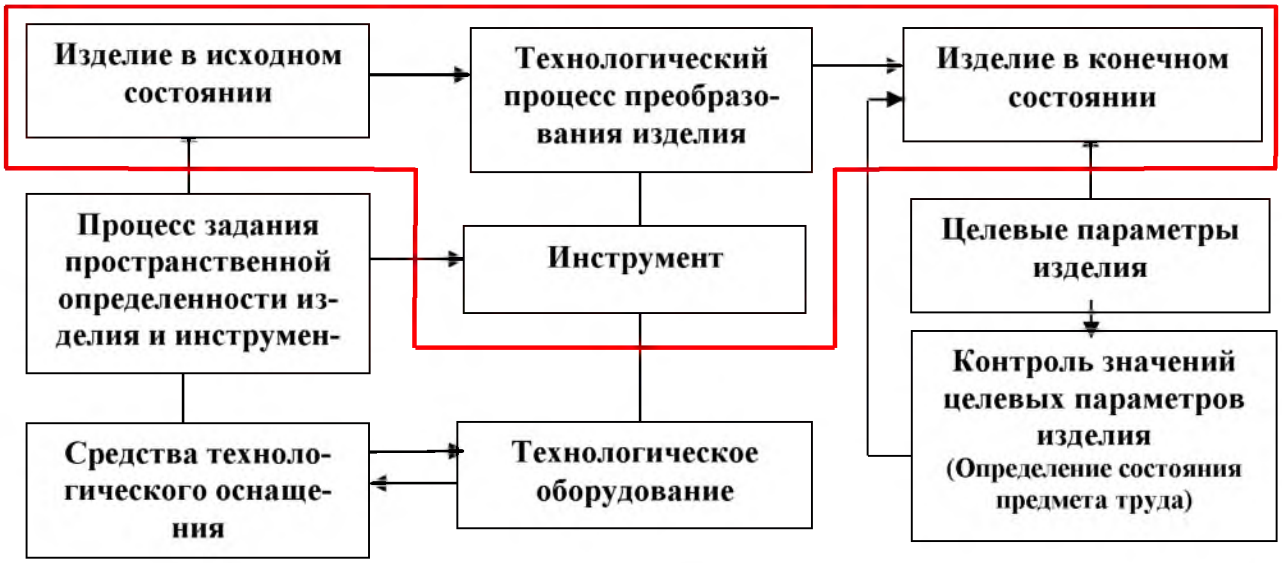


Рис. 1. Составляющие технологического процесса

Как видим, для выполнения любого технологического процесса, любого уровня иерархии необходимо комплексно выполнять сопутствующие или обеспечивающие технологические процессы. Такой состав объектов, составляющих основной технологический процесс преобразования изделия как объекта производства, а также субъектов, определяющих целевые параметры изделия и сопровождающих выполнение процесса, называют технологической системой [1].

Рассматривая объекты технологической системы видно, что, кроме преобразования изделия, как основного объекта производства, реализуются сопутствующие технологические процессы. Для различных сопутствующих технологических процессов, также можно выделить три основных объекта, которые являются необходимыми для реализации процедуры преобразования. Эти объекты, выделенные рамкой на рис.1, включают: изделие как объект преобразования из исходного состояния в конечное, собственно процесс

преобразования и инструмент воздействия. Все технологические процедуры в составе технологической системы, такие как позиционирование при базировании, закрепление, задание взаимосвязи инструмента с технологическим оборудованием, измерения и т.д., в своей структуре имеют эту триаду.

Отсюда следует, что свойства объектов технологической системы содержат:

- необходимость согласования всего комплекса параметров каждого объекта с параметрами других объектов на основе унифицированных процедур;
- выраженную логическую последовательность причинно-следственных связей между процедурами преобразования всех объектов технологической системы при реализации основного технологического процесса;
- иерархическую вложенность некоторых объектов технологической системы.

Взаимное согласование объектов технологической системы необходимо выполнить на основе некоторой унифицированной модели, допускающей их согласование между собой, преемственность параметров одной модели по отношению к смежной, ассоциативность связей взаимодействующих параметров и другие требования, предъявляемые к взаимодействующим моделям сложных систем. В современных условиях цифрового производства таким требованиям удовлетворяют дискретные модели объектов. Такие модели известны давно и использовались в традиционных процедурах технологического проектирования.

Так используемые при построении схемы базирования изделия опорные базовые точки символически определяют конструкторские, технологические и измерительные базы [2]. Опорные базовые точки связаны с базами изделия – с геометрическими объектами геометрической модели изделия: поверхностью, линией (осью), точкой. В задачах технологического проектирования опорные базовые точки фактически являются условными обозначениями баз изделия. Оперирование собственно базами технолог осуществляет с учетом своих субъективных знаний о существующих параметрах соответствующего геометрического объекта, определяющего базу, например, форме поверхности, габаритных размерах изделия, предпочтительного технологического воздействия при выполнении операций прижима, технологического воздействия инструмента и др. Для возможности автоматизации проектирования технологических процессов производства изделия выполняется формализация описания основных объектов технологической системы, в том числе геометрических параметров изделия. Наиболее распространенным способ моделирования изделий является использование его дискретных параметров в некоторых локальных зонах. Например, в задачах пространственной компоновки изделия дискретной моделью изделия может служить описанный параллелепипед или описанная сфера. Выбор такой дискретной модели зависит от особенно-

стей решаемых задач технологического проектирования. При решении задачи базирования дискретная модель базы изделия может быть представлена опорными точками, но не символьными для целей субъективного анализа, а геометрически определенными, т.е. связанными с изделием точками с заданием в них конкретных значений координат в принятом параметрическом пространстве [3, 4].

Широко известно применение локальных дискретных моделей при решении задачи автоматизированного позиционирования изделий в пространстве при выполнении сборочных работ [5, 6]. В основе построения дискретной модели изделия лежит известное из теоретической механики положение, что для однозначного позиционирования в пространстве твердого тела достаточно наложить шесть ограничивающих связей. При этом для задания этих ограничивающих связей достаточно зафиксировать три точки, не лежащие на одной прямой и принадлежащие этому телу. Тогда для однозначного позиционирования изделия с ним нужно связать три точки, не лежащие на одной прямой. Дискретную модель такого ***i***-го тела обозначим как множество:

$$D_i\{T_1(X_1,Y_1,Z_1), T_2(X_2,Y_2,Z_2), T_3(X_3,Y_3Z_3)\}, \qquad (1)$$

где T_1, T_2, T_3 – точки твердого тела, заданные своими координатами, и определяющие дискретную модель позиционирования.

Взаимное согласование положения тел в пространстве выполняется путем согласования координатных систем каждого тела, участвующего в пространственном взаимодействии всех объектов в составе рассматриваемой технологической системы. Если координатную систему одного из тел, назовем его базовым, принять за систему отсчета координатного пространства всех объектов технологической системы, то при определении трех точек, связанных с каждым изделием (объектом производства, элементами оснащения, инструментом и т.д.) можно будет говорить о формировании дискретной модели этой системы, созданной для решения задачи позиционирования. Всю совокупность точек, однозначно определяющих положение изделий в виртуальном пространстве в принятой системе координат, принято называть базовыми точками. А совокупность всех базовых точек изделий, входящих в состав технологической системы, определит её цифровую модель соответствующего назначения, которая определится как множество $\boldsymbol{P\ \{D_1, D_2, D_3, \ldots\}}$.

Множество $\boldsymbol{D_i}$ определяет дискретную модель твердого тела. Изделия, деформация которых от собственного веса и сил технологических воздействий превышает допустимые значения, относятся к маложестким телам. Однозначное базирование таких тел возможно при условии задания дополнительных ограничивающих связей, которые можно осуществить путем введения дополнительных дискретных точек. Выбор таких точек уже исключает ту относительную произвольность определения их положения, присущую твердым телам. Здесь определяются специальные условия для выбора дополнительных точек. Так в работе [7] предлагается поверхность тела разбивать на элементарные поверхности так, что на каждой элементарной поверхности можно выбрать одну опорную точку контакта, дифференциальные свойства

которой будут аналогичны свойствам остального множества точек этой элементарной поверхности по принятым критериям. Для геометрических свойств поверхности критерием аналогичности (близости) принимается равенство всех дифференциально-геометрических характеристик поверхности в каждой точке с допустимой величиной отклонения. Тогда дискретная модель изделия как маложесткого тела примет следующий вид:

$$D_i\{T_1(X_1,Y_1,Z_1), T_2(X_2,Y_2,Z_2), T_3(X_3,Y_3Z_3), \dots, T_n(X_n,Y_nZ_n)\}, \quad (2)$$

где n – количество точек, определяющих задание ограничивающих связей, удовлетворяющих принятым условиям.

При выполнении пространственного позиционирования изделия необходимо выполнить его перемещения в принятом координатном пространстве так, чтобы конечное положение удовлетворяло условию (1) или (2) в зависимости от свойств жесткости тела изделия. Однако однозначное положение изделия при выполнении технологического процесса может быть определено только при наложении силовых ограничивающих воздействий с учетом величин реакций от основного тела, т.е. закрепление [2]. Как правило, силовое воздействие осуществляется по нормали к поверхности в выбранной точке. При условии совпадения точки приложения вектора силы в базовых точках дискретная модель (1) или (2) вновь расширится путем включения для соответствующих точек приложения силы значений направляющих косинусов вектора нормали к поверхности в заданной точке.

Надо признать, что при этом дискретная модель может усложняться, т.к. вектор приложения силы необходимо прикладывать не ко всем точкам, особенно для дискретной модели типа (2), а также из конструктивных или технологических соображений возникает необходимость прилагать вектор силы к дополнительным (специальным) точкам.

Дискретная модель далее последовательно расширяется для решения задач определения направления приложения вектора сил для технологических воздействий инструмента, для оптимизации траектории технологических воздействий, для выполнения измерений и множества других технологических задач.

С учетом перечисленных особенностей создания дискретных моделей объектов технологической системы можно сформулировать некоторые общие положения, которые необходимо учитывать при их создании и использовании в технологическом проектировании:

- дискретные модели изделий, определяемые как совокупность базовых точек, связанных с изделием, могут непрерывно преобразовываться с учетом применения для решения различных технологических задач путем расширения или модификации состава базовых точек, сохраняя преемственность и ассоциативность каждой модели;
- генерация состава базовых точек, определяющих модель изделия на каждом этапе технологического проектирования, производится с учетом геометрических характеристик изделия, условий его взаимодействия с другими

объектами технологической системы и других свойств производственной среды. Процедура генерации базовых точек ведется с учетом технологического опыта в данной производственной сфере с применением систем искусственного интеллекта;

- типизация составляющих процедур определения параметров дискретных моделей объектов технологической системы позволяет значительно упростить систему автоматизированного проектирования технологических процессов.

С учетом предложенных принципов предлагается разработка иерархических дискретных моделей объектов технологической системы сборочного производства, где состав дискретных моделей последовательно создается на этапах выбора сборочных баз и построения схемы базирования, на этапе позиционирования, на этапе выполнения отдельных видов соединений и других задачах.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 45 с.

2. ГОСТ 2145-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1982. -36 с.

3. Akhatov R.H., Safonov M.V Coordinate model of product basing in the technological process of assembling in mechanical engineering // International Conference on Innovations in Automotive, 27 May to 1 June 2019, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 632, p.p. 7-11.

4. Ахатов Р.Х., Однокурцев К.А. Формализованный метод выбора и анализа сборочных баз в самолётостроении / Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2009. – Выпуск 2 (23), с. 232–237.

5. Штарк, Ульрих, Шрикель, Йорг, Брандт, Вольфганг, Устройство и способ для пространственного ориентирования по меньшей мере двух компонентов подгрупп, Патент 2533984 Российская Федерация, МПК B64F 5/00, B21D53/92 по заявке: 2011148902/02 от 10.06.2013. Опубликован 27.11.2014, 15 с.

6. Odnokurtsev K.A. Automatized alignment control of wing mechanization in aerodynamic contour of aircraft/ В сборнике: Jour nal of Physics: Conference Series. Сер. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Techniques and Technologies of the Automated Mechanical Engineering" 2018. С. 23DUMMY.

7. Ахатов Р.Х., Чьен Х.В. Выбор опорных базовых точек при определении схемы базировании сборочной единицы / Вестник МАИ – 2013. – Том 20. – №3. – С. 110-118.

УДК 621.452

Моделирование методом монте-карло процесса фильтрации дискретной металлической примеси при импульсном поступлении частиц в маслосистему авиационного двигателя

Иванов Н.А.[1], Дроков В.Г.[2], Дроков В.В.[2], Казмиров А.Д.[1], Мурыщенко В.В.[2]

[1] – Иркутский национальный исследовательский технический университет

[2] – Научно-исследовательский институт прикладной физики «Иркутского государственного университета»

Проведено моделирование процесса накопления частиц изнашивания на маслофильтре с различными параметрами фильтрации, построены распределения осевших на фильтрах частиц. Показано влияние импульсно поступивших частиц на параметры распределения частиц по размерам на маслофильтре. Проведены численные эксперименты с различными параметрами импульсно поступающих частиц.

Ключевые слова: *маслофильтр, диагностика, повреждение, выкрашивание, моделирование, частицы изнашивания.*

Иванов Николай Аркадьевич, канд. физ.-мат. наук, научный руководитель НИЛ зондовой микроскопии, технический руководитель НИЛ электронной микроскопии №1, научный руководитель НИЛ рентгеноструктурного анализа, директор байкальского центра нанотехнологий, заведующий кафедрой информационной безопасности, тел.: +7 (3952) 61-83-45, +7 (3952) 40-59-03, +7 (3952) 40-57-44, e-mail: ivnik@ist.edu.

Дроков Виктор Григорьевич, доктор техн. наук, ведущий сотрудник НИИ прикладной физики, заведующий лабораторией физики низкотемпературной плазмы, тел.: +7 (950) 102-00-71, e-mail: spectrosib@gmail.com.

Дроков Виктор Владиславович, тел.: +7(902) 546-78-57, +7(904) 113-60-10, e-mail: viktor.drokov@gmail.com.

Казмиров Александр Дмитриевич, канд. физ.-мат. наук, тел.: +7(964) 356-47-66, e-mail: kadm0909@gmail.com.

Мурыщенко Владимир Валерьевич, тел.: +7(924) 601-72-82, e-mail: dl-lr@yandex.ru.

В работе [1] показано, что для корректной оценки технического состояния двигателя необходимо наряду с использованием проб масла применять смывы с маслофильтров, которые накапливают частицы изнашивания. При непрерывном поступлении частиц изнашивания в маслосистему имеется возможность оценить ТС двигателя на момент измерения и оценить остаточный ресурс деталей и узлов [2,3]. Более сложными являются случаи импульсного поступления частиц в маслосистему, которые чаще всего связаны с выкрашиванием деталей. При этом, как правило, время от момента повреждения до разрушения детали может составлять от единиц до нескольких десятков часов [4,5,6,7].

При непрерывном стационарном поступлении частиц изнашивания в маслосистему и их осаждении на фильтре процесс предсказуем и понятен. Интерес представляет описание процесса фильтрации частиц изнашивания крупных фракций, образовавшихся при выкрашивании деталей и импульсно поступивших в маслосистему.

Задачей работы являлась оценка времени накопления частиц изнашивания при импульсном поступлении, при котором накопленная масса импульсно поступивших частиц крупных фракций будет выявлена при диагностировании двигателя.

Выкрашивание – это процесс кратковременного импульсного поступления порции металлической примеси в виде частиц с другими параметрами функции распределения по размерам (т.е. частиц крупных фракций), проявляющийся в произвольный момент времени [8]. При проведении эксперимента порция импульсно поступивших частиц в заданный момент времени добавляется к исходной пробе, которая непрерывно проходит фильтрацию. На фильтре идет постоянное накопление частиц, а в масле постоянная концентрация.

Алгоритмы генерации выброса и фильтрации выброса показаны на рисунках 2 и 3 соответственно.

Сгенерируем пробу без выкрашивания и с выкрашиванием с заданными начальными данными:

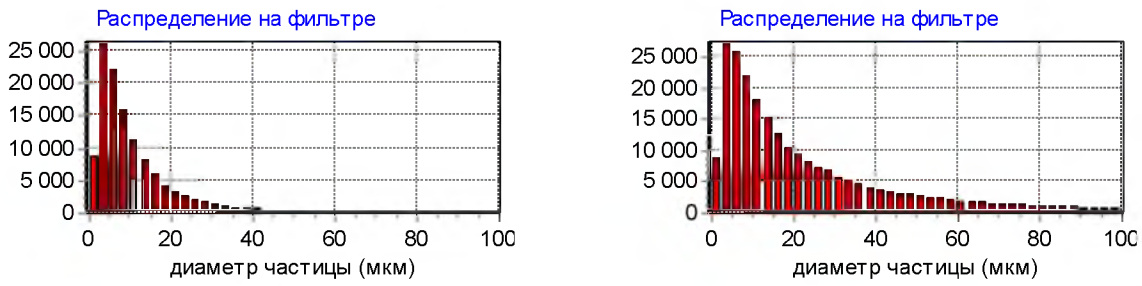
1) сгенерированной пробы. Массовая доля 0,1 *г/т*, объем масла 40 *л*, $\rho_м = 0.98 г/см^3$, частицы износа состоят из железа (Fe, $\rho = 7.87 г/см^3$), $D_\mu = 7 мкм$, $D_\sigma = 2.5 мкм$, $D_\mu^ф = 10\ мкм, D_\sigma^ф = 5 мкм$. Скорость фильтрации 40 л/м, время фильтрации 60 м.

2) источника и стока частиц. Скорость поступления частиц износа 0,34 г/м, скорость потери объема масла 16 мл/м.

3) выкрашивания: масса 40 000 *мкг*, $D_\mu^в$ = 30 *мкм*, $D_\sigma^в$= 2,5 *мкм*, цикл выброса 30.

Таблица 1. Параметры распределений частиц изнашивания на маслофильтре и в масле до и после импульсного поступления порции частиц.

	Распределение после фильтра					Распределение на фильтре			
	C	M_{el}	N	D_{mu}	D_{sig}	M_{el}	N	D_{mu}	D_{sig}
Без выкрашивания	0,0001	2,33	13 181	1,89	1,80	4 091	115 833	7,78	2,34
С выкрашиванием	0,0001	2,61	14 171	1,96	1,82	44 233	212 269	13,4	2,73



а) б)

Рис. 1. Распределение частиц на фильтре: а) до проявления выкрашивания; б) после проявления выкрашивания.

Из таблицы 1 видно, что при времени фильтрации 60 мин D_{μ} увеличилось на 5,62 мкм и D_{σ} увеличилось на 0,39 мкм. При моделировании выкрашивания на гистограмме распределение на фильтре становиться более затянутым (рис 1). При мощном выкрашивании оно хорошо различимо на фильтре вне зависимости от того, когда оно произошло, поскольку показатели будут зависеть только от параметров распределения импульсно поступивших частиц.

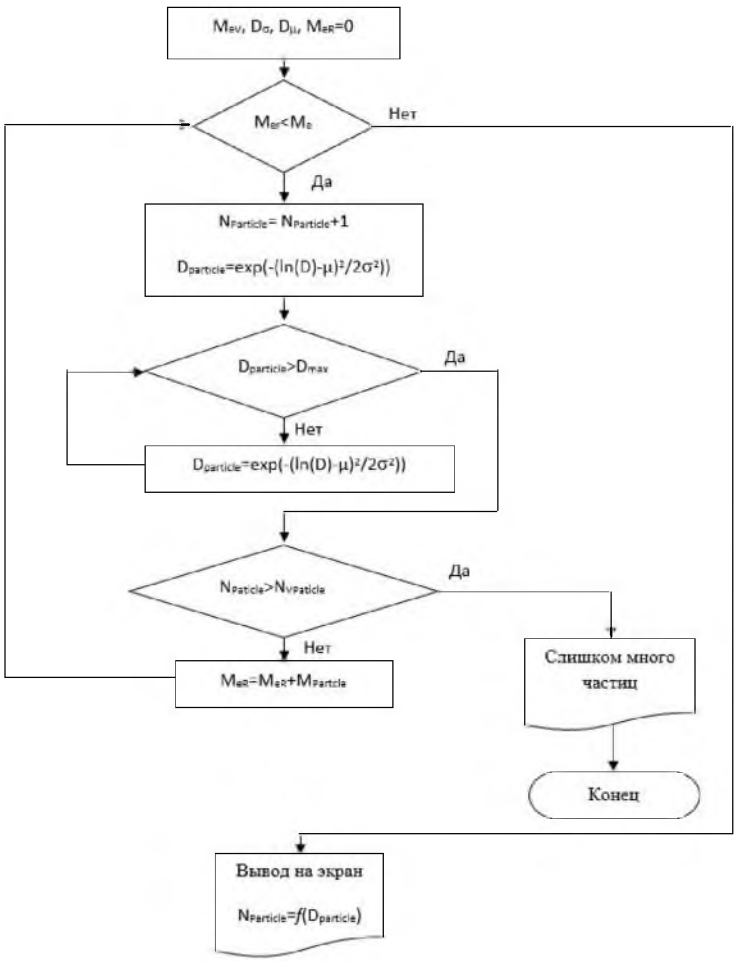


Рис. 2. Алгоритм генерации выброса.

Где M_{eV} – масса частиц выброса; M_{eR} – текущая расчетная масса; $N_{Particle}$ – количество частиц одного диаметра; $NV_{Paticle}$ – максимальное возможное число частиц выброса; $M_{Partcle}$ – масса частиц одного диаметра

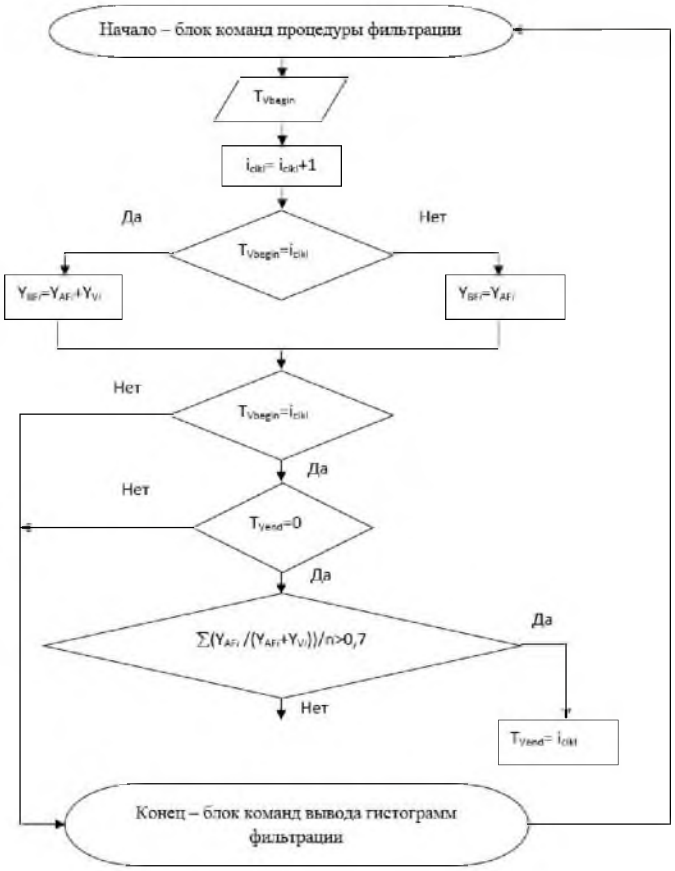


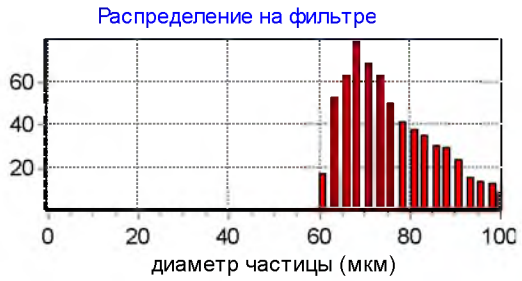
Рис. 3. Алгоритм фильтрации выброса.

Где T_{Vbegin} – время начала выброса; i_{cikl} – счетчик количества циклов; t – время фильтрации; Y_{AFi} – количество частиц на *i* – ом участке гистограммы после фильтрации; Y_{BFi} - количество частиц на *i* – ом участке гистограммы перед фильтрацией; Y_{Vi} - количество частиц на *i* – ом участке гистограммы выброса; T_{Vend} – цикл исчезновения выброса.

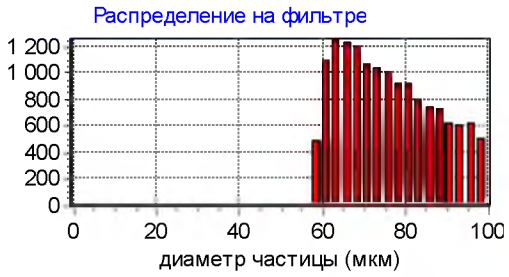
При $D_{\mu}^{\phi} = 70$ *мкм* D_{σ} распределение на фильтре практически не меняется (рис. 4). На этом фильтре мы почти никогда не увидим выкрашивание, кроме крупных частиц. В таблице 2 приведены результаты при длительности фильтрации 300 *м*.

Таблица 2. Параметры распределений частиц изнашивания на маслофильтре и в масле до и после импульсного поступления порции частиц при фильтрации в течение 300м.

	Распределение после фильтра					Распределение на фильтре			
	C	M_{el}	N	D_{mu}	D_{sig}	M_{el}	N	D_{mu}	D_{sig}
Без выкрашивания	0,06	2 719	201 765	6,40	2,44	1 192	629	75,3	1,13
С выкрашиванием	0,35	13 963	280 484	8,91	2,70	28 972	14 746	75,6	1,15



а)



б)

Рис.4. Распределение на фильтре а) без выкрашивания и б) с выкрашиванием при $D_{\mu}^{\phi} = 70$ *мкм*.

В таблице 3 представлены результаты проведения численного эксперимента для частиц $D_{\mu}^{\phi} = 10$ *мкм*.

Таблица 3. Численный эксперимент.

Время фильтрации (м)	$D_{\mu}^{\text{В}}$ (мкм)	D_{μ} (распределение на фильтре)	D_{σ} (распределение на фильтре)
Без выкрашивания		6,7447	2,432
300	30	10,262	2,8706
300	50	9,7052	2,9727
300	80	13,06	3,3407
Без выкрашивания		6,5233	2,4116
600	30	8,997	2,8115
600	50	8,539	2,8617
600	80	8,2049	2,8667
Без выкрашивания		6,1544	2,3705
6000	30	6,5376	2,4744
6000	50	6,4448	2,4674
6000	80	6,3911	2,4597
Без выкрашивания		6,6465	2,2867
6000	100	6,7187	2,3204
6000	120	6,7146	2,3195

При фильтрации в 300 минут при любых $D_{\mu}^{\text{В}}$ выкрашивание видно по средним параметрам. D_{μ} изменяется в 2 раза, а D_{σ} в 1,5 раза. При фильтрации в 600 минут D_{μ} не сильно меняется, а D_{σ} практически не изменилась. При фильтрации в 6000 минут D_{μ} и D_{σ} практически не изменилась, т.е. базовое выкрашивание не видно.

Подберем массу выкрашивания так, чтобы дисперсия выкрашивания значимо отличалась от дисперсии без выкрашивания. Для сравнения двух случайных величин (отношения дисперсий) используем критерий Фишера. Уровень значимости зададим 0,05.

Проведем численные эксперименты. Начальные данные:

1) сгенерированной пробы. Массовая доля 0,1 *г/т*, объем масла 40 *л*, $\rho_{м} = 0.98 г/см^3$, частицы износа состоят из железа (Fe, $\rho = 7.87 г/см^3$), $D_{\mu} = 7 мкм$,

$D_\sigma = 2.5 мкм$, $D_\mu^ф = 15$ *мкм*, $D_\sigma^ф = 5 мкм$. Скорость фильтрации 40 л/м, время фильтрации 600, 3000 и 6000 м.

2) источника и стока частиц. Скорость поступления частиц износа 0,34 г/м, скорость потери объема масла 16 мл/м.

3) выкрашивания: $D_\mu^в$ = 80, 100, 150 и 200 *мкм*, $D_\sigma^в$= 2,5 *мкм*, цикл выброса 300, 1500 и 3000 соответственно времени фильтрации.

В таблице 4 приведены результаты численного эксперимента, когда значение критерия Фишера было больше уровня значимости 0,05, следовательно, различие можно считать существенным.

Таблица 4. Численный эксперимент.

Время фильтрации (м)	$D_\mu^в$ (мкм)	Масса выкрашивания (мкг)	Количество частиц (распределение на фильтре)	D_σ (распределение на фильтре)
600	0	0	140 418	1,8434
	80	172 000	179 898	2,5716
	100	172 000	172 685	2,5725
	150	178 000	165 348	2,5732
	200	184 000	162 140	2,5722
3000	0	0	585 802	1,9762
	80	673 000	737 893	2,7569
	100	677 000	712 564	2,7572
	150	710 000	684 908	2,7586
	200	741 000	672 991	2,7576
6000	0	0	1 166 524	2,0301
	80	1 312 000	1 465 293	2,8337
	100	1 329 000	1 413 460	2,8321
	150	1 395 000	1 360 765	2,8327
	200	1 458 000	1 337 826	2,8321

Модель и численные эксперименты показали:

1) при фильтрации 600 м и размере частиц от 80 до 200 мкм, выброс частиц износа крупных фракций будет видно при массе выкрашивания от 172 000 до 184 000 мкг;
2) при фильтрации 3000 м и размере частиц от 80 до 200 мкм, выброс частиц износа крупных фракций будет видно при массе выкрашивания от 673 000 до 741 000 мкг;
3) при фильтрации 6000 м и размере частиц от 80 до 200 мкм, выброс частиц износа крупных фракций будет видно при массе выкрашивания от 1 312 000 до 1 458 000 мкг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методом статистического моделирования показано, что при типичных параметрах фильтра, массовая доля металлической примеси падает на порядок за характерное время порядка 10 мин. Следовательно, в пробах масла за время полета не будет содержаться информация о частицах выкрашивания, которые осядут на фильтре.

2. Показано, что наличие фильтра в системе вносит систематическую погрешность в массовую долю металлической примеси, не зависимо от применяемого прибора для ее измерения. Причем данная погрешность будет зависеть от параметров частиц износа и соответственно никак не может быть учтена априори. Таким образом, массовая доля металлической примеси не может служить диагностическим параметром технического состояния двигателя, особенно в случае интенсивного развития дефекта.

3. Показано, что небольшое выкрашивание может быть не заметно в пробах масла при техническом обслуживании. Самая высокая вероятность заметить выброс частиц износа крупных фракций при проверке пробы масла через 10 часов полета самолета.

4. Дальнейшее усовершенствование модели предполагается ввести в модель примеси различных металлов, чтобы промоделировать изменение рейтинговых параметров при различных типах изнашивания.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ с использованием результатов работ, выполненных в рамках Федеральной целевой программы «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России 2014-2020 годы» по теме «Разработка и создание программно-аппаратного СВЧ плазменного комплекса для мониторинга, контроля и безопасной эксплуатации маслосистемы двигателей наземного и воздушного назначений». Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57718X0289.

Список использованных источников:

1. Дроков В.Г, Дроков В.Вл., Казмиров А.Д., Ходунаев А.Ю. Моделирование процессов фильтрации металлической дискретной примеси в маслосистеме ГТД методом Моенте-Карло // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. №27. С. 96-108.
2. Далецкий С.В., Далецкий С.С. формирование периодичности регламентных работ воздушных судов гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2014. №6. С. 36-42.
3. Степанов В.А. Разработка и исследование методов и средств комплексной диагностики смазываемых узлов ГТД по параметрам продуктов износа в масле // Автореф. дис. на соиск. уч. степ. доктора тех. наук. М. 2000. С.40.
4. Двигатель ПС-90А. Анализ статистики и диагностические признаки дефектов роликоподшипника ТВД // Техн. справка №34686. Пермь. 1999. 32 с.
5. Dempsey, P. J. Investigation of gear and bearing fatigue damage using debris particle distributions: тех. отч. / P. J. Dempsey, D. G. Lewicki, H. J. Decker; NATIONAL AERONAUTICS; SPACE ADMINISTRATION CLEVELAND OH GLENN RESEARCH CENTER. — 2004.

6. Roylance, B. The morphological attributes of wear particles—their role in identifying wear mechanisms / B. Roylance, S. Raadnui // Wear. — 1994. — Т. 175, № 1/2. — С. 115—121.
7. Prototype instruments built for PRAM / G. Humphrey [и др.] // Proc. 2002 JOAP International Condition Monitoring Conference, Humphrey, G., ed., JOAP-TSC, Pensacola, FL. — 2002.
8. Степанов В.А. Особенности диагностирования усталостного выкрашивания поверхностей трения подшипников качения и зубчатых передач ГТД // Смазка машин и механизмов. 2002. №2. С. 35-41

УДК 621.9.02

Снижение трудоемкости балансировки инструментальных наладок для высокоскоростного фрезерования высокопрочных алюминиевых сплавов

А.Ю. Николаев

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

Представлена методика балансировки, благодаря которой сокращается время на подготовку инструмента. Исследования базируются на научных основах технологии машиностроения и резания материалов, математического моделирования и экспериментов. Экспериментальные данные получены путем обработки высокопрочных алюминиевых сплавов на 5-и координатном обрабатывающем центре HSC 75V linear. Проводились измерения на приборах: контактный профилометр Taylor Hobson Form Talysurf i200, балансировочная машина Haimer TD2009 Comfort Plus, динамометрический комплекс Kistler 9253B23, программный комплекс для модального анализа, устройство для измерения и контроля геометрических параметров инструмента Zoller Genius 3. Целью работы является повышение эффективности процесса подготовки производства при высокоскоростном фрезеровании деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов, за счет снижения трудоемкости балансировки инструментальных наладок с обеспечением заданной шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Ключевые слова: *балансировка, инструментальная наладка, режимы резания, высокоскоростное фрезерование, чистовое фрезерование, шероховатость поверхности.*

Николаев Андрей Юрьевич, младший научный сотрудник кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: andrnikolajev@gmail.ru

Под инструментальной наладкой понимается оснастка, состоящая из базового держателя, переходников, удлинителей, держателей инструмента, металлорежущего инструмента, собранная и настроенная в соответствии с технологическим процессом и предназначенная для использования на высокопроизводительном оборудовании.

Балансировка инструмента представляет собой процесс устранения дисбаланса, применяющийся для минимизации вредного влияния динамических нагрузок, действующих на опоры быстровращающихся деталей машин в результате их неуравновешенности.

Учет влияния остаточного дисбаланса инструментальной наладки на шероховатость обрабатываемой поверхности при концевом фрезеровании способствует повышению производительности, снижению себестоимости изделий, обеспечивает стабильную работу технологической системы без снижения стойкости инструмента и ресурса станка. Анализ публикаций по данной тематике показал, что обеспечение наилучшего качества поверхности с сохранением высокой производительности процесса обработки возможно, в том числе, с применением методов математического моделирования. Проблеме оптимизации процессов механообработки посвящены работы [1-3], в которых, однако, не учитывается дисбаланс инструментальных наладок, особенности используемых инструментальных систем и состояние системы в целом. В работах [4,5] авторами исследуется процесс фрезерования с применением концевого твердосплавного инструмента. В ряде публикаций, посвященных исследованию металлорежущего инструмента, рассматривается изменение состояния материала инструмента при фрезеровании [6-8].

Рекомендации зарубежных компаний – производителей шпинделей металлорежущих станков по обеспечению определённых классов балансировки инструментальных наладок в ряде случаев являются необоснованными, что приводит к увеличению затрат на подготовку производства. Указанные рекомендации базируются на стандартах, регламентирующих балансировку жёстких роторов, что не позволяет установить связь результатов балансировки с технологическими задачами получения заданной шероховатости поверхности деталей.

Решение обозначенных проблем и, следовательно, снижение затрат на подготовку производства при обеспечении требуемого качества изделий возможно за счет использования разработанной методики по балансировке инструментальных наладок, которая базируется на объективных результатах исследований влияния остаточного дисбаланса на шероховатость поверхности при высокоскоростном фрезеровании [9].

Использование полученных результатов позволяет снизить трудоемкость работ по подготовке инструментальных наладок с одновременным обеспече-

нием заданной шероховатости поверхности деталей без снижения производительности процесса фрезерования, стойкости инструмента и ресурса дорогостоящего оборудования.

Результаты работы применимы для подготовки инструментальных наладок, используемых при скоростном фрезеровании на высокопроизводительных станках с числовым программным управлением, а именно для проведения процесса балансировки инструментальной наладки вне станка.

Экспериментальные данные, которые явились основой для разработки методики балансировки, были получены с помощью 5-и координатного обрабатывающего центра HSC 75V linear при обработке высокопрочных алюминиевых сплавов. Методика проведения экспериментальных исследований, а также их результаты подробно описаны в работах [9,10]. Обобщенные результаты представлены на рисунке 1.

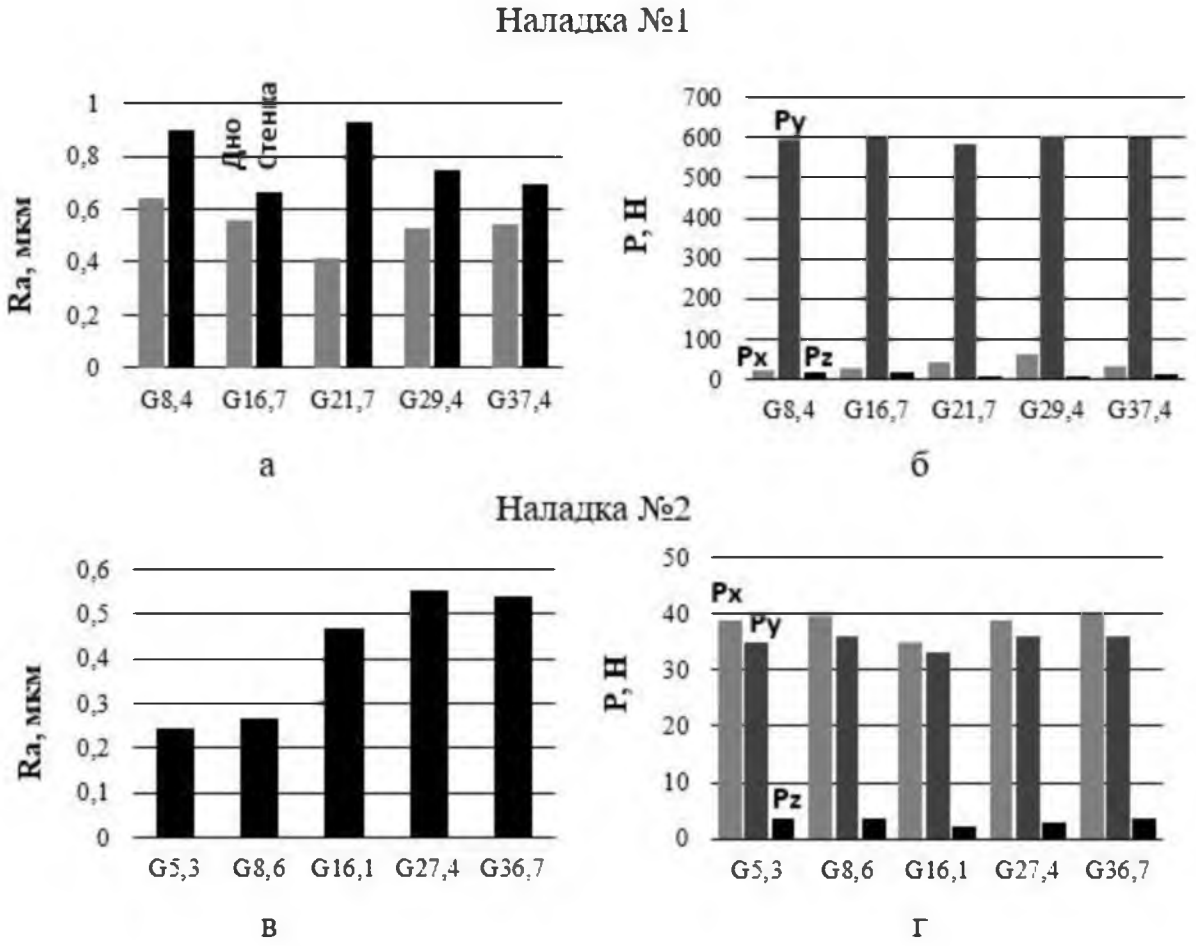


Рис. 1. Обобщенные результаты исследований: а, в – зависимость шероховатости Ra обрабатываемой поверхности от точности балансировки инструментальной наладки; б, г – зависимость сил резания от точности балансировки инструментальной наладки

Наладка №1 – корпусная фреза со сменными твердосплавными пластинами. Инструментальная наладка включает в себя элементы системы Capto C5: базовый держатель C5 для инструментального конуса HSK-63A с втулкой

для внутреннего подвода СОЖ и фрезу R790-032C5S2-16M со сменными твердосплавными пластинами R790-160408PH-NM H13A.

Наладка №2 – модульная инструментальная оснастка базе гидромеханического адаптера с цельной твердосплавной концевой фрезой. Инструментальная наладка включает в себя элементы системы Capto C5: базовый держатель C5 для инструментального конуса HSK-63A с втулкой для внутреннего подвода СОЖ и адаптер HydroGrip, а также цангу 20-16 и цельную твердосплавную фрезу AZ-3D16R6L65. Инструмент представляет собой цельную концевую трехзубую фрезу из твердого сплава группы обрабатываемости K40 по ISO диаметром 16 мм.

Для наладки №1 дисбаланс варьировался при помощи балансировочных колец. Для наладки №2 дисбаланс варьировался разрушающим методом – «высверливанием».

Сборная трехзубая фреза R790-032 показала стабильную работу на режимах, рекомендованных модальным анализом. На рассмотренном диапазоне классов балансировки инструментальной наладки не было зафиксировано вибраций значительной амплитуды. Инструмент обладает высокой жесткостью и не нуждается в дополнительной балансировке после сборки.

Цельная твердосплавная трехзубая фреза AZ-3D16R6L65 показала стабильную работу на режимах, рекомендованных модальным анализом. На рассмотренном диапазоне классов балансировки инструментальной наладки были зафиксированы вибрации постоянной амплитуды.

С увеличением остаточного дисбаланса в пределах от 0,8 до 55,1 гмм шероховатость обработанных поверхностей изменялась в диапазоне 0,42 – 0,56 мкм. Даже при минимальном качестве балансировки качество поверхности соответствовало поверхности после чистового фрезерования

Серьезное влияние на качество балансировки до классов выше G5.0 оказывает чистота посадочных поверхностей наладки и адаптера и инструментальной наладки в целом. Любое загрязнение, будь то капли оставшегося масла, сочащиеся из дюз патрона или не полностью удаленная стружка после высверливания избыточной массы, или другие источники загрязнения, например капли СОЖ, может сыграть при балансировке роль дополнительной массы и привести к неверной интерпретации состояния инструментальной наладки балансировочной машиной. Поэтому необходимо постоянно следить за чистотой всей вовлеченной в процесс балансировки оснастки.

Система крепления инструмента должна обеспечивать максимальную точность, жёсткость. Для зажима вращающегося инструмента с цилиндрическим хвостовиком должны использоваться патроны, технические параметры которых отвечают требованиям высокоскоростной обработки. К основным параметрам патронов относятся длина зажима, усилие зажима и допуск на цилиндричность. Учитывая необходимость использования высокоточной инструментальной оснастки с радиальным биением в пределах 0,006 мм и хвостовиком под h6, рекомендуется использовать интерфейсы по типу HSK-A/E/F.

Указанным требованиям отвечают гидропластовые, гидрамеханические, термоусадочные зажимные патроны, также допускается использование их в составе модульной инструментальной оснастки под систему capto [11]. Перед балансировкой каждый элемент оснастки должен быть проверен на отсутствие механических повреждений, а также загрязнений способных повлиять на результаты измерения точности балансировки (капли масла, не полностью удаленная стружка или другие источники загрязнения).

Нормируемым параметром при балансировке должна являться непосредственно величина дисбаланса U, г×мм. Следует избегать сопоставления величины дисбаланса с классами балансировки по ISO 1940-1, поскольку масса инструмента не оказывает влияние на динамические нагрузки несбалансированной инструментальной наладки. В противном случае, необходимо учитывать, что при раздельной балансировке шпинделя обрабатывающего центра и инструментальной наладки погрешности посадки обуславливают стабильно повторяющийся дисбаланс системы, специфический для конкретного инструментального интерфейса.

Требования, необходимо рассчитывать исходя из обусловленных дисбалансом инструментальной наладки нагрузок на подшипниковые опоры шпинделя, а также таким образом, чтобы вибрации инструмента, остаточным дисбалансом наладки в составе шпинделя не оказывали значительного влияния на процесс резания. Тем самым при выставлении допусков на балансировку следует также учитывать тип обработки (рисунок 2), особенности инструментального интерфейса (таблица 1).

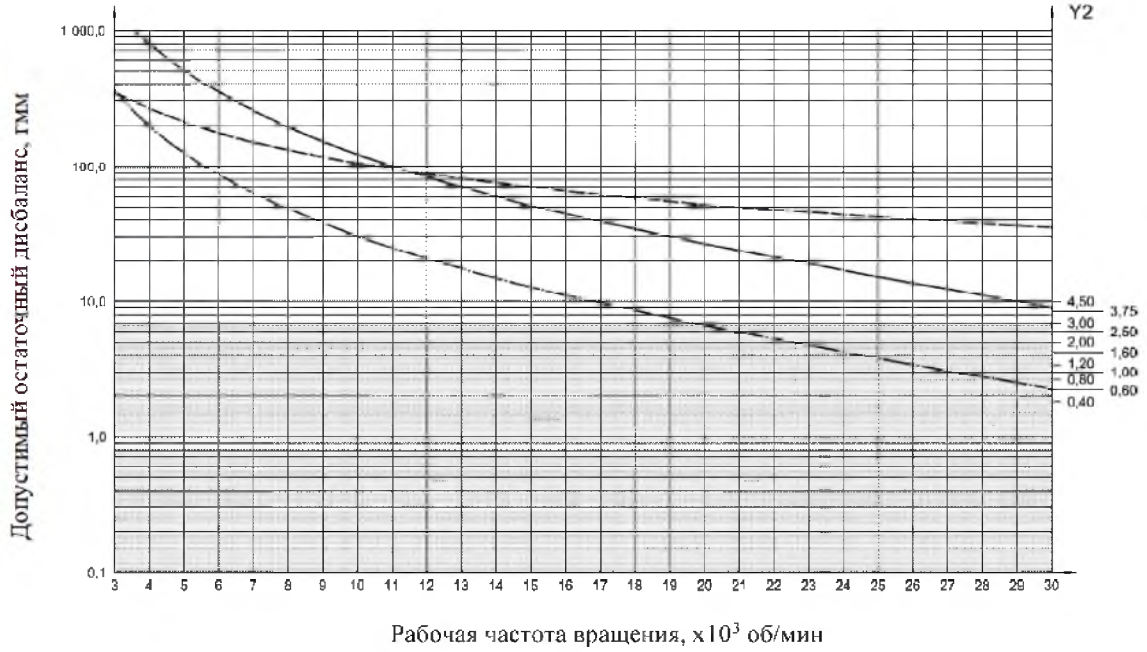


Рисунок 2 – Допустимый остаточный дисбаланс наладки на базе инструментальной системы HSK63

Серая область внизу диаграммы – это качество балансировки, которое нецелесообразно либо недостижимо для данного инструментального интерфейса. Сплошной линией показано качество балансировки, рекомендуемое для получистовой обработки, штрихпунктирной – для чистовой обработки, пунктирной – для черновой обработки [12]. Инструмент с интерфейсом HSK63 и массой 1 кг для получистовой обработки на 23000 об/мин может иметь остаточный дисбаланс 11 г×мм. Минимально целесообразный дисбаланс для такого инструмента составляет 7 г×мм.

Таблица 1 – Характеристики инструментальных интерфейсов HSK

Параметр	HSK32	HSK40	HSK50	HSK63	HSK80
C_{dyn}, Н	8800	12200	17600	25000	30000
a_M, мм	25	35	45	60	60
b, мм	200	230	300	415	650
e_{HSK}, мкм	2	2	2	2	3

В таблице a и b – ориентировочные расстояния от торца шпинделя до подшипниковых опор, C_{dyn} – усилие зажима патрона в шпинделе.

При выборе метода устранения дисбаланса следует в приоритете должен стоять неразрушающий метод балансировки (балансировка кольцами или винтами) за исключением тех случаев, когда мы ограничены конструктивными особенностями оснастки. Применения внешних балансиров, балансировочных противовесов и магнитов свыше 8000 об/мин не допустимо. При скорости $V_C < 1000$ м/мин балансировка может быть проведена в 1 плоскости (статическая балансировка). Если вылет инструментальной наладки превышает 2,2 базовых диаметра инструментального конуса $L \geq D_B \cdot 2{,}2$, то необходимо производить динамическую балансировку в двух плоскостях. Так для HSK63 условие выглядит следующим образом:

$$L_{HSK63} \geq 63 \cdot 2{,}2 = 138{,}6 \text{ мм.}$$

Методика балансировки, разработанная на основе технологических рекомендаций по балансировке инструментальных наладок, позволяющих обеспечить заданную шероховатость поверхности, сокращает время на подготовку инструмента в 2-3 раза. Использование полученных результатов позволит снизить трудоемкость работ по подготовке инструментальных наладок с одновременным обеспечением заданной шероховатости поверхности деталей без снижения производительности процесса фрезерования, стойкости инструмента и ресурса дорогостоящего оборудования.

Чрезмерно ужесточенным требованиям приводит к высоким затратам на подготовку производства. При средней продолжительности процесса балансировки в 10 минут время проведения операций для соблюдения требования дисбаланса в 1 гмм может возрастать до 2,5-3 раз. А с учетом эксцентриситета шпинделей станков е = 2,5 мкм, достижение подобных требований не име-

ет смысла. В случаях, требующих проверки качества балансировки инструментальной наладки, следует руководствоваться требованиями стандарта DIN 69888 взамен действующего ISO 1940-1. Действующий же стандарт ISO 1940-1 в практике механообработки рекомендуется использовать только для балансировки инструментальных наладок в составе шпинделя станка.

Список использованной литературы:

1. Савилов А.В., Пятых А.С., Тимофеев С.А. Современные методы оптимизации высокопроизводительного фрезерования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6–2. С. 476–479.

2. 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.

3. Бакшеева Е.Н., Беломестных А.С. Исследование шероховатости деталей после обработки на робототехническом комплексе/Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции «Авиамашиностроения и транспорт Сибири» - Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. с 124-128

4. Bobyr M., Luneva M., Yakushev A. An algorithm for controlling of cutting speed based on soft calculations. MATEC Web of Conference. V. 129 (2017) DOI:10.1051/matecconf/201712901064

5. Voronov S.A., Kiselev I.A. Cutting process modeling geometric algorithm 3MZBL: Algorithm of surface modification and instantaneous chip thickness determination // Engineering Journal: Science and Innovation. 2012. No. 6. P. 70–83. DOI: 10.18698/2308-6033-2012-6-261

6. Serebrennikova A.G., Nikolaeva E.P., Savilov A.V., Timofeev S.A., Pyatyh A.S. Research Results Of Stress-Strain State Of Cutting Tool When Aviation Materials Turning. IOP Conf. Series: Journal of Physics: V. 944 (2018) DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012104 Information on http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/944/1/012104/meta

7. Nikolaeva E.P., Vlasov D.B. Effect of heat treatment conditions on structure and properties of high-speed steel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. V. 177 (2017) DOI:10.1088/1757-899X/177/1/012113 EID: 2-s2.0-85016178504

8. 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.

9. Николаев А.Ю. Влияние дисбаланса инструментальных наладок на качество обработанной поверхности при концевом фрезеровании. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019;23(4):699–709. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-4-699-709

10. Савилов А.В., Николаев Д.Ю., Николаев А.Ю. Исследование влияния дисбаланса инструментальных наладок на выходные показатели фрезе-

рования / /Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7 (102). С. 81–91.

11. Пятых А.С. Исследование зажимных патронов для сверления точных отверстий // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 4 (32). С. 70–74. DOI: 10.18324/2077- 5415-2016-4-70-74

12. DIN 69888:2008-09. Auswuchtsanforderungen an rotierende Werkzeugsysteme. 2008. 37 pp.

УДК 621.865.8

Экспериментальное исследование кинематики промышленного робота KUKA KR210 R2700

С.Б. Прокофьев, А.С. Беломестных, В.П. Чапышев

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

В статье проанализированы скорость и ускорение промышленного робота при помощи высокоскоростной камеры. Выявлены погрешности кинематики робота KUKA KR210 R2700, колебания скорости при движении. Сформулированы рекомендации по назначению скорости движения манипулятора.

Ключевые слова: *промышленный робот, робототехнический комплекс, видеофиксация данных, кинематика промышленного робота.*

Прокофьев Сергей Борисович, аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: mlprok@mail.ru

Беломестных Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: berkut1@mail.ru

Чапышев Александр Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: chapyshev_ap@irkut.ru

Одной из важнейших проблем внедрения промышленных роботов (ПР) в современное производство являются потеря точности, качества, производительности и надежности технологических процессов, как результат не полного учета особенностей манипулятора и других компонентов, входящих в состав робототехнических комплексов (РТК).

На кафедре технологии и оборудования машиностроительных производств ИРНИТУ в лаборатории промышленной робототехники спроектирован и запущен в эксплуатацию РТК обработки кромок деталей на базе промышленного робота KUKA KR210 R2700 [1,2]. РТК представляет собой семиосевой комплекс, оснащенный высокоскоростным шпинделем «RC90», системой силомоментного шестикомпонентного очувствления «Force Torque Control», лазерным треккером «SICK», системой фильтрации шумов. РТК позволяет реализовывать линейные скорости до 2 м/с, угловые скорости по степеням подвижности: A1=105, A2=107, A3=114, A4=136, A5=129, A6=206 градус/с. Однако в процессе внедренческой деятельности выявлены значи-

тельные погрешности обработки, включающие в себя зарезы, недофрезерование, низкую стабильность обработки [3-7]. Для устранения данных эффектов приходится снижать программируемые скорости и ускорения, что негативно влияет на производительность и экономическую эффективность РТК. В связи с выявленными проблемами актуализируется необходимость исследования кинематических особенностей ПР.

Задачи данного исследования – анализ участков разгона, торможения, установившегося движения при различных скоростях, оценка особенностей программных перемещений ПР, проверка на наличие отклонений от заданной траектории и колебательности перемещения робота.

Для фиксации перемещения манипулятора использована высокоскоростная камера Photon 7-11 (поз. 1, рис.1), ПК (поз. 2, рис.1) с программой «Photon Camera Control» (позволяет захватывать движущийся объект, определять его скорость и ускорение), лазерный треккер «SICK», а также светоотражатель белого цвета (поз. 4, рис.1).

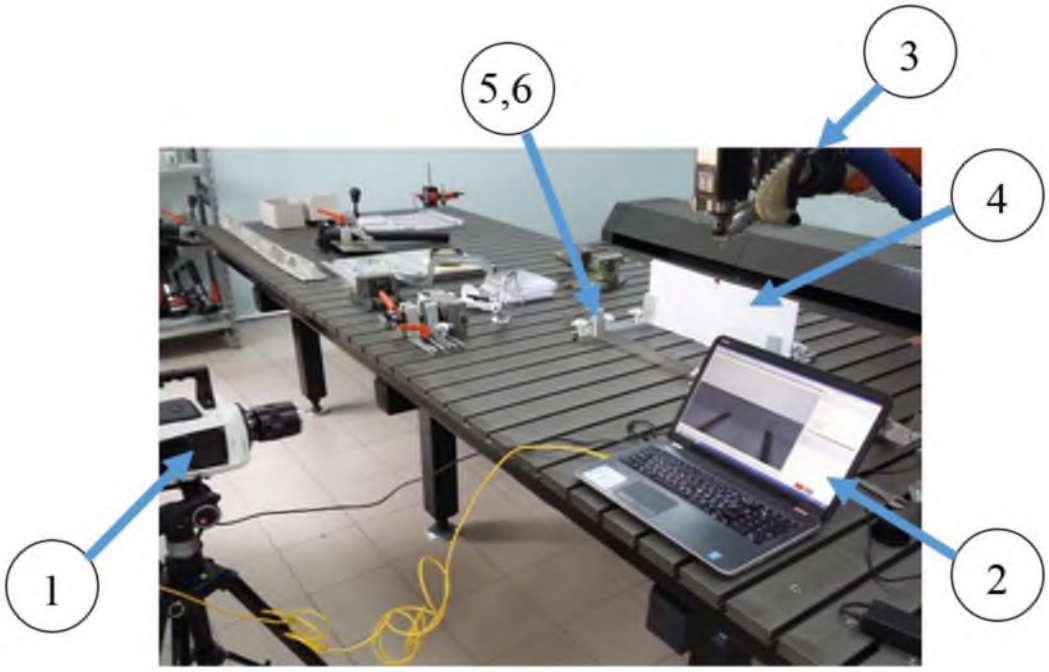


Рис.1. Экспериментальная установка.

Для этого эксперимента была выбрана конфигурация робота в среднем положении относительно рабочего стола. Измерительная линейка крепилась в зажимах вдоль оси X. За линейкой крепился светоотражатель таким образом, чтоб в обзор камеры не попадали части стола и робота на заднем фоне. Скорость съёмки 800 кадров в секунду (период T=0,00125с). Осуществлялась запись линейной траектории движения робота (200 мм) со скоростью: 0.2 м/с, 0.5м/с, 1 м/с.

После фиксации и обработки полученных результатов движения получены диаграммы мгновенных скоростей в заданном временном интервале (рисунок 2).

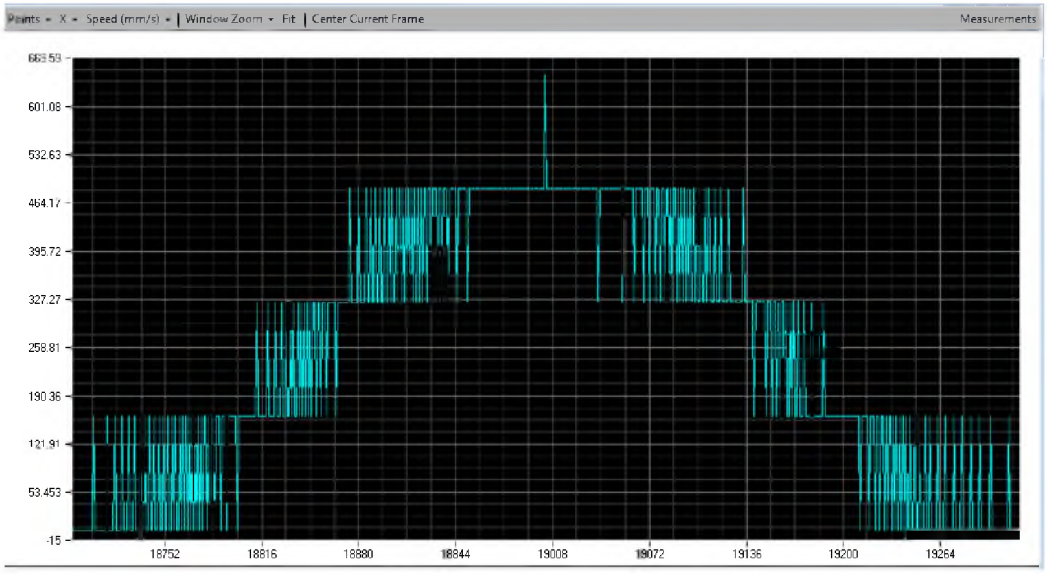


Рис.2. Диаграмма мгновенных скоростей при заданной скорости движения робота 0,5м/с.

Как следует из диаграммы, процесс изменения скорости имеет ступенчатый характер с квантованием по уровню и времени. Для каждого эксперимента получен большой массив данных, поэтому для наглядности и возможности эффективного анализа полученных результатов осуществлена низкочастотная фильтрация. Результаты представлены в виде зависимостей скорости от времени с шагом 0,025с (вместо 0,00125с) на рис. 3-6.

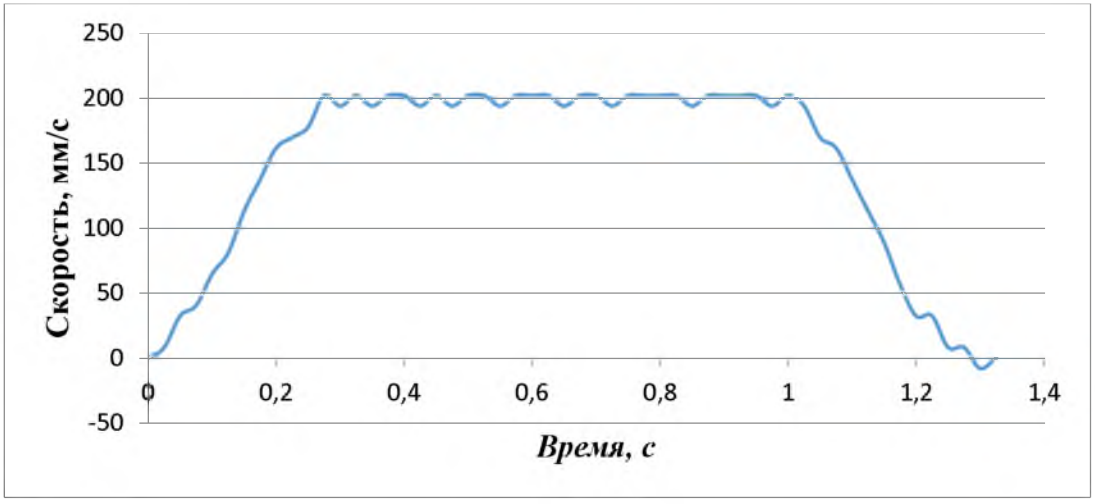


Рис.3. Изменение скорости движения ПР от времени для программной скорости 0,2 м/с

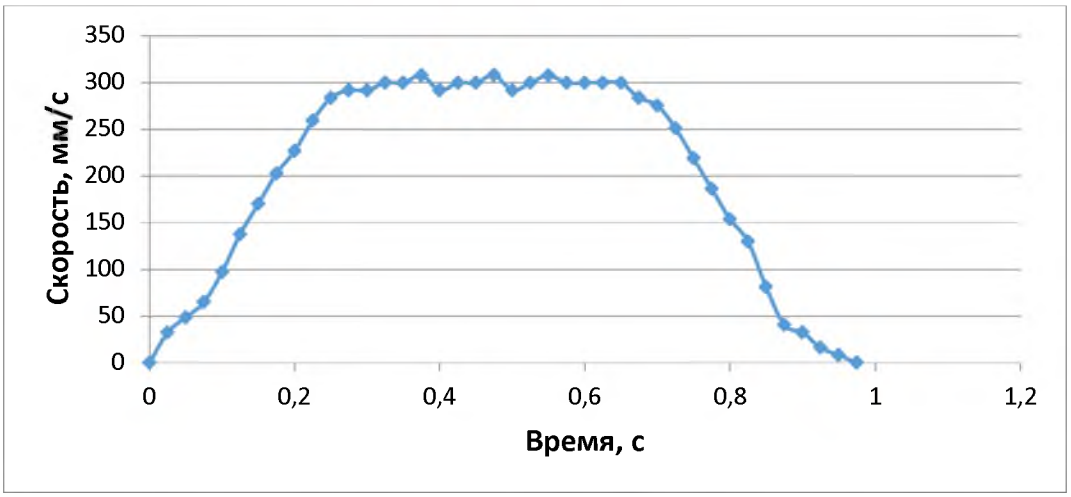


Рис.4. Изменение скорости движения ПР от времени для программной скорости 0,3 м/с

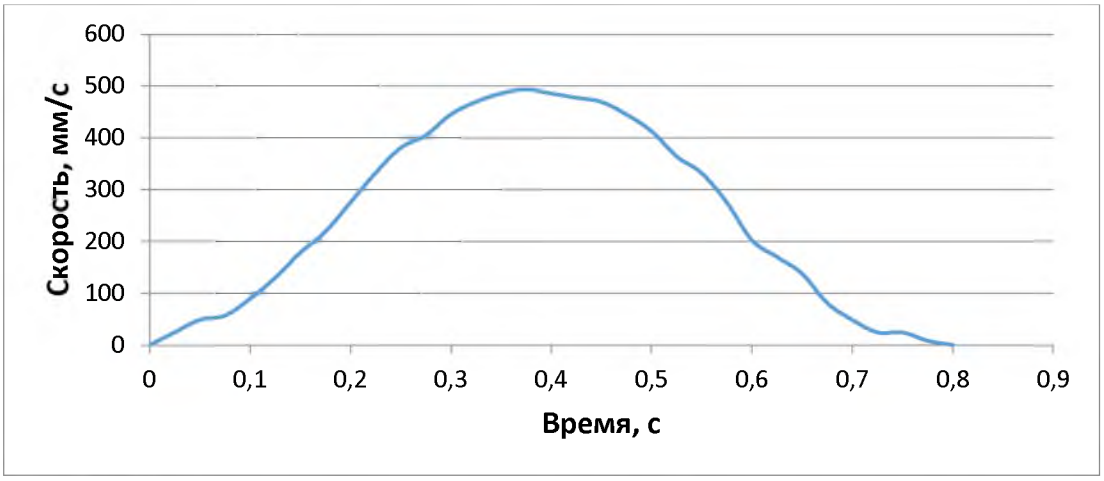


Рис.5. Изменение скорости движения ПР от времени для программной скорости 0,5 м/с

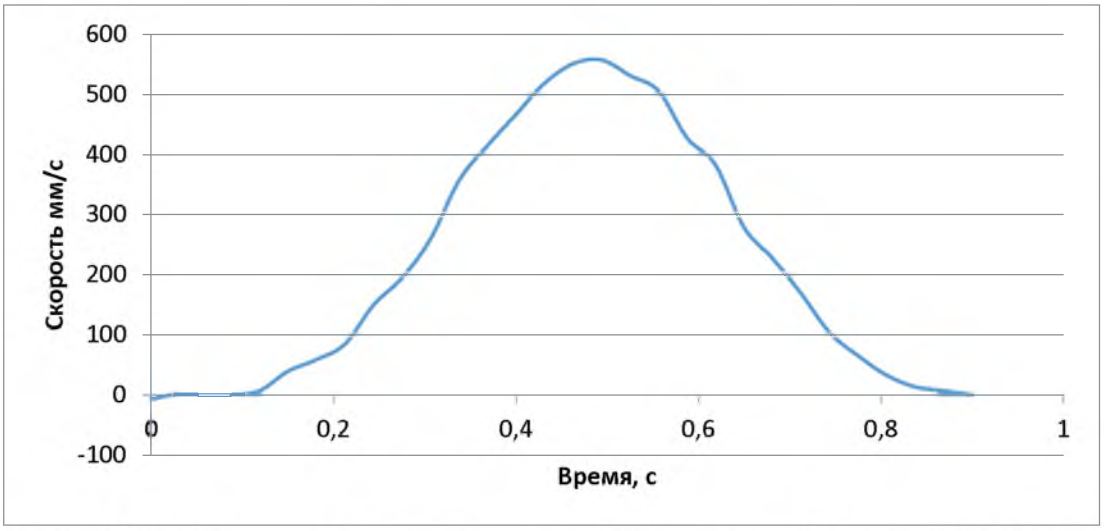


Рис. 6. Изменение скорости движения ПР от времени для программной скорости 1 м/с

Полученные экспериментальные зависимости позволяют точно определить границы и продолжительность участков разгона и торможения промышленного робота. На установившемся участке для скоростей 0,2 м/с и 0,3 м/с наблюдаются колебания скорости перемещения робота. При программной уставке скорости 0,2 м/с амплитуда колебаний достигла значения 0,0084 м/с (4% от заданной скорости). При уставке 0,3 м/с амплитуда колебаний скорости составила 0,0162 м/с (5,3% от заданной скорости). При скоростях 0,5 и 1 м/с целевое значение скорости не было достигнуто. Полученные кинематические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики кинематики движения

Скорость движения, м/с	0,2	0,5	1
Время разгона, с	0,275	0,318	0,366
Время торможения, с	0,275	0,318	0,334
Задержка, с	0,121	0,128	0,13
Ускорение разгона, м/с^2	0,815	1,382	1,539
Ускорение торможения, м/с^2	-0,827	-1,40	-1,635
Средняя скорость движения, мм/с	199,4	485,33	—

Экспериментальные данные позволяют назначать эффективную скорость ПР (величину подачи РТК фрезерования кромок). Для обеспечения требуемых показателей качества обработки: шероховатости, размера кромки, исключения зарезов, участков недофрезерования, а также стабильности обработки необходимо, чтобы участок установившегося движения существенно превышал участки разгона и торможения.

На рисунках 8, 9 представлены рассчитанные линии тренда ускорения разгона и торможения.

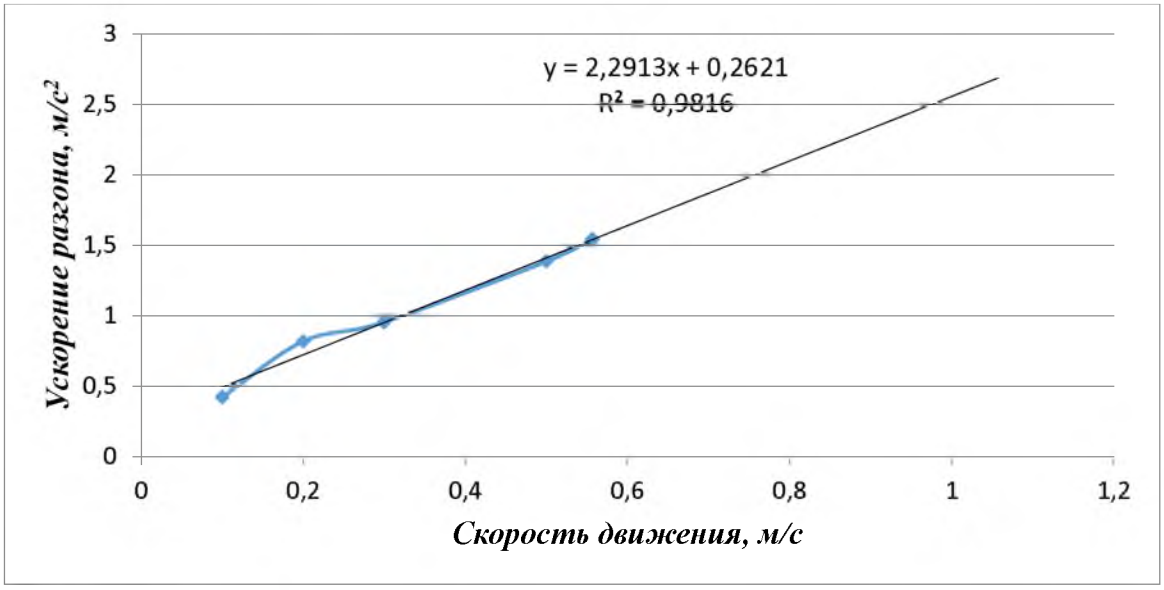


Рис. 7. Диаграмма зависимости ускорения разгона от уставки скорости

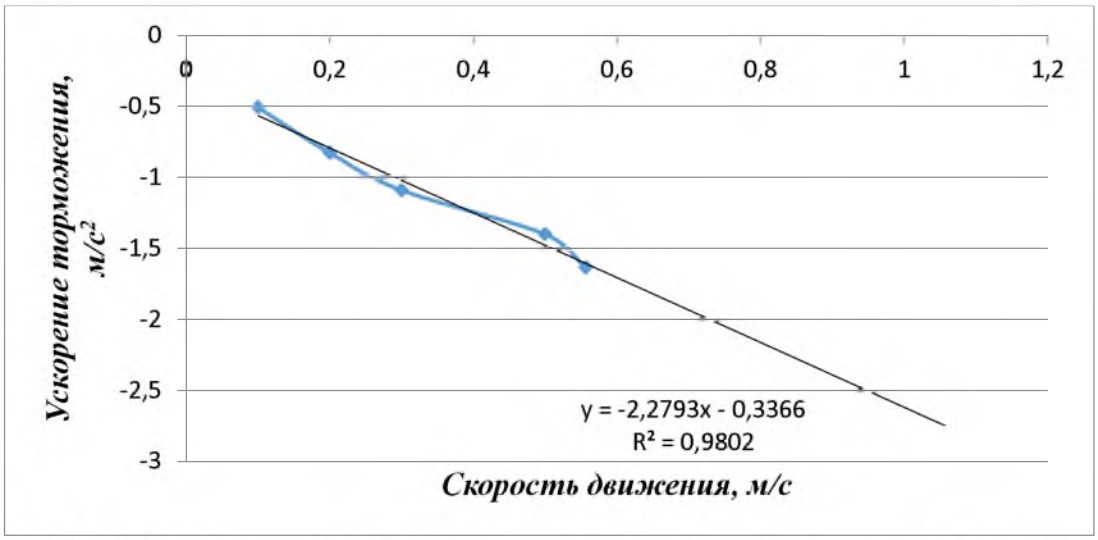


Рис. 8. Диаграмма зависимости ускорения торможения от уставки скорости

По линии трендов разгона и торможения составлены уравнения зависимости ускорений от программных скоростей:

A_1=2,29V+0,26 , достоверность аппроксимации R^2=0,9816;

A_2=-2,279V-0,3366, достоверность аппроксимации R^2=0,9802.

Условившись, что сумма путей разгона и торможения должна составлять не более 10% от длины рассматриваемого прямолинейного участка, составлено неравенство:

$$S\text{раз} + S\text{тр} \leq 0.1 * L \qquad (1)$$

где L – длина линейного участка, м; Sраз – длина разгона, м; Sтр – длина торможение, м.

Выразив время через отношение скорости к ускорению, получили формулу (2). После аппроксимации ускорения линейной функцией, получено неравенство (3).

$$\frac{V^2}{2a_{\text{раз}}} + \frac{V^2}{2a_{\text{тр}}} \leq 0.1 * L \qquad (2)$$

$$L \geq 5 * \left(\frac{V^2}{2{,}29V+0{,}26} + \frac{V^2}{-2{,}279V-0{,}3366}\right) \qquad (3)$$

Подставив скорости движения робота, получили рекомендованные длины линейных участков обрабатываемых изделий, как показано в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость рекомендуемой скорости ПР от длины линейного участка детали

Скорость, м/с	Длина, м
0,1	0,047
0,2	0,130
0,3	0,225
0,4	0,324
0,5	0,425

0,6	0,528
0,7	0,632
0,8	0,736
0,9	0,841
1	0,946

Полученные результаты исследования кинематики робота демонстрируют наличие существенных временных интервалов разгона и торможения, нестабильность установившегося движения ПР, что должно быть учтено при организации технологической подготовки операции фрезерования кромок на РТК.

Список использованных источников:

1. Alena Ivanova, Alexander Belomestnyh, Evgeniy Semenov, Boris Ponomarev. Manufacturing capability of the roboticcomplex machining edge details. International Journal of Engineering and Technology (IJET). Vol 7 No 5 Oct-Nov 2015, p. 1774- 1780.

2. E.N. Semyonov , A.V. Sidorova , A.E. Pashkov , A.S. Belomestnykh. Accuracy Assessment of Kuka KR210 R2700 Extra Industrial Robot. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol 16 No:1, p. 19-25.

3. Исследование влияния коэффициента усиления в канале управления скоростью движения робота на технологические свойства робототехнического комплекса механической обработки кромок деталей / А.С. Беломестных [и др.] // Вестник ИрГТУ. 2015, № 7. с. 39 – 47.

4. Земцов С.С., Прокофьев С.Б. Экспериментальное исследование жёсткости промышленного роботы KUKA KR210 R2700. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск. ИРНИТУ. 2016 с. 283- 287.

5. Исследование качества и стабильности операции фрезерования кромок на роботизированном комплексе. / Семенов Е.Н. // Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. с. 367 – 370

6. Анализ процесса врезания на операциях фрезерования кромок на робототехническом комплексе. / Бакшеева Е.Н., Беломестных А.С., Семенов Е.Н. // Сборник статей X Международной конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири». 2018, с.163 – 171.

7. Исследование шероховатости деталей после обработки на робототехническом комплексе. / Бакшеева Е.Н., Беломестных А.С. // Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. 2017, с. 124 – 128.

УДК 621.98.042

Моделирование единичного удара дроби о поверхность детали при параметрах дробеударного формобразования.

Ле Чи Винь, В.П. Кольцов, В.Б. Ракицкая, Нгуен Тхе Хоанг

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

В авиастроении для изготовления длинномерных панелей и обшивок успешно применяется технология дробеударной обработки как для формобразования так и для финишнего упрочнения [1-9]. Вследствие дробеударного воздействия на обрабатываемой поверхности образуется специфическая микрогеометрия, характерной особенностью которой являются многочисленные отпечатки дроби различного диаметра и глубины. Размер образованных после дробеударной обработки отпечатков (включая форму, площадь и глубину), их количество и распределение на единице площади обрабатываемой поверхности являются показателем качества обработки и зависят от множества факторов, включая режим обработки и свойство обрабатываемого материала.

Отпечатки дроби увеличивают шероховатость обрабатываемой поверхности, поэтому после дробеударного формообразвания следует зачистка поверхности лепестковым кругом для улучшения значений шероховатости путем частичного удаления следов воздействия дроби. Для оценки качества дробеударного формообразования в каченстве контрольного показателя применяется степень покрытия отпечатками дроби обрабатываемой поверхности в виде процентного соотношения суммарной площади отпечатков дроби к общей площади рассматриваемого участка обработки. Для назначения режимов последующей зачистки лепестковым кругом необходимо определить припуск на зачистку, который определяется значением максимальной глубины наибольшего отпечатка в пределах базовой площади обрабатываемой поверхности. Следовательно определение размера отпечатков при дробеударной обрабоке в зависимости от режима обработки и свойств обрабатываемого материала представляет научный и практический интерес.

В работе приведена методика создания математической модели для определения размера отпечатков при дробеударном формообразовании, а также моделирование и инженерный анализ дробеударного процесса методом конечных элементов.

Ключевые слова: *дробеударная обработка, дробеударное формообразование, зачистка лепестковым кругом, степень покрытия, отпечатки дроби, размер отпечатка, припуск на зачистку.*

Ле Чи Винь, к.т.н, доцент кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: vinh_istu@mail.ru;

Кольцов Владимир Петрович, д.т.н., профессор технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: kolcov@istu.edu;

Ракицкая Валентина Борисовна, старший преподаватель кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: rvb@istu.edu;

Нгуен Тхе Хоанг, магистрант кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств , e-mail: nguyenthehoang05091993@gmail.com

Для получения сложных криволинейных форм поверхностей панелей и обшивок, а также операций упрочнения широко применяется дробеударное формообразование и дробеударное упрочнение . Зачистка абразивным лепестковым кругом является обязательной частью технологического процесса формообразования длинномерных крупногабаритных поверхностей типа панель и обшивка. Она проводится с целью улучшения качества исходной поверхности, полученной после дробеударного формообразования. Степень покрытия отпечатками дроби обработанной поверхности и глубина наибольших отпечатков в являются важными параметрами, определяющими не только степеннь формообразования, но и величину припуска зачистки.

Аналитическое определение размеров отпечатка дроби при дробеударном формообразовании

Для исследования и определения размера отпечатка дроби на обрабатываемой поверхности при дробеударном формообразовании была построена модель удара сферической дробинки о поверхность металлической пластины.

На рис.1 представлена модель удара шара 2 радиусом R о поверхность пластины 1. Для упрощения расчетов, в модели приняты следующие допущения:

- Дробь шарообразная и абсолютно жесткая без деформации при ударе о поверхность пластины.
- Шероховатость поверхности панели и дроби не учитывается при определении глубины и площади отпечатка дроби на поверхности панели.
- Вследствие высокой скорости атаки и малого расстояния между поверхностью панели и дробеметного колеса дробеударной установки контактного типа, потери скорости не учитываются и она принимается равный окружной скорости дроби на выходе из дробеметного колеса.
- Благодаря незначительной высоте наплыва металла вокруг отпечатка после удара [6], размер отпечатка дроби определяется по исходной поверхности панели до удара дроби.

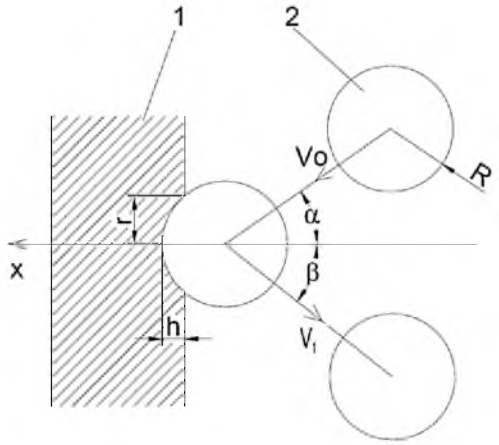


Рис.1. Модель удара дроби о поверхность панели, где: 1- панель, 2- шарообразная дробь, R- радиус дроби, r- радиус отпечатка дроби на поверхности панели, h- глубина отпечатка после удара, V_0- начальная скорость дроби до удара, V_1- скорость отскока дроби после удара, □□□угол атаки дроби по отношению нормали к поверхности панели, □□□ угол отскока дроби после удара по поверхности панели

По закону сохранения энергии, при выходе из дробеударной установки дробь обладает кинетической энергией, часть которой при ударе передается панели на деформацию, остальная заставляет дробь отскочить в обратную сторону. Уравнение энергетического баланса в данном случае можно выразить следующей формулой:

$$\frac{m.V_0^2}{2} \cdot cos^2\alpha - \frac{m.V_1^2}{2} \cdot cos^2\beta = \int_0^h F_{\text{сопр}}(x)dx\,, \qquad (1)$$

где: m – масса дроби, $F_{сопр}$ – сила сопротивления материала панели при внедрении дроби в её поверхность, h – глубина внедрения дроби. При этом масса дроби определяется следующей формулой:

$$m = \frac{4\pi R^3}{3}\rho\ , \qquad (2)$$

где: ρ – плотность материала дроби, а $\int_0^h F_{\text{сопр}}(x).dx$- работа силы сопротивления внедрения дроби на глубину h, при этом

$$\int_0^h F_{\text{сопр}}(x)dx = \int_0^h \sigma_{0,2}\,\pi r_x^2 dx\ , \qquad (3)$$

где $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала панели, r_x –радиус отпечатка при внедрении на x-ю величину.

С учетом отсутствия деформации дроби и абсолютной гладкой поверхности дроби и поверхности панели без учета наплыва металла вокруг отпечатка (рис. 2) функция радиуса отпечатка при внедрении дроби в панель определяется формулой (4):

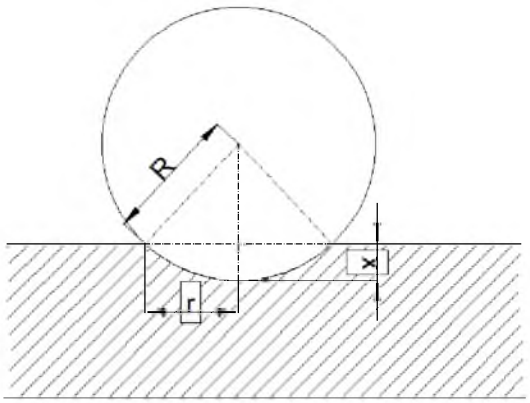


Рис.2. К определению глубины внедрения дроби

$$r^2(x) \quad = R^2 - (R - x)^2 \tag{4}$$

Подставляем (4) в (3) получаем

$$\int_0^h F_{\text{сопр}}(x)dx = \pi\sigma_{0,2}\int_0^h (R^2 - (R - x)^2)\,dx = \pi\sigma_{0,2}\int_0^h (2Rx - x^2)\,dx$$

$$= \pi\sigma_{0,2}(Rh^2 - \frac{1}{3}h^3)$$

Таким образом

$$\frac{mV_0^2}{2}cos^2\alpha - \frac{mV_1^2}{2}cos^2\beta = \pi\sigma_{0,2}(Rh^2 - \frac{1}{3}h^3) \tag{5}$$

или

$$\frac{2}{3}R^3\rho(V_0^2cos^2\alpha - V_1^2cos^2\beta) = \sigma_{0,2}(Rh^2 - \frac{1}{3}h^3)$$

То есть

$$h^3 - 3Rh^2 + \frac{2}{\sigma_{0,2}}R^3\rho(V_0^2cos^2\alpha - V_1^2cos^2\beta) = 0 \tag{6}$$

Учитывая, что отпечаток имеет сферическую форму, площадь отпечатка на поверхности панели можно определить следующей формулой:

$$S = \pi(2Rh - h^2) \tag{7}$$

Уравнение (6) может быть решенным при известной скорости и угле отскока дроби после удара.

Решая уравнение (6) находится значение глубины отпечатка в зависимости от начальной скорости удара, угла атаки дроби и свойств материала панели.

Определение размера отпечатков дроби на обрабатываемой поверхности при дробеударной обработке методом конечных элементов

Теоретическое определение фактических значений размера отпечатка дроби на поверхности панели при дробеударной обработке является сложной задачей, так как не вся кинетическая энергия дроби отдаётся на деформацию обрабатываемого материала, процесс восстановления отпечатка после отскока дроби происходит сложным образом в зависимости от свойств материала

панели, скорости удара, угла атаки, трения и скольжения дроби на поверхности панели и т.д.

В настоящее время существуют различные компьютерные программы моделирования и инженерного анализа, которые позволяют получить достаточно достоверные результаты при исследовании таких сложных динамических процессов как удар, которые учитывают большинство факторов, влияющих на конечные результаты.

Для решения поставленной задачи по определению фактической глубины и площади отпечатка дроби была использована программа моделирования и инженерного анализа Ansys модуль «Explicit Dynamics - явная динамика».

При исследовании были приняты следующие параметры модели: в качестве дроби был взят шарик с диаметрами, применяемыми для дробеударного формообразования авиационных панелей и обшивок (2,5; 3,5; 4,5мм). В качестве панели взята пластина 15*15*5 мм из алюминиевого сплава В-95Т.

На рис. 3 представлена конечно-элементная модель шарика и панели с размером сеток 0,25 мм.

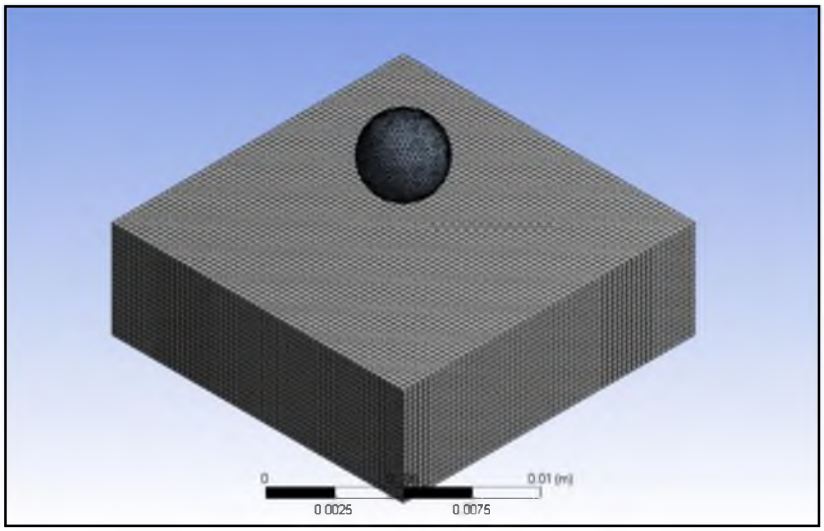


Рис.3. Конечно – элементная модель удара шарика по поверхность пластины

Начальная скорость движения шарика (скорость атаки), была направленна в общем случае под углом α к верхней поверхности пластины (см. рисунок 4). Значение скорости атаки шарика было задано в виде значений векторных скоростей $V_y = V\cos\alpha$ и $V_x = V\sin\alpha$ при $\alpha = 0 \div 12$ градусов (табл. 1).

Остальные исходные параметры для модели также представлены в табл.1.

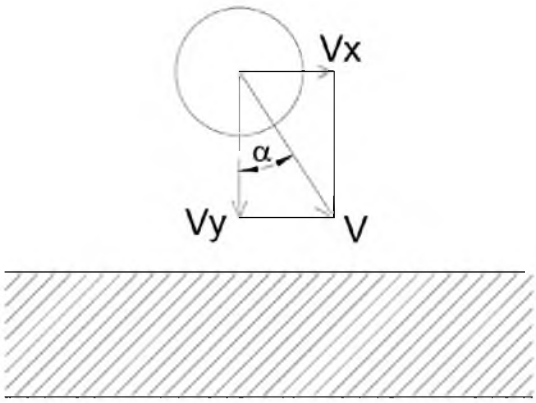


Рис. 4. Векторные скорости движения шарика

Таблица 1- Начальные скорости полета шарика

Частота вращения дробеметного колеса, об/мин	Радиус наружной поверхности дробемётного колеса, мм	Угол атаки дроби, град.	Скорость атаки дроби V_x, м/с	Скорость атаки дроби V_y, м/с
600	200	0	0	12.566
		6	1.314	12.497
		12	2.613	12.291
800		0	0	16.755
		6	1.751	16.663
		12	3.484	16.389
1000		0	0	20.944
		6	2.189	20.829
		12	4.355	20.486

На рис. 5 представлен типичный результат моделирования удара в разрезе через центр отпечатка. По результатам моделирования можно не сложно определить глубину и площадь отпечатков дроби.

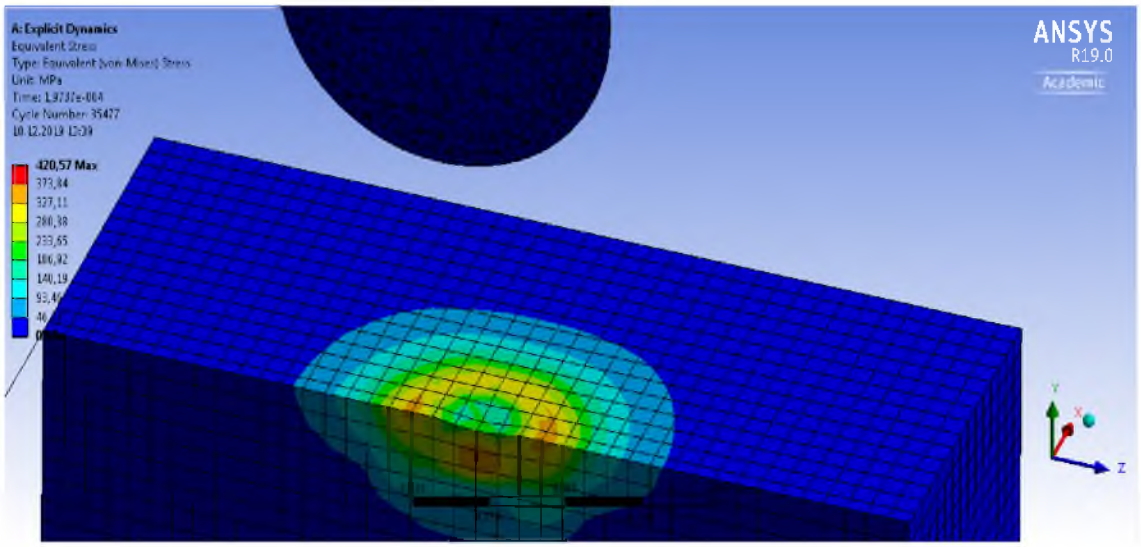


Рис.5. Напряженно-деформированное состояние панели после удара дроби

На рис. 6, 7 и 8 представлены зависимости глубины и площади отпечатков дроби от угла атака дроби по отношению нормали к поверхности панели при моделировании удара шарика диаметром 2,5, 3,5 и 4,5 соответственно (с точностью аппроксимации 100%).

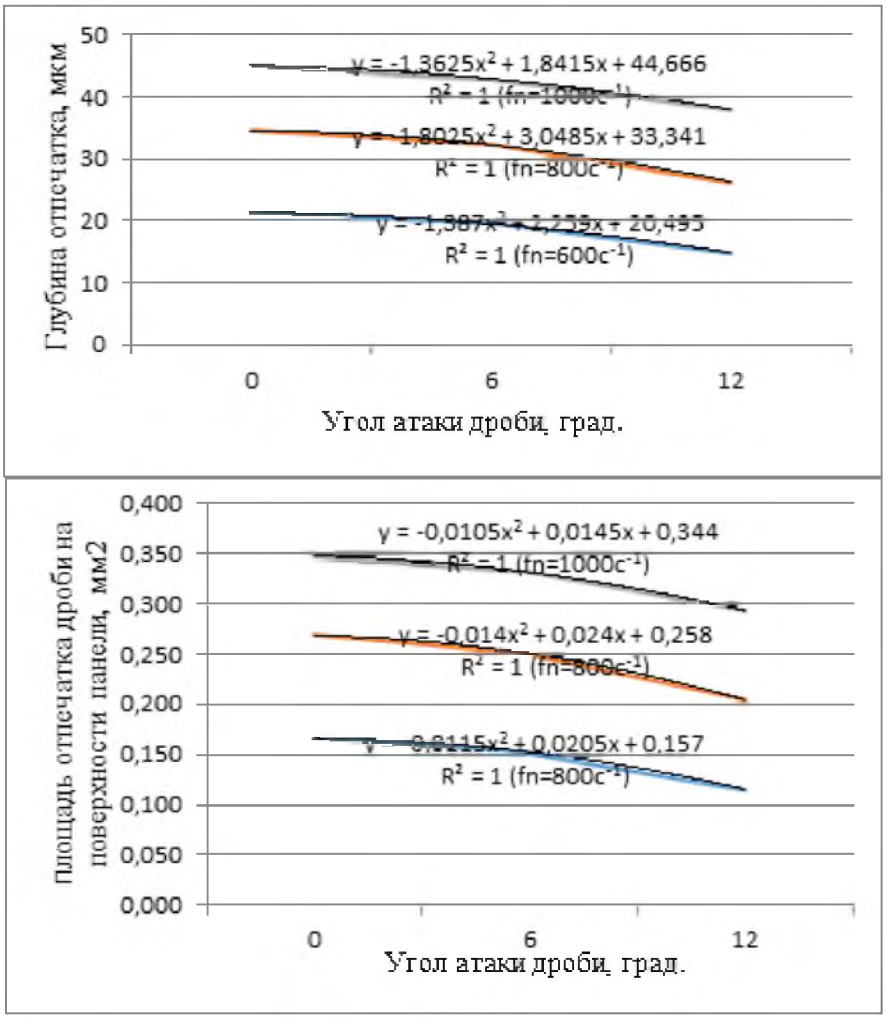


Рис. 6. Зависимость глубины и площади отпечатка дроби от угла атаки дроби диаметром 2,5 мм

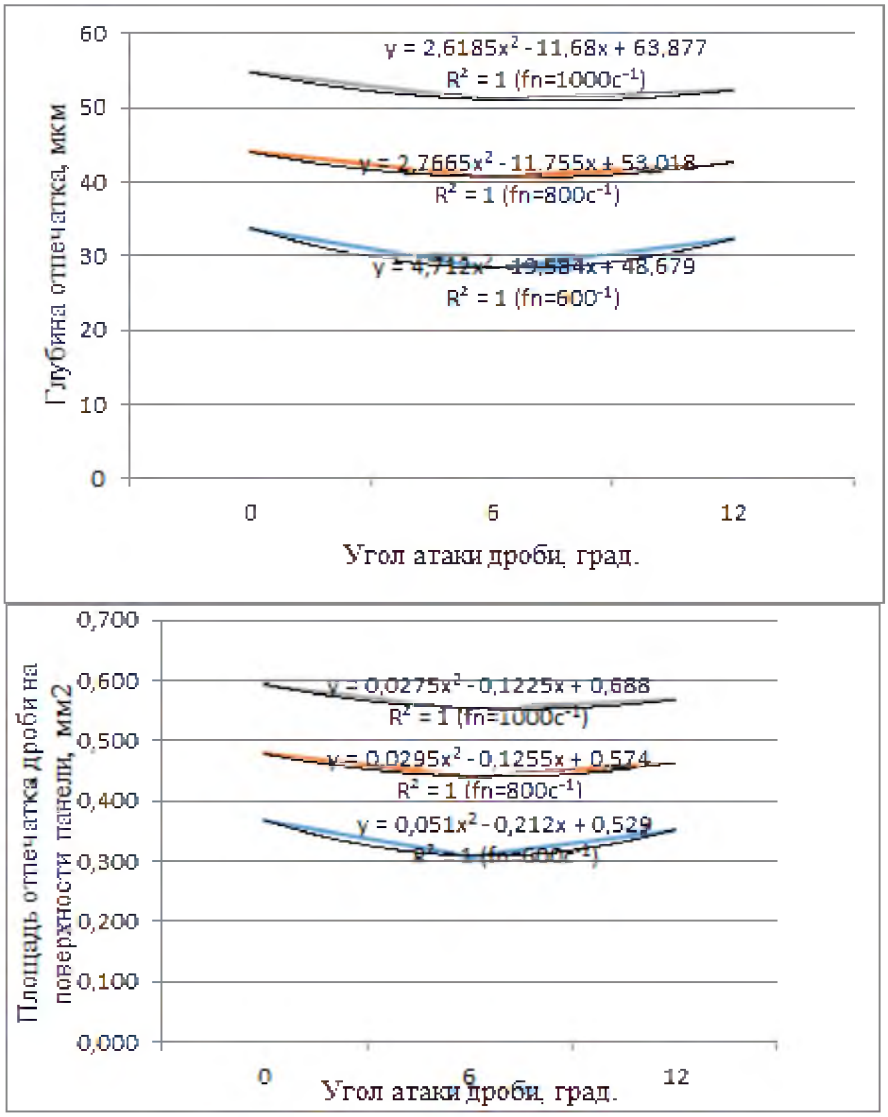


Рис. 7. Зависимость глубины и площади отпечатка дроби от угла атаки дроби диаметром 3,5 мм

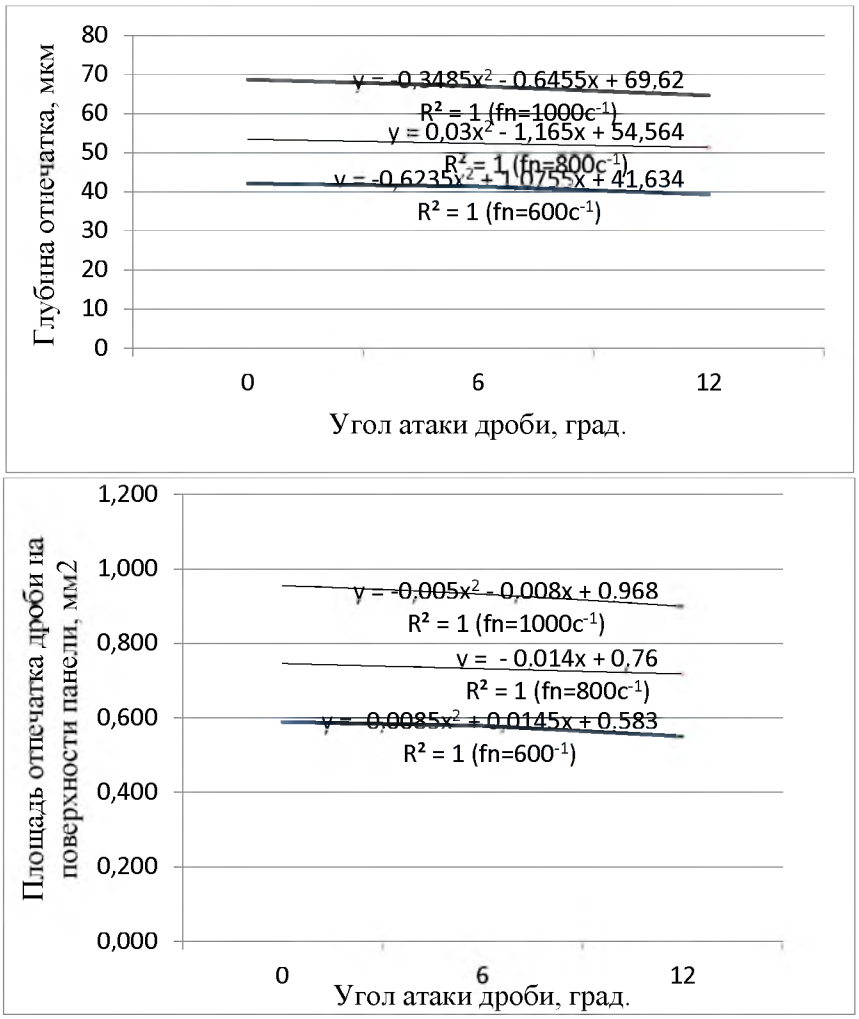


Рис. 8. Зависимость глубины и площади отпечатка дроби от угла атаки дроби диаметром 4,5 мм

Из анализа зависимостей рис. 6, 7 и 8, следует, что чем больше размер дроби и скорости атаки, тем больше размер отпечатка дроби на обрабатываемой поверхности. Это объясняется тем, что при увеличении размера дроби и скорости её атаки увеличивается кинетическая энергия дроби, которая приводит к большей пластической деформации поверхности панели. При одинаковой скорости атаки и размера дроби, максимальные глубина и площадь отпечатка дроби достигаются при угле атаке 0 градусов.

Кроме того, по результатам моделирования можно также получить значения скорости отскока шарика после удара. Угол отскока по результатам моделирования меняется незначительно по сравнению с углом атаки.

В отношении построенной модели (зависимости 6 и 7), при определении размера отпечатков были взяты значения скоростей и углов отскока в зависимости от углов атаки дроби от моделирования. Примерные результаты расчетов площади отпечатков по формуле (7) на основании глубины отпечатка из формулы (6) и результаты моделирования при угле атаки 0 градусов в за-

висимости от диаметров дроби 2,5, 3,5 и 4,5 мм представлены на рис. 9, 10 и 11.

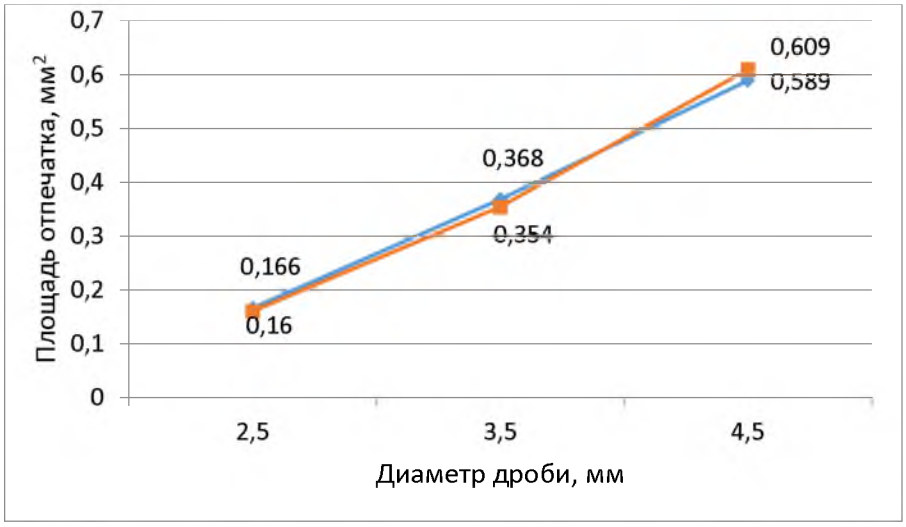


Рис. 9. Зависимость площади отпечатка дроби от диаметра дроби при скорости вращения дробеметного колеса fn=600 об/мин, где: красная линия - результат теоретических расчетов, синяя – результат моделирования

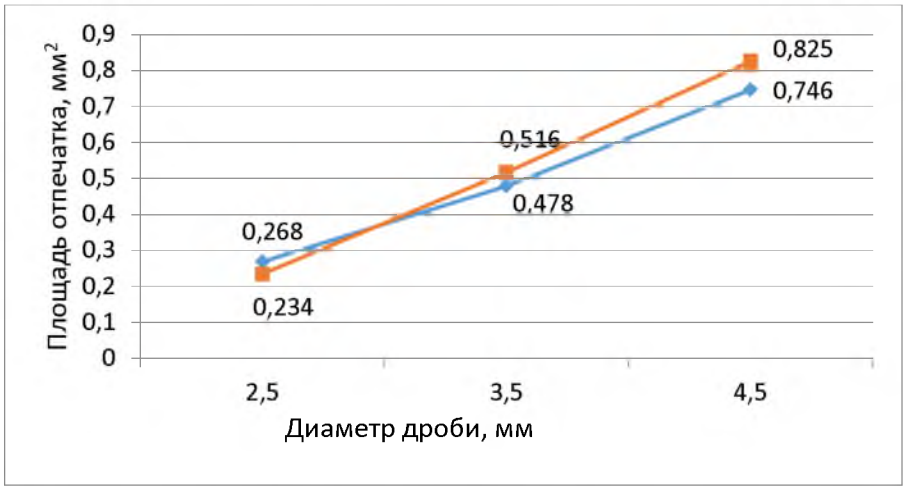


Рис. 10. Зависимость площади отпечатка дроби от диаметра дроби при скорости вращения дробеметного колеса fn=800 об/мин, где: красная линия- результат теоретических расчетов, синяя – результат моделирования

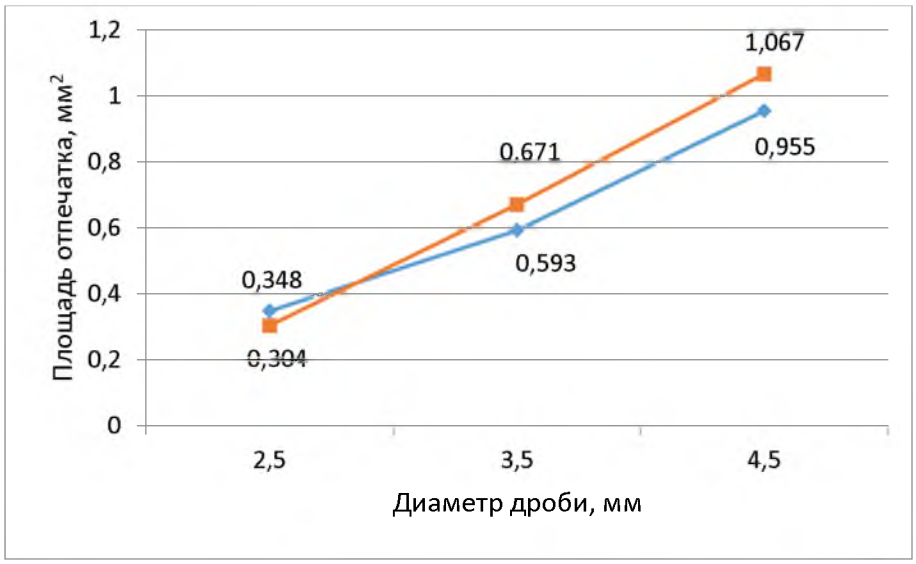


Рис. 11. Зависимость площади отпечатка дроби от диаметра дроби при скорости вращения дробеметного колеса fn=1000 об/мин, где: красная линия - результат теоретических расчетов, синяя – результат моделирования

Отклонения значений площади отпечатков, полученных по формуле (7) и при моделировании методом конечных элементов находятся в допустимом пределе (не более 13%). Эти данные могут быть использованы для предварительных расчетов размера дроби с учётом режимов дробеударной обработки и свойств обрабатываемого материала для прогнозирования необходимого качества обрабатываемой поверхности детали.

Метод конечных элементов является лучшим средством на сегодняшний день для определения размеров отпечатков дроби на обрабатываемой поверхности детали.

Предложена математическая модель для определения глубины и площади отпечатков дроби в зависимости от режимов обработки и свойств обрабатываемого материала при дробеударном формообразовании на дробеударной установке контактного типа. Данная модель полезна для дальнейшего определения степени покрытия отпечатками дроби при дробеударном формообразовании и назначения величины припуска для последующей зачистки лепестковым кругом.

Список использованной литературы:

1. Пашков А.Е. Технологические связи в процессе изготовления длинномерных листовых деталей. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. 138 с.

2. Чапышев А.П. Статистическое описание поверхности после дробеударного формообразования // Перспективные технологии получения и обработки материалов: материалы региональной научно-технической конференции (г. Иркутск, 25–26 сентября 2004 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. С. 42–46.

3. Пашков А.Е., Чапышев А.П. Учет влияния структуры зоны обработки при дробеударном формообразовании // Технологическая механика материалов: межвузовский сб. науч. тр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С. 22–27.

4. Пашков А.Е., Чапышев А.П. Экспресс-метод контроля сплошности покрытия при дробеударном формообразовании // Инструмент и технологии XXI века: сб. докладов междунар. семинара (г. Иркутск, 12–14 марта 2002 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2002. С. 117–120.

5. Кольцов В.П., Ле Чи Винь, Стародубцева Д.А., К определению степени покрытия после дробеударной обработки. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. - С.45-52.

6. Ле Чи Винь, Стародубцева Д.А., Кольцов В.П., Нгуен Тхе Хоанг. Определение степени покрытия после дробеударного формообразования методом обработки изображений // Научный журнал «Системы. Методы. Технологии» Братского государственного университета . 2018. № 2(38). С. 32-37.

7. V.P. Koltsov, Le Tri Vinh, D.A. Starodubtseva, “Surface roughness formation during shot peen forming”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, vol. 327, 042125, doi:10.1088/1757-899X/327/4/042125

8. Кольцов В.П., Стародубцева Д.А., Чапышев А.П. К определению величины припуска при зачистке поверхности панелей и обшивок лепестковым кругом после дробеударного формообразования // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – Т. 73. № 1. – С. 25-30.

9. V.P. Koltsov, Le Tri Vinh, D.A. Starodubtseva. Determination of the allowance for grinding with flap wheels after shot peen forming (определение припуска на зачистку лепестковым кругом после дробеударного формообразования)// Material of International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, Издательство: IOPscience https://iopscience.iop.org/, Volume 632, 2019, 6p.

УДК 621.98.042

Сквозные технологии изготовления деталей обшивки

А.Е. Пашков

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

Представлены основные подходы к построению цифровых моделей сквозных технологических процессов изготовления деталей обшивки лета-

тельных аппаратов на основе поэтапного моделирования операций механической обработки, формообразования (правки) и поверхностного упрочнения.

Ключевые слова: *детали обшивки, механическая обработка, отклонения формы, формообразование, правка, поверхностное упрочнение, конечно-элементное моделирование.*

Пашков Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительных производств, тел. +7 (395) 240-57-20, e-mail: pashkov@istu.edu

Крупногабаритные маложесткие детали обшивки из высокопрочных термически упрочняемых алюминиевых сплавов являются наиболее сложными, ответственными и дорогостоящими в конструкции самолетов. В общем случае данные детали состоят из таких конструктивных элементов, как полотно и подкрепляющие рёбра, а технологический процесс их изготовления включает операции механической обработки, формообразования (правки) и поверхностного упрочнения.

Известной проблемой при изготовлении маложестких деталей является искажение их формы (коробление) при обработке, обусловленное формированием и перераспределением технологических остаточных напряжений. Наибольшую сложность представляет задача обеспечения точности при поверхностном упрочнении маложестких деталей, назначаемом для обеспечения заданных ресурсных характеристик и реализуемом, в основном, дробеударной обработкой. Данный вид обработки, вызывая необратимое удлинение поверхностных слоев, приводит к нежелательной деформации детали в целом. Поскольку после упрочнения правка недопустима, для решения задачи минимизации коробления деталей режимы обработки на данной операции необходимо назначать в зависимости от особенностей конструкции и остаточного напряженно-деформированного состояния (НДС) обрабатываемых деталей [1].

Остаточное НДС, сформированное на предыдущих операциях обработки, является существенным фактором, влияющим на коробление деталей при упрочнении. Учет влияния данного фактора возможен на основе применения цифрового моделирования. На сегодняшний день с развитием компьютерных технологий появилась возможность значительного повышения адекватности физических моделей как самих изделий, так и процессов их изготовления. Такие модели, максимально приближенные к реальным объектам, принято называть цифровыми двойниками, большой вклад в адекватность которых вносят данные о технологиях изготовления моделируемых изделий. Согласно [2] основными компонентами цифровых двойников являются геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели объектов и физико-механических процессов; полные данные о материа-

лах и их поведении при различных видах нагружения; данные о технологиях производства, в том числе учет предварительного НДС и т.д.

Рассмотрим основные подходы к созданию сквозных цифровых технологий изготовления деталей обшивки на основе комплекса взаимоувязанных конечно-элементных моделей исходной заготовки и технологической последовательности операций её обработки.

При построении модели заготовки необходимо учесть влияние предшествующих металлургических операций на механические свойства материала и остаточное НДС.

Для построения модели анизотропного упруго-пластического материала необходимо определить его механические свойства на основе испытаний на растяжение плоских образцов, вырезаемых из заготовок. В ходе испытаний по ГОСТ 1497-84 определяются модуль упругости, условный предел текучести, предел временного сопротивления и коэффициенты нормальной анизотропии, отражающие изменение свойств металла в различных направлениях.

В процессе термической обработки заготовок в виде листов и плит формируется остаточное НДС, для описания которого в работе [3] используется параболическая аппроксимация эпюры термических остаточных напряжений, переменным параметром которой является значение поверхностных напряжений. Для определения данных напряжений можно воспользоваться разработанным НИУ «ИТМО» неразрушающим резистивным электроконтактным методом, основанным на использовании связи между электрическими и механическими свойствами проводников и явления скин-эффекта [4].

Коробление детали при механической обработке возникает под действием изгибающего момента, обусловленного нарушением равновесия эпюры термических остаточных напряжений при удалении припуска, и поверхностной нагрузки, являющейся следствием обработки резанием. Результаты конечно-элементного моделирования процесса механической обработки маложесткой детали с целью определения её формоизменения приведены в работе [5]. Для построения модели авторы находят силы, возникающие при резании и в связи с нарушением равновесия эпюры исходных остаточных напряжений, и прикладывают их к узлам сетки конечных элементов поверхности модели. Подобные исследования, посвященные определению внутренних сил, обусловленных поверхностной обработкой проведены в ИРНИТУ [6]. Предложенная методика состоит в нахождении распределения начальных напряжений на основе эпюры остаточных напряжений, определенной моделированием процесса поверхностной обработки массивного тела.

Результатами моделирования процесса механической обработки являются компоненты остаточной кривизны поверхности деформированной детали, которые используются в качестве исходных данных для определения технологических параметров процесса формообразования (правки) деталей для придания им требуемой формы. Для решения задачи обеспечения точности формы деталей на этих операциях необходим учет влияния всех воздействий, приводящих к изменению НДС заготовки. На сегодняшний день в ИРНИТУ

проведены исследования по изучению технологических последовательностей изготовления деталей обшивки, включающих операции упругопластической гибки, раскатки роликами, дробеударной обработки, зачистки лепестковыми кругами и поверхностного деформационного упрочнения. Основные подходы к описанию процесса технологического наследования приведены в работе [7].

Поскольку прямое моделирование процесса дробеударного упрочнения, представляющего многочисленные удары дробинок по поверхности детали, представляет значительную сложность, для определения формоизменения обрабатываемых деталей в данном случае применяют косвенные методы, заключающиеся в приложении к поверхностным слоям детали эквивалентных нагрузок [8].

Исследования по обеспечению точности формы маложестких деталей при дробеударном упрочнении выполнены ИРНИТУ по заказу ПАО «Корпорация «Иркут». Задача минимизации отклонений упрочняемых деталей решается путем их превентивного формоизменения в противоположном направлении [9, 10]. Нагружение детали при моделировании осуществляется растягивающими силами, эквивалентными воздействию дроби и приложенными к узлам сетки конечно-элементной модели. Определение данных сил выполняется по методике, изложенной в работе [6]. Определение режимов превентивного деформирования методом раскатки роликами производится на основе зависимости изгибающего момента, действующего на технологический образец, от силы вдавливания роликов в его поверхность. Потребный для правки изгибающий момент определяется с учетом величины отклонений при упрочнении, полученной моделированием, и жесткости расчетных сечений.

Таким образом, на сегодняшний день созданы необходимые условия для создания цифровых моделей сквозных технологических процессов изготовления деталей обшивки из термически упрочненных заготовок, включающих операции механической обработки, формообразования (правки) и поверхностного упрочнения. Для этого необходимо

- сформировать комплекс программного обеспечения для моделирования, разработать процедуры конвертации и передачи данных между программными средами, входящими в состав комплекса;
- разработать методику построения параметрических конечно-элементных моделей типовых заготовок с такими переменными параметрами, как механические свойства материала, термические остаточные напряжения и отклонения формы заготовки;
- разработать методику конечно-элементного моделирования процесса фрезерования деталей из заготовок с объемными термическими остаточными напряжениями с использованием специальной базы данных внутренних силовых факторов процесса резания;
- выполнить исследование различных технологических сочетаний процессов формообразования и правки деталей, таких, как упругопластическая

гибка, дробеударное формообразование, зачистка и локальное пластическое деформирование методами раскатки роликами, посадки и разводки;

- выполнить работы, направленные на повышение адекватности конечно-элементного моделирования операции поверхностного упрочнения с учетом влияния технологической наследственности детали;

- продолжить исследования по моделированию технологических сочетаний «превентивное деформирование – поверхностное упрочнение» с выработкой рекомендаций по применению для этих целей наряду с раскаткой роликами таких операций, как посадка и разводка.

В случае создания цифровых моделей сквозных технологических процессов изготовления деталей появится возможность прогнозировать их формоизменение на всех стадиях обработки. Это позволит использовать результаты моделирования операции фрезерования в виде отклонений формы деталей при назначении режимных параметров процесса формообразования и полностью отказаться от операций правки. Проблема исключения искажения формы упрочняемых деталей будет решена за счет управляемого превентивного деформирования деталей на этапах формообразования и правки.

Предлагаемый подход в сочетании с применением разработанного ИРНИТУ управляемого оборудования для формообразования длинномерных панелей и обшивок [11] позволит оптимизировать режимы обработки и добиться требуемой точности деталей и максимальной производительности без проведения опытных работ.

Список использованной литературы:

1. Смирнов В.А., Лысов М.И., Румянцев Ю.С. Расчет режимов и программы дробеметной упрочняющей обработки деталей малой жесткости // Циклическая прочность и повышение несущей способности деталей: Тез. докл. научн.-техн. конф. Урала. – Пермь, 1981. –С. 92-93.

2. Боровков А.И. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. – 2018. №1. С. 6-33. https://docplayer.ru/86804429-Tehnologii-cifrovogo-proizvodstva.html

3. Замащиков Ю.И., Каргапольцев С.К. Экспресс-метод определения остаточных напряжений в закаленных плитах // Повышение эффективности технологических процессов механообработки. – Иркутск: ИПИ, 1990. – С. 90-96.

4. Васильков С.Д., Тальнишних С.А. Исследование остаточных напряжений резистивным электроконтактным методом // Изв. вузов. Приборостроение, 2010. том 53, № 8, – С. 30-33.

5. Modeling Capabilities for Part Distortion Management for Machined Components // T. D. Marusich, D. A. Stephenson, S. Usui, S. Lankalapalli. Third Wave Systems, Inc, 7900 West 78th St. Suite 300, Minneapolis, MN 55439.

6. Пашков А.Е. К определению внутренних силовых факторов процесса дробеударного формообразования / А.Е. Пашков, А.П. Чапышев, А.А. Паш-

ков, С.В. Викулова, Ю.С. Андряшина // Вестник ИрГТУ. – 2017. – Т. 21. – №12(131). – С. 43-55.

7. Пашков А.Е. Технологические связи в процессе изготовления длинномерных листовых деталей / А.Е. Пашков, Иркутск: ИрГТУ, 2005. – 140 с.

8. Zhang X.J., Wang J.B., Levers A., B Hon K.K. Modeling and Simulation of Shot Peening Process // Conference: Proceedings of the 37th International Matador Conference, January 2012. P.169-176.

9. Макарук А.А. Гридасова Е.В. Создание комбинированной технологии правки-упрочнения деталей типа подкрепленных ободов и стенок // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2016. - Т. 49, № 4. - С. 75–79

10. Макарук А. А. Определение отклонений формы деталей силового каркаса летательных аппаратов при дробеметном упрочнении методом конечно-элементного моделирования / А.А. Макарук, А.А. Пашков, О.В. Самойленко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 59, № 3. - С. 23–29.

11. Пашков А.Е. Технологический комплекс для формообразования длинномерных панелей и обшивок на базе отечественного оборудования / А.Е. Пашков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – №1(5).

УДК 62-526

Применение промышленных роботов для автоматизации производства

М.Е. Лебедева, А.В. Сидорова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 660474, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Обзорная статья о применении промышленных роботов в разных сферах машиностроения, показан мировой опыт использования промышленных роботов. Выделены основные ведущие мировые фирмы, выпускающие промышленных роботов.

Ключевые слова*: промышленный робот, научно-технический уровень, компания, мировой рынок, аддитивные технологии.*

Лебедева Марина Евгеньевна, студентка группы ММб-19-2 Института авиамашиностроения и транспорта, тел.: 89842728182, e-mail: lebedeva21.2000@mail.ru

Сидорова Алена Владимировна, младший научный сотрудник кафедры Технологии и оборудования машиностроительных производств, тел.: 89501321663, e-mail: alena91@ex.istu.edu

Промышленный робот – предназначенный для выполнения двигательных и управляющих функций в производственном процессе манипуляционный робот, т.е. автоматическое устройство, состоящее из манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, которое формирует управляющее воздействия, задающее требуемые движения исполнительных органов манипулятора. Применяется для перемещения предметов производства и выполнения различных технических операций [4].

Промышленные роботы являются важными компонентами автоматизированных гибких производственных систем, которые позволяют увеличить производительность труда.

Промышленные роботы стали не только одной из движущих сил автоматизации, но и одним из важнейших средств для глубоких Социально-экономических измерений в сфере труда. Разработка и внедрение промышленных роботов уже позволили перейти на новый уровень, более высокий научно-технический уровень решения задач по комплексной автоматизации на промышленных предприятиях, перераспределить функции между человеком и машиной и значительно повысить производительность труда [5].

Но при автоматизации производства ключевой проблемой стоит выбор промышленного робота для конкретной задачи, рассмотрим наиболее востребованные фирмы промышленных роботов[].

1. FANUC (Япония)

Компания Fanuc – один из лидеров мирового рынка промышленной автоматизации, станкостроения, числового программного управления и робототехники. Производитель появился в 1956 году, и уже в 1972 представил своего первого промышленного робота. У Fanuc если есть собственные лаборатории и исследовательские центры, производства, а также испытательные площадки, локализированные у подножия японской горы Фудзи.

FANUC Robotics является робототехническим подразделением компании, с собственной широкой сетью представительств. Всего в мире можно насчитать свыше 200 000 роботов FANUC, 30 000 из которых находятся в Европе и России.

Продукция FANUC отличается высоким качеством, ей свойственна интеллектуальность, сверхточность и высокая функциональность.

Линейка роботов FANUC включает:

FANUC M-1iA – одного из самых быстрых дельта-роботов в мире;

FANUC M-2000iA – самого «сильного» из серийно выпускаемых промышленных роботов в мире, с максимальной грузоподъемностью 1350 кг.

FANUC ArcMate – высокоточных и скоростных сварочных роботов.

FANUC M-410iB – серию грузоподъемных роботов с возможностью паллетизации и упаковки готовой продукции [3].

2. KUKA (ГЕРМАНИЯ)

Деятельность ведущего немецкого производителя промышленных роботов сосредоточена на производстве роботов, применимых в различных отраслях: от автомобильной и металлургической до пищевой.

Немецкая компания KUKA (Keller und Knappich Augsburg) была основана в 1898 году в Аугсбурге. Первый промышленный робот FAMULUS появился в 1973-м. У него было шесть осей с электромеханическим управлением. Сегодня в ассортименте компании есть много видов роботов, выполняющих различные задачи. Роботов KUKA используют во всем мире на заводах: для операций по сварке, погрузке, паллетизации, упаковке, обработке, сборке и др.

Машины KUKA классифицируют по уровню грузоподъемности: малый (5–16 кг), средний (30–60 кг) и большой (90–300 кг). Причем их можно использовать не только на предприятиях. В это ролике видно, как устройство играет партию с чемпионом по теннису Тимом Боллом.

3. KAWASAKI (ЯПОНИЯ)

Японская корпорация была создана в 1896 году и сегодня известна как один из крупнейших в мире промышленных концернов. Первоначально Kawasaki специализировалась на судостроении. Сегодня же линейка продукции состоит из промышленных роботов, гидроциклов, тракторов, поездов, мотоциклов, двигателей, оружия, легких самолетов и вертолетов, а также деталей для самолетов.

Роботы от Kawasaki предназначены для выполнения различных производственных задач. В ассортименте — универсальные промышленные машины (грузоподъемность до 1500 кг), роботы специализированного назначения (например, покрасочные K-серии, машины для стерильных помещений N- и T-серии и пр.)

В линейку Kawasaki robotics входят манипуляторы специального взрывобезопасного исполнения, роботы, трудящиеся в агрессивных средах, конструкции для металлургических производств, для которых характерна высокая температура заготовок, а также паллетайзеры.

4. Россия Москва: «БИТ Роботикс»

Компания «БИТ Роботикс» – разработчик роботизированного оборудования, ведущий собственные исследования в разных областях робототехники, включая сервосистемы и техническое зрение. Большинство инженеров пришли в компанию из космической и авиационной отрасли.

«БИТ Роботикс» – создатель первого российского промышленного дельта-робота. Это конструкция из трех рычагов, прикрепленных посредством карданных шарниров к основанию, которое находится над рабочей зоной. Такие роботы широко применяются в пищевой, фармацевтической и упаковочной промышленности; они развивают высокую скорость, за счет чего рентабельность производства заметно повышается.

Сегодня «БИТ Роботикс» – единственный в России разработчик и производитель дельта-роботов высокой производительности. Скорость робота

«БИТ Роботикс» – до 5 м/с, обычное ускорение – до 50 м/с2, максимальное ускорение – до 150 м/с2.

5. Motoman/Yaskawa (Япония, США)

В настоящее время компания Yaskawa Electric Corporation является одним из ведущих мировых производителей оборудования в области робототехники, промышленной автоматизации и приводной техники. Она выпускает роботов Motoman следующих разновидностей (в соответствии с выполняемыми технологическими операциями):

– Сварочные роботы MOTOMAN для точечной и дуговой сварки. Грузоподъемность от 50 кг до 140 кг, рабочая зона от 1543 мм до 2136 мм.

– Роботы для сборки. Грузоподъемность от 2,5 кг до 5,6 кг, рабочая зона от 800 мм до 1893мм.

– Роботы для резки. Грузоподъемность от 7 кг до 25 кг, рабочая зона от 700 мм до 2010 мм.

– Роботы для перемещения и съема материалов. Грузоподъемность от 5 кг до 15 кг, рабочая зона от 727мм до 3500 мм

– Упаковочные роботы MOTOMAN. Грузоподъемность 3 кг, рабочая зона от 800 мм до 1300 мм.

Области применения промышленных роботов в производстве обширны: перемещение, покраска, сборка, механическая обработка и др. При этом концентрация на мировом рынке показана на рисунке 1 [1].

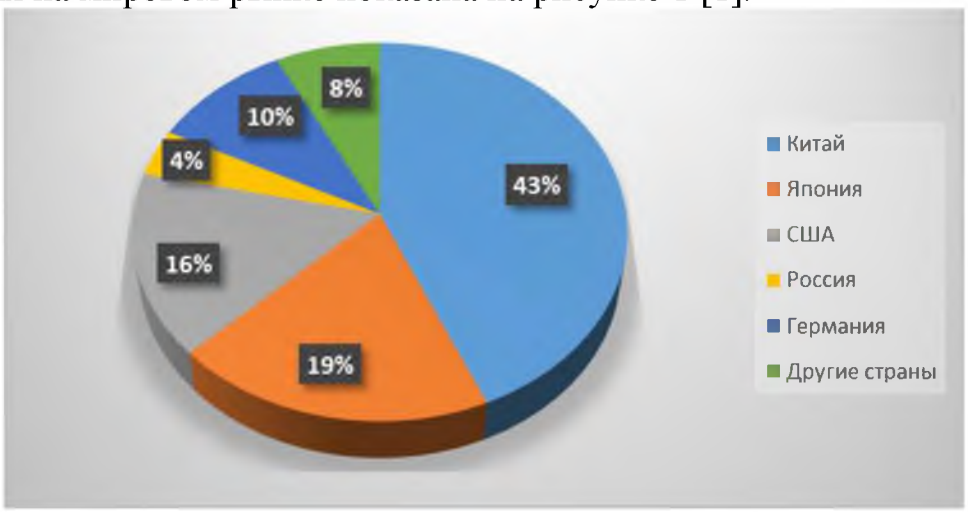


Рис. 1. Процентное соотношение применения промышленных роботов в мире

Перспективы применения промышленных роботов для аддитивных технологий

Аддитивные технологии, также распространено наименование **3D-печать** – группа технологических методов производства изделий и прототипов, основанная на поэтапном формировании изделия путем добавления материала на основу (платформу или заготовку).

Сегодня все чаще компании ищут нетрадиционные варианты создания продукции с использованием аддитивных технологий. Эксперты считают, что

новые технологии позволят на треть сократить время выхода изделий. Кроме того, снизить затраты на изготовление оснастки [2].

Данная технология уже применяется в изготовлении прототипов. Большинство аддитивных технологий уже используют функциональные материалы, и с помощью этих технологий производится конечный продукт.

Применение промышленных роботов для аддитивных технологий становится является перспективным направлением. Роботы не только обеспечивают аддитивное производство, но и обслуживают роботизированные машины трехмерной (3D) печати, которые автоматизируют постобработку полученных деталей и позволяют разработчикам, выступающим уже в роли архитекторов, придумывать новые способы их построения.

«Индустрия 4.0», связывает реальный завод с виртуальной реальностью, будет играть все более важную роль в глобальном производстве. Ожидается прорывной характер сотрудничества человека и робота. Упрощение использования роботов обещает огромные возможности во всех отраслях промышленности, в том числе малым и средним компаниям [6, 7].

Список использованной литературы:

1. Sidorova A.V., Semyonov E.N., Belomestnykh A.S. Robotic edge machining using elastic abrasive tool. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. С. 022097.

2. Сидорова А.В., Пономарев Б.Б. Определение оптимального сочетания параметров управления промышленным роботом в робототехническом комплексе обработки кромок деталей. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 4 (147). С. 723-730.

3. Анализ развития промышленной робототехники в мире [Электронный ресурс] URL: http://oaji.net/articles/2017/1004-1484520504.pdf

4. [Электронный ресурс] URL: https://docplayer.ru/51244851-Analiz-razvitiya-promyshlennoy-robototehniki-v-mire.html

5. Робототехника в России [Электронный ресурс] URL: https://robohunter.com/news/robototehnika-v-rossii-kto-segodnya-proizvodit-promishlennih-robotov10381

6. Peng Jingfu, Ding Ye, Zhang Gang, Ding Han. An enhanced kinematic model for calibration of robotic machining systems with parallelogram mechanisms // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2019. Vol. 59. P. 92-103.

7. Ponomarev B.B., Hien Nguyen Sy. Finish milling dynamics simulation considering changing tool angles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Issue 2. P. 022083. DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022083

УДК 658.561.2

Проблемы интеграции этапов подготовки производства и обработки на станках с ЧПУ в условиях высокоточного производства

Ю.И. Карлина, Д.А. Журавлёв, Т.А. Опарина

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

Исследован процесс подготовки производства малогабаритных высокоточных деталей на станках с ЧПУ. Проведен анализ возможностей интеграции этапов подготовки производства и обработки на станках с ЧПУ. Выявлены проблемы автоматизации и ускорения подготовки производства. Необходимо создание базы нормативно-справочной информации по видам обработки для конкретных материалов, инструментов, станков по квалитетам точности.

Ключевые слова: *конструкторско-технологическая подготовка производства, обработка на станках с ЧПУ.*

Карлина Юлия Игоревна, научный сотрудник научно-исследовательской части, тел. 89148798505, email: karlinigor@mail.ru

Журавлёв Диомид Алексеевич, дтн, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, тел. 89021719546, email: dio@istu.edu

Опарина Татьяна Александровна, студент гр. ИНб-16-1, тел. 89148760181, email: martusina2@yandex.ru

Введение

В настоящее время в промышленном производстве в целом, и в машиностроении в частности, происходит глобальная трансформация. Острейшая конкуренция вынуждает предприятия выпускать на рынок новые изделия, удовлетворяющие постоянно растущим требованиям потребителя в кратчайшие сроки и с минимальными издержками. Главной особенностью трансформации промышленного производства в настоящее время является цифровизация – создание виртуальных предприятий, активное использование информационных технологий для подготовки и управления производством, совершенствование технологий, применение автоматизированного оборудования. В радиоэлектронной промышленности наблюдается тенденция миниатюризации и усложнения конструкции выпускаемых изделий. Ускорение этапов подготовки производства и обработки на станках с ЧПУ требует использования различных информационных технологий со сквозной передачей

информации с одного этапа на другой для дальнейшей обработки. Это весьма сложный и дорогостоящий процесс.

В данном исследовании рассмотрим лишь процесс технологической подготовки производства и опытной обработки на станках с ЧПУ.

Анализ возможностей интеграции этапов подготовки производства и обработки на станках с ЧПУ

В настоящее время для подготовки производства на станках с ЧПУ

1) для решения технологических задач применяются автоматизированные системы CAD/CAE/CAPP/CAM. CAE-системы необходимы для расчетов параметров, анализа объектов и процессов и принятия оптимальных решений. Они широко развиваются, но являются дорогостоящими и узкоспециализированными. Например, программы Moldex3D, OOFELIE, Digimat для расчетов по композиционным материалам. Их применение избавляет от необходимости проведения дорогостоящих натурных экспериментов [1-6];

2) применяются специализированные комплексы, направленные на решение узких технологических задач, при этом комплексы имеют разный уровень автоматизации и слабо интегрированы как между собой, так и с ERP-системами. Это не позволяет на современном этапе создать единую интеллектуальную интегрированную систему ТПП [1];

3) уровень автоматизации во многих программных комплексах АСТПП недостаточен и возникает необходимость в повышении их интеллектуального уровня. Кроме того, существующие САПР технологических процессов не учитывают реальных производственных условий, это снижает эффективность их применения [1];

4) разработанные ранее методы анализа, унификации, типизации и группирования предметов и процессов производства в настоящее время не обеспечены соответствующими программными системами [1];

5) процесс для ведения технологического проекта является сложным и связан с разработкой и утверждением большого комплекса документов. Достаточно часто возникает необходимость возврата на предшествующие этапы проекта для исправления и доработки решений. Для ведения технологических проектов, поддержки жизненного цикла изделий и организации единого информационного пространства стали применять PDM-системы с использованием технологии workflow [1], запускающие процессы согласования и утверждения документов и хранящие их версионность;

6) наблюдается тенденция к виртуализации ТПП на основе аутсорсинга, что особенно важно в условиях виртуализации самого производства изделий [1]. Реализация этого направления требует наличия надежных каналов передачи данных, обеспечения информационной безопасности и высокого уровня развития информационной системы.

Таким образом, с системных позиций ТПП представляет собой сложную и неоднородную информационную систему, функционирующую в условиях быстро развивающихся информационных технологий, новых способов орга-

низации производства и стремительного изменения производственной среды предприятия [6].

Проблемы автоматизации и ускорения подготовки производства

Использование вышеперечисленных возможностей, методов групповой технологии, адаптивно-селективной сборки и адаптивной технологии позволяет значительно ускорить и удешевить подготовку производства. Однако, на различных этапах возникают проблемы недостатка нормативно-справочной информации для быстрого и качественного прохождения данного этапа.

Современная CAD/CAM-система позволяет производить:

- подбор стратегий обработки и задание параметров выбранных стратегий;
- подбор обрабатываемых и ограничивающих поверхностей на модели изделия (детали) [7];
- формирование траектории движения инструмента с учетом стратегий обработки, выбранных поверхностей, режущего инструмента, автоматического контроля зарезов и оптимизации траектории перемещения инструмента с учетом текущего состояния заготовки; автоматическое отслеживание изменений, вносимых в модель изделия (детали) [7].;
- использование типовых технологических шаблонов обработки и формирования траектории движения инструмента с частичным изменением параметров для получения подобных деталей [7-10].

Так, на этапе создания управляющей программы для обработки детали на автоматах продольного точения с ЧПУ возникает проблема необходимости подбора видов и параметров обработки в зависимости от обрабатываемого материала, используемого инструмента, требуемого качества поверхности, объема снимаемого материала. При выборе последовательности и количества проходов обработки, подборе режимов резания, скорости подачи и сил резания необходимо учитывать:

- стружка не должна забиваться;
- необходимо как можно быстрее обеспечить выход на заданные конструкторские размеры и контролировать получаемые на каждом этапе обработки размеры припусков;
- качество обработанной поверхности должно соответствовать требованиям чертежа;
- необходимо обеспечить плановую износостойкость инструмента.

Производители инструмента прилагают к нему таблицы с рекомендуемыми режимами обработки для различных материалов на различном оборудовании, однако они ориентированы лишь на обеспечение износостойкости инструмента, а подбор реальных режимов обработки для конкретной детали является многофакторным, в связи с этим информация из этих таблиц не применим на практике.

Для решения этой проблемы предлагается использование типовых технологических шаблонов обработки и формирования траектории движения инструмента с частичным изменением параметров для получения подобных

деталей. Для создания типовых технологических шаблонов обработки и формирования траектории движения инструмента с частичным изменением параметров для получения подобных деталей необходимо создание базы нормативно-справочной информации по видам обработки для конкретных материалов, инструментов, станков по квалитетам точности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90184.

Список использованной литературы:

1. Куликов Д. Д., Падун Б. С., Яблочников Е. И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства / Изв. вузов. Приборостроение, 2014, № 8 (57), с. 7-12.

2. Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочников Е. И. Информационные технологии в проектировании ипроизводстве. СПб: Политехника, 2008 304 с.

3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы данных интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000 384 с.

4. Афанасьев М. Я., Саломатина А. А., Алёшина Е. Е., Яблочников Е. И. Применение многоагентных технологий для реализации системы управления виртуальным предприятием // Науч.-техн. вестн. Информационных технологий, механики и оптики. 2011 №5(75). С. 105—111.

5. Куликов Д. Д., Яблочников Е. И. Применение оценочных метрик для анализа технологической подготовки производства // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2011 № 6 (76). С. 109—112.

6. Яблочников Е. И., Фомина Ю. Н., Саломатина А. А. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // Изв. вузов. Приборостроение. 2010 Т. 53, № 6 С. 12—15.

7. Аверин В. В., Гусельников В. С. Автоматизация проектирования управляющих программ / Изв. вузов. Приборостроение, 2010, № 6 (53), с. 67-71.

8. Вороненко В.П., Седых М.И., Шашин А.Д. Проектирование и эффективная эксплуатация производственных участков многономенклатурного машиностроительного производства // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. - 2017.- №1 (40). - С.182-189.

9. Вороненко В.П., Шашин А.Д. Планирование опытного производства с учетом его текущего состояния // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы V международной заочной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №5. – 134 с.

10. Маданов А.В. Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства / Проблемы науки. 2015. № 1 (1). С. 14-16.

УДК 621.791

Использование дуговой сварки для аддитивного производства

Балановский А.Е., Гречнева М.В, Куликов А.А.

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

Эта статья знакомит с методами аддитивного производства проволочной дуги (WAAM) согласно международной терминологии. Технологии аддитивной сварки, основанные на дуговой сварке, вызывают интерес со стороны обрабатывающей промышленности из-за их способности изготавливать крупные металлические детали с низкой стоимостью и коротким сроком производств. На основе проведенного анализа делается вывод, что WAAM является многообещающей альтернативой традиционному субтрактивному производству для изготовления крупных дорогостоящих металлических компонентов. Исходя из текущих тенденций, перспективы на будущее будут включать автоматизированное планирование процессов, мониторинг и контроль процесса WAAM.

Ключевые слова: *аддитивное производство, сварочное оборудование, дуговая наплавка, лазерное спекание, послойное нанесение металла и порошка*

Балановский Андрей Евгеньевич, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов

Гречнева Мария Васильевна, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов

Куликов Антон Александрович, студент гр.МТпб-16-1

Технологии аддитивного изготовления деталей машин и механизмов, основанные на дуговой сварке, вызывают интерес со стороны обрабатывающей промышленности из-за их способности изготавливать крупные металлические детали с низкой стоимостью и коротким сроком производства. Классическое производство выглядит следующим образом рис.1,2. Аддитивное производство (АП) дает существенное сокращение хранения заготовок на складе, этапов производства, себестоимости работ, уменьшает износ инструмента и его расход, снижает расход металла в стружку. Дополняет традиционное производство на узкоспециализированные компетенции, которые ранее были не доступны. На рис.3 показан пример изготовления крышки подшип-

никового узла колесной пары, которая перестала выпускаться, но изделие, на котором она стоит до сих пор находится в эксплуатации.

Рис.1 Классическое производство деталей

Рис.2.Сравнение стоимости классического и аддитивного WAAM изготовления детали

Рис.3. Узкоспециализированные возможности применения WAAM

Материалы при АП для изготовления различных частей деталей машин и агрегатов могут быть различного типа. К ним относятся металлические, керамические и полимерные материалы, а также комбинации в виде композит-

ных, гибридных или функционально-градиентных материалов (FGMs). Наиболее интересными и эффективными технологиями изготовления металлических изделий методами послойного нанесения материала применительно к промышленности являются следующие: WAAM (GMAW,PAW, CMT), DMD, LBDMD, EBAM[1].

WAAM – (Wire Arc Additive Manufacturing) является одной из аддитивных технологий, применяющих проволоку в качестве наплавочного материала. За последние три десятилетия дуговая сварка WAAM широко применялась для аддитивного производства (АП) крупных металлических компонентов из-за ее меньших капиталовложений, неограниченного объема сборки и более высоких скоростей наплавки [1].

Концепция использования дуговой сварки в качестве средства наращивания слоев была инициирована в 1990-х годах исследователями из Европы [2]. Возможность дуговой сварки была продемонстрирована путем создания нескольких прототипов деталей с хорошей структурной целостностью и механическими свойствами [3]. Однако в то время WAAM уделялось меньше внимания, чем другим процессам АП, по нескольким причинам: (1) высокая подводимая теплота, связанная со сварочными процессами, может вызывать остаточное напряжение, и как следствие деформацию детали; (2) низкая точность (около ± 0,2 мм) и чистота поверхности изготовленной детали неприемлемы для многих применений; (3) наплавленные слои не образуют гладкой поверхности, что приводит к внутренним зазорам или пустотам; (4)отсутствие интегрированного, надежного мониторинга и контроля процесса для учета изменений во время наплавки.

В последнее время возрос интерес к применению АП для титановых сплавов из-за повышенного спроса на титановые сплавы в аэрокосмической промышленности, а также из-за сложности и неэффективности вычитающего производства из заготовки рис.4-6. Существует несколько альтернативных подходов , в том числе лазерные [4] и электронно-лучевые АП системы [5]. В тоже время, автоматизированные процессы WAAM [6-14] с подачей проволоки вызвали большой исследовательский интерес из-за их способности производить крупные детали (до 5,8 м × 1,2 м × 1,2 м) с высокой скоростью осаждения (в диапазоне от 3 до 9 кг / ч)[6-11]. За последние десять лет процесс WAAM вызвал значительный интерес: поисковый термин «аддитивное производство проволочной дугой» упоминается в 636 документах базы данных Scopus 2019 года.

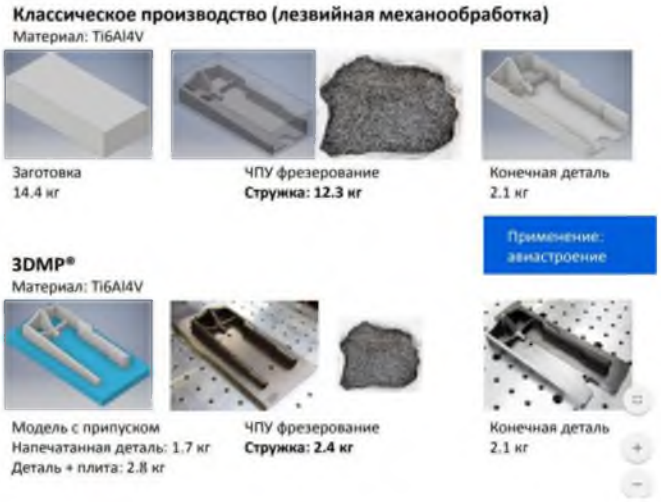


Рис.4.Сравнение классического и аддитивного WAAM производства деталей из титана.

Рис.5. Титановый лонжерон изготовленный WAAM

Рис.6. Титановый компонент изготовленный WAAM

В отличие от более распространенных процессов АП с металлическим порошком, аддитивное производство WAAM работает за счет расплавления металлической проволоки с использованием электрической дуги в качестве

источника тепла. Проволока подается в сварочную дугу, расплавляется в виде капель и оседая на поверхность заготовки создает при кристаллизации слой металлического материала. Затем процесс с помощью роботизированного манипулятора повторяется, слой за слоем, пока требуемая конфигурация детали не будет завершена. После этого, сформированная деталь проходит термообработку для снятия остаточных напряжений (если это необходимо) и механическую обработку. WAAM может работать с широким спектром металлов при условии, что они находятся в форме проволоки. Этот список включает традиционные стали, нержавеющую сталь, сплавы на основе никеля, титановые сплавы и алюминиевые сплавы.

WAAM особенно подходит для производства крупногабаритных металлических деталей, в отличие от металлических АП-технологий на основе порошка, которые обычно производят более мелкие компоненты высокой четкости. В отличие от процессов АП с порошковым слоем, которые имеют ограниченную оболочку сборки, роботизированный манипулятор машины WAAM обладает большей свободой перемещения, а это означает, что размер формируемой заготовки не ограничен пространством, а только расстоянием, на которое роботизированный манипулятор может достичь. Это позволяет производить более крупные детали, что было бы невозможно при процессах с порошковым слоем. С точки зрения материальных затрат, сварочная проволока, используемая в процессе печати WAAM, значительно дешевле, чем металлический порошок, используемый в порошковых методах АП. Оборудование WAAM обычно включает в себя готовое сварочное оборудование выпускаемое серийно, которое дешевле, чем многие специализированные металлические 3D-принтеры, доступные на рынке. В отличие от вычитающих методов, WAAM использует послойный подход для создания компонента. Это означает, что материал наносится только там, где он необходим, что приводит к значительной экономии материала и снижению материальных затрат

Система WAAM состоит из источника питания, автоматической системы подачи проволоки, компьютерного рабочего стола с числовым программным управлением или роботизированной системы и некоторых принадлежностей (например, защитного газа, системы предварительного нагрева или охлаждения). Типичная роботизированная система WAAM показана на рис.7 . Компьютерный интерфейс 1 используется для программирования экспериментального процесса и сбора экспериментальных результатов. Контроллер робота 2 используется для координации движений робота и процессов сварки. Программируемый источник сварочного тока 3 используется для управления процессом сварки. Промышленный робот-манипулятор 4 реализует движение горелки дуговой сварки (GMAW) 5 или горелки газовой вольфрамовой дуговой сварки (GTAW) 6 ,готовое изделие 7. Технология WAAM может быть разделена на различные категории, такие как газовая дуговая сварка (GMAW) , газовая вольфрамовая сварка (GTAW) и плазменная сварка (PAW) .

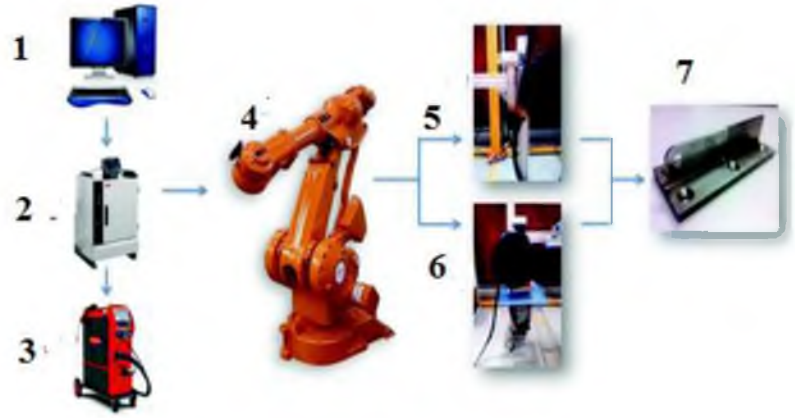


Рис. 7. Принципиальная схема разработанной экспериментальной системы WAAM[1]

Системы WAAM на основе GMAW. *GMAW* - это процесс сварки, при котором между расходуемым проволочным электродом и металлом заготовки образуется электрическая дуга. Проволока обычно перпендикулярна подложке. Для процесса с подачей одной проволоки нет ограничений на движение во время наплавки. В GMAW могут использоваться различные режимы переноса металла, такие как крупнокапельное, мелкокапельное,распыление и импульсное распыление. В настоящее время создано большое количество процессов сварки: STT (Surface Tension Transfer – перенос за счет сил поверхностного натяжения), CMT (Cold Metal Transfer – «холодный перенос электродного металла»). Fast Root (быстрая сварка корня шва), Speed Root (высокоскоростная сварка корня шва) и другие.

Tandem GMAW, двухпроволочный процесс, недавно был описан для создания металлических объектов с высокими скоростями наплавки 15], как показано на рис.8. Авторами было заявлено, что тандемная система может производить интерметаллидный сплав, а также градиентные материалы, но до настоящего времени в литературе нет сообщений об этом. Чтобы увеличить скорость осаждения и эффективность материала, был разработан двухэлектродный GMAW-процесс с использованием специальной горелки GTAW. Сообщалось, что коэффициент использования материалов увеличился более чем на 10% при использовании DE-GMAW для изготовления тонкостенных деталей [16]. Известно, что для любой системы сварочной дуги с использованием проволоки, содержащей более одного электрода или проволки, горелка должна быть выровнена по направлению движения, что накладывает существенное дополнительное ограничение на алгоритм планирования пути при наложении валиков.

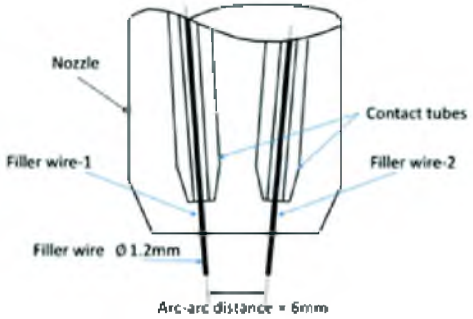


Рис. 8.Схема двухпроводной сварочной горелки для WAAM [15]

Системы WAAM на основе GTAW. GTAW использует не расходуемый вольфрамовый электрод в сочетании с отдельно подаваемой проволокой для получения наплавленного сварного шва, как показано на рис.9. Во время процесса наплавки ориентация подачи проволоки влияет на перенос металла и , как следствии этого на качество наплавленного валика. Можно использовать различные варианты подачи проволоки. Передняя подача обычно осуществляется для АП на основе Ti и Fe. Для предотвращения окисления во время WAAM титановых сплавов на открытом воздухе обычно используется прицепное экранирующее устройство.

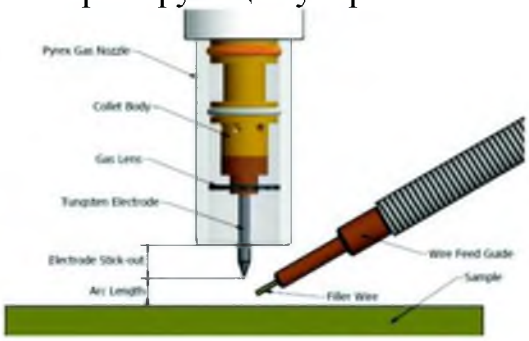


Рис. 9Схема горелки для GTAW [10]

Двухпроволочный WAAM на основе GTAW был разработан для производства интерметаллических и функционально-градиентных материалов [17,18]. Две разных проволоки из отдельных систем подачи подаются в одну ванну расплава для формирования валика. Состав различных материалов можно контролировать путем индивидуальной регулировки скорости подачи проволоки. Предварительный нагрев и газовая защита могут быть использованы для контроля температуры между проходами и предотвращения окисления соответственно.

Система WAAM на основе PAW. PAW как метод АП металлических материалов также широко исследован [19,20]. Плотность энергии дуги при плазменной сварке может в три раза превышать плотность GTAW, вызывая меньшие деформации металла и меньшие размеры параметров наплавленных валиков, с более высокими скоростями наплавки [21]. Была разработана система WAAM на основе микро-**PAW**, как показано на рис.10.Было исследовано влияние параметров процесса на механические свойства и качество поверхности изготовленных деталей [19].

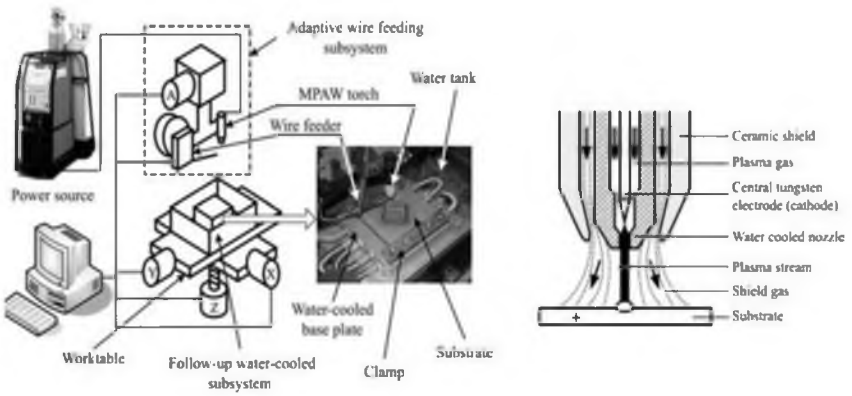


Рис.10. Принципиальная схема системы WAAM на основе PAW(слева) и детали плазменной дуги (справа)[19]

На кафедре сварочного производства ИрНИТУ проводятся работы в этом направлении [11,21,22],а также в области устойчивости дугового разряда[23,24].Процессы изготовления простых форм обычно планируются вручную рис.11.

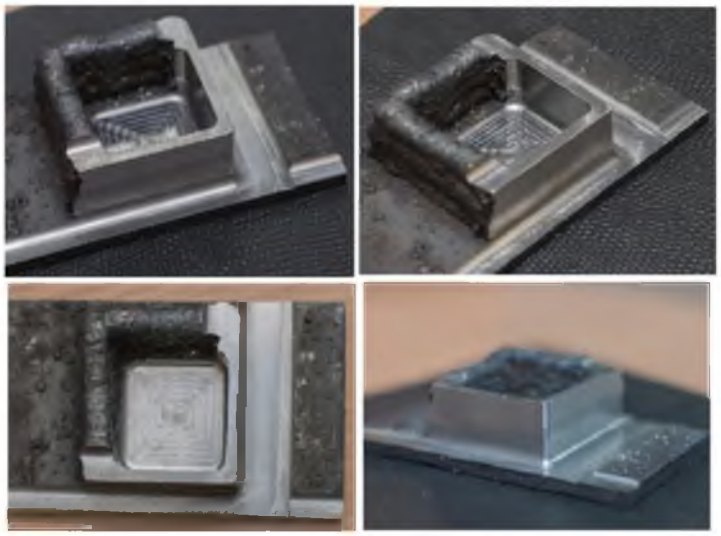


Рис.11.Аддитивная технология WAAM в CO_2 для получения детали в виде квадрата

Однако в большинстве случаев геометрия реалистичной рабочей части является более сложной, и планирование процесса включает в себя несколько задач, в том числе работу с выступами и планирование траектории наплавки на слоях со сложной геометрией . Процессы для этих сложных форм трудно получить вручную, и поэтому автоматическое программирование, не зависящее от сложности деталей, имеет решающее значение для качественной технологии WAAM. Установлено, что во время процесса многослойного наплавления на основе GMAW рабочая поверхность уменьшается при заданной высоте слоя при нанесении слоя. Критическая проблема заключается в том, что высота нанесенного валика не всегда равна высоте установки. В результате происходит неравномерное формирование валиков рис.12. Причину

можно объяснить высокой чувствительностью процесса GMAW к небольшим изменениям параметров наплавляемого слоя, таких как ток дуги, скорость наплавки, напряжение дуги. Кроме того, геометрия слоя связана с условиями тепловыделения в разных слоях, межслоевыми температурами, качеством поверхности предыдущих слоев и деформацией базовой плиты. В дальнейшем накопленная ошибка высоты слоя увеличивается при многослойном наплавлении (т.е. расстояние между сварочным соплом и поверхностью верхнего слоя неизменно изменяется).

Рис.12.Аддитивная технология WAAM в CO_2 для получения детали в виде цилиндра

Известно[23,24], что большая длина дуги может создавать некачественную газовую защиту от окружающей среды, что приводит к пористости или плохому формированию слоя. Напротив, короткая дуга заставляет сварочные брызги прилипать к соплу или даже залипать между соплом и верхней поверхностью слоя. В связи с этим важно отслеживать и контролировать расстояние от сопла до верхней поверхности в режиме реального времени. Насколько нам известно, из проведенного обзора, надежные и точные схемы контроля высоты слоя еще не были полностью разработаны. В тоже время есть работы [25,26] где использовали датчики визуализации со структурированным светом для измерения геометрии борта и разработали адаптивную систему управления на шаг впереди для контроля геометрии. Автор [26] разработали компенсатор с прямой связью для высоты борта, используя лазерный датчик зрения для обнаружения. Проведенные нами исследования показали, что ток дуги, напряжение дуги и скорость наплавки являются тремя важными параметрами процесса. Среди этих основных параметров скорость наплавки оказывает наиболее очевидное влияние на высоту наплавленного слоя. Следовательно, управляющим входом является скорость наплавки, в то время как управляющим выходом расстояние от сопла до верхней поверхности наплавляемых слоев. Для разработки надежного контроллера необходимо понять и установить точную динамическую модель, выражающую взаимосвязь между входом и выходом системы. Нами поставлены задачи исследования по установлению зависимости геометрия наплавленного валика (высота, ширина) от параметров процесса.. Регулируя параметры процесса, такие как скорость подачи проволоки и скорость перемещения, можно получить раз-

личные профили валика. В ходе проведенных исследований установлены технологические особенности технологии связанные с параметрами сварочной дуги, плавления наплавочной проволоки. Ток дуги оказывает наибольшее влияние на внешний вид формовки. Скорость подачи проволоки влияет на высоту наплавляемого валика. Показано, что стабильность формирования наплавленных валиков зависит от режимов переноса металла, которые зависят от условий подачи и ввода проволоки в ванну расплава.

Заключение. Таким образом, проведенный нами обзор показывает, что технология WAAM может обеспечить почти чистую форму компонентов, сводя к минимуму необходимость обработки поверхности. Детали, изготовленные с использованием WAAM, особенно отличаются высокой плотностью и прочными механическими свойствами, сравнимыми с деталями, изготовленными традиционными методами. WAAM также является хорошим вариантом для ремонта и технического обслуживания конкретных компонентов, таких как лопатки турбин, а также пресс-форм и штампов. Изношенные элементы или поврежденные детали можно отремонтировать с помощью WAAM путем нанесения нового материала на его поверхность. Это может привести к значительной экономии средств, поскольку устраняет необходимость производства новой детали с нуля. Аэрокосмическая отрасль является одной из основных отраслей, которая в настоящее время раскрывает весь потенциал WAAM. Для аэрокосмических применений WAAM может использоваться для производства крупных конструкций, таких как усиленные панели и ребра крыльев, что делает весь производственный процесс более устойчивым и экономичным. Например, производитель аэроструктуры, STELIA Aerospace, недавно создал алюминиевые панели фюзеляжа с элементами жесткости, изготовленными непосредственно на поверхности, с использованием технологии WAAM.

Список использованной литературы:

1. Ding D., Pan, Z., Cuiuri, D. et al. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests//Int J Adv Manuf Technol ,2015, 81: 465. https://doi.org/10.1007/s00170-015-7077-3

2. J D Spencer, P M Dickens, C M Wykes Rapid prototyping of metal parts by three-dimensional welding//Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture,1998, Volume: 212 issue: 3, page(s): 175-182

3. Dickens P, Pridham M, Cobb R et al Rapid prototyping using 3-D welding. In: Proceedings of solid freeform fabrication symposium, vol 1992. University of Texas at Austin, Austin, pp 280–290.

4. Brandl E, Michailov V, Viehweger B et al Deposition of Ti–6Al–4V using laser and wire, part I: microstructural properties of single beads/\Surf Coat Technol,2011, 206:1120–1129

5. Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA et al Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies// J Mater Sci Technol,2012, 28:1–14

6.Осколков А.А., Матвеев Е.В., Безукладников И.И., Трушников Д.Н., Кротова Е.Л.. Передовые технологии аддитивного производства металлических изделий //Бюл. ПНИПУ Машиностроительный Материал Наук.,2018, 20 90-105

7.Martina F, Mehnen J, Williams S W, Colegrove P and Wang F Investigation of the benefits of plasma deposition for the additive layer manufacture of Ti-6al-4v J. Mater. Process. Technol.,2012, 212 1377-86

8.Williams S W, Martina F, Addison A C, Ding J, Pardal G and Colegrove P 2015 Wire arc additive manufacturing //Materials Sci. and Technol.,2015, 32 641-7

9.Cong B, Ding J and Williams S W Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3%Cu alloy J.// Adv. Manuf. Technol.,2015, 76 1593-606

10.Cheng B and Chou K Geometric consideration of support structures in part overhang fabrications by electron beam additive manufacturing //Computer-Aided Design,2015, 69 102-11

11. A E Balanovsky, S A Osipov and A. K. Shmakov Research of surface quality of structural components made using additive technology of electric arc welding // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng -2019. Vol. 632. 012087.

12.Xiong J, Zhang G and Zhang W Forming appearance analysis in multi-layer single-pass GMAW-based additive manufacturing //Int. J. of Advanced Manufacturing Technology,2015, 80 1767-76

13.Ding D et al 2015 Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests Int.// J. of Advanced Manufacturing Technol.,2015, 811 465-81

14.Bonaccorso F, Cantelli L and Muscato G Arc welding control for shaped metal deposition process //IFACProceedings,2011, Volumes 44 11636-41 .

15.Melchels FP, Domingos MA, Klein TJ et al Additive manufacturing of tissues and organs// Prog Polym Sci,2012 37:1079–1104

16. Karunakaran K, Bernard A, Suryakumar S et al Rapid manufacturing of metallic objects.// Rapid Prototyping J,2012, 18:264–280

17. Guo N, Leu MC Additive manufacturing: technology, applications and research needs// Front Mech Eng ,2013,8:215–243.

18. Lewandowski JJ, Seifi M Metal additive manufacturing: a review of mechanical properties.// Annu Rev Mater Res,2016 46:151–186.

19.Shen C, Pan Z, Ma Y et al Fabrication of iron-rich Fe–Al intermetallics using the wire-arc additive manufacturing process.// Addit Manuf ,2015,7:20–26

20.Aiyiti W, Zhao W, Lu B et al Investigation of the overlapping parameters of MPAW-based rapid prototyping// Rapid Prototyping J,2006, 12:165–172

21.Balanovsky A E, Grechneva M V, Vu Van Huy, Ponomarev B B. Plasma carburizing with surface micro-melting // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering -2018. – Vol. 327. 042010.

22. Балановский, А.Е. Исследование искровой стадии привязки сварочного дугового разряда на поверхности алюминия//ТВТ.2018.Т.56. №.3. С.329–337.

23. Балановский А.Е. Исследование стадии привязки сварочного дугового разряда постоянного тока прямой полярности на поверхности алюминия//ТВТ.2018.Т.56.№4 .С.504–514.

24. Балановский А.Е. Невидимая структура катодного пятна сварочной дуги с вольфрамовым анодом и пленочным катодом, горящей в инертном газе// ТВТ.2019.Т.57.№.1 .С.11–19.

25. C. Doumanidis, Y.M. Kwak Multivariable adaptive control of the bead profile geometry in gas metal arc welding with thermal scanning//Int. J. Pres. Ves. Pip., 79 (2002), pp. 251-262.

26. A. Heralic, A.K. Christiansson, M. Ottosson, B. Lennartson Increased stability in laser metal wire deposition through feedback from optical measurements//Opt. Lasers Eng., 48 (2010), pp. 478-485

УДК 621.81

Расчет показателей надежности клиноременных передач на примере привода ленточного конвейера.

П.В. Королев, А.И. Мартышенко, С.В. Степанов

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

Разработана методика расчета долговечности клиноременных передач приводов ленточных конвейеров. Представлены эмпирические зависимости для определения ресурса клиноременной передачи в зависимости от конструктивных параметров, условий эксплуатации и режимов технического обслуживания.

Ключевые слова: *клиновые ремни, клиноременные передачи, долговечность, ресурс, ленточные конвейеры, частота пробега ремня, привод ленточного конвейера.*

Королев П.В., канд. техн. наук, доцент ИРНИТУ, e-mail: tpwood@rambler.ru, тел. сот.: +7-914-880-00-40

Мартышенко А.И., студентка ИРНИТУ группа ГГ-17, e-mail: brain_hole@mail.ru, тел. сот.: +7-914-955-04-12,

Степанов С.В., студент ИРНИТУ группа ГО-17, e-mail: Stepp_1000@mail.ru, тел. сот.: +7-902-764-11-25

Студенты направления «Горное дело» при изучении дисциплины «Прикладная механика» выполняют курсовой проект, в котором рассчитывают привод к ленточному конвейеру.

Ленточные конвейеры [1] широко применяются во многих областях: в производстве нерудных строительных материалов для транспортировки гравия и щебня, на открытых горных разработках для транспортировки полезных ископаемых от добывающих механизмов до мест переработки горной массы, на металлургических предприятиях, на машиностроительных предприятиях, на тепловых электростанциях, в гидростроительстве, в химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Привод ленточного конвейера может включать в себя: электродвигатель, зубчатый редуктор, цепную передачу, клиноременную передачу, муфты, тормоза, приводной барабан, аппаратуру управления.

Таким образом, передача мощности от электродвигателя к приводному барабану может осуществляться по различным схемам, например:

Схема 1: электродвигатель, зубчатый редуктор, барабан.

Схема 2: электродвигатель, клиноременная передача, зубчатый редуктор.

Схема 3: электродвигатель, зубчатый редуктор, цепная передача.

На выбор схемы привода оказывает влияние большое число факторов в том числе: область применения и назначения конвейера, требуемая мощность, предпочтения заказчика, требования правил в области промышленной безопасности и т.д.

В заданиях на курсовой проект по дисциплине «Прикладная механика» для студентов направления «Горное дело» используются все перечисленные выше схемы приводов с целью увеличения числа вариантов заданий.

В частности, в задании на курсовой проект для студентов направления «Горное дело» была выбрана схема привода, который включает в себя: электродвигатель, клиноременную передачу, одноступенчатый зубчатый редуктор с цилиндрическими зубчатыми косозубыми колесами, приводной барабан.

При выполнении курсового проекта у студентов не возникает проблем с проектным и проверочным расчетами колес зубчатого редуктора, подшипников, валов и т.д.

А вот с расчетом клиноременной передачи возникла проблема, суть которой в следующем.

Проектный расчет клиноременной передачи заключается в определении тяговой способности, то есть способности ремня передавать заданную нагрузку без буксования. В результате рассчитывают целый ряд параметров передачи: диаметры шкивов, межосевое расстояние, длину ремня, угол обхвата, число ремней, натяжение ветвей ремня, нагрузку на вал шкива. Эти расчеты проводятся по известным формулам согласно: [2, 3, 4] и в данной статье не рассматриваются.

А проверочный расчет клиноременной передачи на долговечность вызвал у студентов затруднения, так как в ГОСТе он не регламентируется.

Долговечность ремня определяет его способность сопротивляться усталостному разрушению. Характеристикой долговечности ремня, как неремонтируемой детали, является ресурс, определяемый в часах работы до замены ремня.

Студенты попытались найти учебные пособия с простой и понятной методикой расчета долговечности клиноременной передачи, но оказалось, что единой методики расчета долговечности нет.

Например, в пособии [5] отмечается, что методические указания пригодны для студентов, выполняющих курсовой проект в течение одного семестра одновременно с прохождением лекционного курса. К сожалению, в данном пособии отсутствует проверочный расчет клиноременной передачи на долговечность.

В пособии [6], для расчета ременных передач применяется система автоматизированного расчета и проектирования машин и механизмов APM WinMachine V8.1 (модуль APM Drive). В пособии приводится формула для определения расчетной долговечности ремня, но ее вид и численные значе-

ния, входящих в нее параметров, значительно отличается от формул определения долговечности ремней, приведенных в учебных пособиях [7] и [8].

Численные значения долговечности клиновых ремней, рассчитанных по рекомендациям пособий: [6, 7, 8], отличаются между собой на 2 порядка!

Необходимость разработки простой, доступной и понятной для студентов методики расчета долговечности клиноременной передачи объясняется следующими факторами:

1. Если определять долговечность (ресурс) клиноременной передачи по широко известной методике [7], то расчетный ресурс будет меньше «Гарантийной наработки ремней» по «ГОСТ 1284.2-89 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия».

2. Если определять долговечность клиноременной передачи по таким методикам, как [6] и им подобным, то расчетная величина ресурса превысит рекомендуемые заводами-изготовителями значения «Ресурса ремней в эксплуатации» в 2-3 раза и не будет соответствовать реальным ресурсам, наблюдаемым в эксплуатации.

3. Не каждый студент может воспользоваться такой «серьезной» литературой как: [9], [10]. В отличие от совсем недавнего прошлого, студенты направления «Горное дело» изучают курс «Прикладная механика», включающего дисциплины «Теория механизмов и машин» и «Детали машин» в течение ОДНОГО СЕМЕСТРА, выполняя при этом и курсовой проект.

4. Но это еще не все трудности: у студентов направления «Горное дело», выполняющих курсовой проект по дисциплине «Детали машин», исключили такую дисциплину, как «Сопротивление материалов»!!! Получается, что при расчете деталей машин студенты не знают: что такое напряжение, что такое предельное и допустимое напряжение и т.д.

5. В технической литературе указывается, что в настоящее время еще не разработан точный метод расчета клиновых ремней на долговечность. Однако ученые и инженеры-практики заметили определенные зависимости между ресурсом клиновых ремней и факторами, которые характеризуют: конструктивные особенности передачи, мощностные характеристики, условия эксплуатации, характер технического обслуживания и т.д.: [11], [12]. Учет этих особенностей позволил вывести эмпирические зависимости, позволяющие с достаточной степенью точности рассчитать ресурс клиноременной передачи, в частности для привода механических прессов, режим работы которых относится к тяжелому режиму.

Авторы использовали уже известные эмпирические зависимости расчета ресурса клиновых ремней механических прессов [12], а также данные фактического ресурса ремней, полученные при эксплуатации приводов ленточных конвейеров для легкого и среднего режимов работы [13]. В результате удалось разработать и рекомендовать к использованию следующую методику проверочного расчета клиноременной передачи на долговечность.

Методика проверочного расчета клиноременной передачи ленточных конвейеров на долговечность.

1. При проектном расчете рекомендуется, если есть такая возможность, выбирать большее значение диаметра ведущего шкива, ограничивая выбор диаметра шкива скоростью ремня не более 30 м/сек.

2. При проектном расчете рекомендуется выбирать из стандартного ряда длину ремня, которая обеспечит частоту пробега ремня не более 10 сек-1. Частота пробега ремня определяется как частное от деления скорости ремня на длину ремня.

3. **В этом случае формула «Степанова», учитывающая конструктивные параметры передачи, для определения ресурса клинового ремня принимает вид:**

$$N_{час} = 1{,}9 \cdot 10^5 \cdot L_p / n \cdot d,$$

где:

Nчас – долговечность (ресурс) клинового ремня в часах работы,

Lp - стандартная длина ремня, мм.,

n – частота вращения ведущего шкива, об./мин.,

d – стандартный диаметр ведущего шкива, мм.

4. Ресурс клинового ремня можно также определить и по формуле «Мартышенко», которая учитывает мощностные характеристики передачи:

$$N_{час} = 240 \cdot L_p / \sqrt[3]{n^2} \cdot \sqrt[3]{P},$$

где:

Nчас - долговечность (ресурс) клинового ремня в часах работы,

Lp - стандартная длина ремня, мм.,

$\sqrt[3]{}$ - знак корень кубический,

n^2 - частота вращения ведущего шкива, об./мин., в квадрате,

P – мощность на ведущем шкиву, кВт.

5. При курсовом проектировании студенты самостоятельно выбирают одну формулу из двух предлагаемых, по которой будут рассчитывать ресурс клиноременной передачи.

6. Полученные расчетные значения ресурса студент обязан сравнить с данными, приведенными в источнике [3]. Согласно «ГОСТ 1284.2-89 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия», ресурс ремня не должен быть меньше 1500 часов (для районов с холодным климатом) и 2000 часов (для всех остальных районов эксплуатации), при заводской гарантии 500 часов. В случае, если расчетные данные получатся меньше рекомендованных, студент обязан вернуться к проектному расчету и провести корректировку выбранных параметров клиноременной передачи.

Выводы:

1. Рекомендуемая методика расчета долговечности клиноременной передачи хорошо согласуется с фактическими данными ресурса клиновых передач приводов ленточных конвейеров для легких и средних режимов работы для всех районов эксплуатации Иркутской области.

2. Рекомендуемая методика расчета долговечности клиноременной передачи позволит преподавателю, который руководит курсовым проектировани-

ем в группах студентов направления «Горное дело», однозначно оценить и сравнить качество спроектированной клиноременной передачи у большого числа студентов.

3. Рекомендуемая методика расчета долговечности клиноременной передачи позволит инженерам-практикам оценить качество эксплуатации и технического обслуживания клиноременных передач в реальных условиях работы, сравнивая фактический ресурс с расчетным: если фактический ресурс клиноременной передачи будет выше расчетного, то, эксплуатация и техническое обслуживание оценивается на «хорошо».

4. Данная работа будет продолжена путем сбора дополнительной информации о фактической долговечности клиноременных передач, с целью уточнения эмпирической зависимости для расчета долговечности.

Список использованных источников:

1. Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н, Гнутов, В. К. Дьячков и др, Под общ. ред. Ю. А. Пертена. Л.; Машиностроение, Ленингр, отд-ние, 1984. - 367 с.

2. ГОСТ 1284.1-89 Ремни приводные нормальных сечений. Основные размеры и методы контроля.

3. ГОСТ 1284.2-89 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия.

4. ГОСТ 1284.3-96 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемые мощности.

5. Расчет клиноременной передачи: методические указания к курсовому проектированию по деталям машин для студентов всех форм обучения / сост. И. Г. Левитский. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанский государственный университет, 2008. – 19 с.

6. Расчет клиноременной передачи: учебное пособие/ В.А. Лиханос, А.В. Бобрышов, В.Ю Гальков. – Ставрополь: Изд-во Ставропольский аграрный государственный университет, 2016. - 17 с.

7. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин, Г.М. Ицкович, В.П. Козинцев. – 3-е изд., стереотипное. Печатается с издания 1987 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 416 с.

8. Королев П.В. Механика, прикладная механика, техническая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Королев П.В.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2020.— 279 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/87388.html.— ЭБС «IPRbooks».

9. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. 5-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1979. –Т. 2 – 550 с.

10.Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для вузов. 3-е изд. перераб и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 352 с.

11.Карбасов О.Г. Надежность клиноременных передач. – М.: Машиностроение, 1976. – 73 с.

12. Явтушенко А.В. Расчет долговечности клиноременных передач механических прессов // Современная техника и технологии. 2013. № 9 [Электронный ресурс]. URL: http://technology.snauka.ru/2013/09/2322.

13. Показатели надежности клиновых ремней и шкивов в эксплуатации. https://reziny.ru/stati/privodnye-remni/pokazateli-nadezhnosti-peredach/pokazateli-nadezhnosti-klinovyh-remnei-i.html.

УДК 656.072

Транспортная мобильность населения

А.Б. Бутузова, Е.А. Потылицын

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

В статье представлен обзор понятия «транспортная мобильность населения». Характеристики, критерии, потребности, тенденции развития транспортной мобильности населения.

Ключевые слова: *транспортная мобильность, приоритет общественного транспорта, индивидуальный транспорт, каршеринг, общественный транспорт, индивидуально-социальная транспортная система*

Бутузова Александра Борисовна, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», тел.: 405135, e-mail: alexa.kupriyanova@gmail.com

Потылицын Евгений Андреевич, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», тел.: 405135, e-mail: potilycin_j@mail.ru

Необходимость в передвижении населения связана с увеличением городских территорий, формированием крупных мегаполисов и городских агломераций, а также с выполнением человеком разных социальных функций, целей и задач. Современный человек уже не представляет свою жизнь без транспорта. Исторически сложилось для своего передвижения к местам работы, отдыха, проживания, человек использует транспортную систему на городских и прилегающих территориях с использованием различных видов транспорта. Таким образом, большая часть передвижения городского населения обеспечивается транспортной мобильностью.

Термин «мобильность» имеет несколько значений. Исторически этот термин изучали многие ученые и мыслители в разных аспектах. И по мнению одного из них, знаменитого английского социолога Дж. Урри, этот термин используется для обозначения того, что двигается или способно двигаться (мобильный человек, мобильный телефон и т.п.), для характеристики неупорядоченного движения масс населения (от английского mob – «толпа»), социальной мобильности, рассматриваемой как движение вверх или вниз в четко выраженной вертикальной иерархии социальных позиций, и для обозначения миграционных потоков.

Транспортная мобильность населения – это процесс безопасного, комфортного, быстрого, доступного и экономически целесообразного перемеще-

ния человека или группы людей, с использованием одного или нескольких видов транспорта. Присутствие данном, этот процедура относительно разделяется в 2 стадии: предварительно-завершающая стадия («пассивная» стадия) также стадия перемещения («активная» стадия). «Пассивная» составная часть автотранспортной мобильности устанавливает требование предоставления автотранспортного сервиса. «Активная» составная часть автотранспортной мобильности – настоящая реализация автотранспортного сервиса (транспортировки). Прямая транспортировка [1].

Транспортная мобильность основана на использовании существующей транспортной инфраструктуры. Одной из необходимости современного общества, считается минимизация затрат времени населения на будничное движение (на работу, домой и т.д.) [1].

Не случайно, в мировой практике имеются проекты новых городов, в которых компактное население жилья, коммунальных служб и рабочих мест приводит к отказу от транспорта («нет транспорта — нет проблем»).

Увеличение транспортной мобильности населения за счет возрастания парка индивидуального автотранспорта в настоящее время приобретает характер фактора, влияющего на основные градостроительные тенденции. При этом возрастает качество жизни населения, расширяются зоны доступности для нового строительства, расширение возможностей выбора места работы и маршрутов проведения свободного времени, движение науки и технического прогресса.

Создавая комфортный городской транспорт и эффективную систему пассажирских перевозок, целесообразно учитывать, что транспортная мобильность должна включать вероятность выбора вероятными пассажирами более комфортного в определенной ситуации типа автотранспорта [2].

В основе потребительских интересов заложена всем известная пирамида Маслоу, в соответствии с которой основными потребностями при использовании транспортных услуг являются безопасность, доступная стоимость и комфорт и т.д.(рисунок 1).

Рис.1. Структура транспортной мобильности человека

В свою очередь все элементы, обеспечивающие транспортную мобильность, включают в себя несколько компонентов, обеспечивающих возможность выполнения данного процесса. В соответствии с этим выделяют следующие элементы транспортной мобильности.

«*Безопасность*» разделяется на эксплуатационную безопасность, транспортную безопасность и экологическую безопасность. Эксплуатационная защищенность являет собой совокупность законодательно поставленных общепризнанных мерок и основанных на их события, нацеленных на обеспечение сохранения жизни и самочувствия всех членов транспортного процесса в ходе его реализации. Транспортная защищенность, с учетом притязаний деятельного законодательства РФ, ориентируется как положение безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов нелегального вмешательства.

Элемент «Комфорт» включает в себя следующие компоненты:

– условия доступа к транспортной мобильности (например, комфортабельность ожидания пассажиром на остановке прибытия транспортного средства);

– условия осуществления транспортной мобильности (например, комфортабельность салона транспортного средства).

В свою очередь элемент «Время» разделяется на время доступа к транспортному обслуживанию (например, временные затраты пассажира на подход к остановке транспортного средства) и время реализации транспортной мобильности (временные затраты пассажира непосредственно на передвижение (перемещение)).

Следующий элемент – «Информация» сейчас время имеет особое значение. Исследованиями установлено, что общественный транспорт теряет около 23 % пассажиров и соответствующей прибыли из-за отсутствия определенной информации. Следовательно, данный элемент в большей степени определяет доступность транспортной мобильности и заключается в информационном обеспечении процесса движения, как с этапа принятия человеком решения о поездке, например, и именно в транспортном средстве. Эта составляющая включает в себя информационные потоки, определяющие принципиальную вероятность транспортной мобильности.

Элемент «Стоимость» определяет экономические условия транспортной мобильности и состоит из стоимостных затрат пассажира на организацию передвижения и стоимостных затрат на осуществление непосредственно самой перевозки с использованием какого-либо вида транспорта.

Доступность и качество транспортных услуг в соответствии с социальными нормами повышает мобильность, качество и уровень жизни населения России. Тенденция к становлению велодвижения заключается не в механическом повышении количества людей, использующих велосипед для поездок по городку, а в разработке концепции транспортного сервиса, базирующегося на средствах мелкого автотранспорта [3].

Повышение мобильности населения может быть обеспечено за счет приоритетного комплексного развития всех систем общественного транспорта. Это касается развития инфраструктуры и систем общественного транспорта в городах и городских агломерациях, а также на транспортных направлениях, связывающихся между собой.

Можно выделить несколько способов повышения транспортной мобильности населения:

•За счет развития инфраструктуры и систем управления движением общественного транспорта в городских условиях сократится время ежедневных систематических поездок и маятниковой подвижности населения.

•За счет развития скоростного транспорта, а также совершенствования структуры маршрутов других видов общественного транспорта, доставляющих пассажиров к скоростным осям транспортных коммуникаций, увеличится радиус агломерационной транспортной доступности, то есть, расширена область эффективной социально-экономической активности вокруг городов.

•Создание систем скоростного и высокоскоростного движения позволит повысить уровень взаимной транспортной доступности крупных социально-экономических центров страны [3].

Приоритетное развитие систем транспорта общего пользования предусматривает повышение конкурентоспособности, доступности и качества перевозок пассажиров до уровня развитых стран. С данной целью необходимо сформировать рынок высококачественных транспортных предложений, обеспечивающий надежную работу и равномерное становление компаний всех видов пассажирского автотранспорта, размеренно стабильное увеличение доступности и свойства осуществляемых ими пассажирских перевозок.

Все виды передвижений населения можно классифицировать по типу организации транспортной мобильности (рис.2).

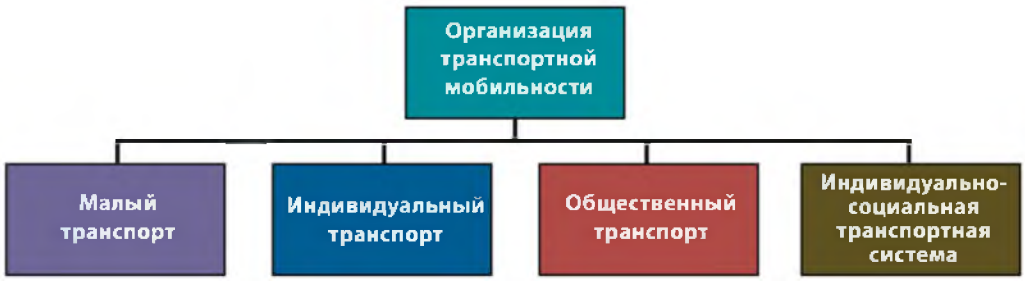


Рис.2. Типы организации транспортной структуры

Малый транспорт. Типичным средством малого транспорта, используемого для перемещения по городу, является *велосипед*. Назревавший десятилетиями «конфликт» между автомобилизацией населения и необходимостью создания комфортных условий проживания в современных городах привел не просто к возрождению, а активному распространению (включая поддержку на государственном уровне) велосипедного движения по всему миру. В настоящее время, становление велодвижения заключается не в механическом

повышении количества людей, использующих велик велосипед для поездок по городку, а в разработке свежей концепции транспортного сервиса, базирующегося на средствах мелкого автотранспорта.

Индивидуальный транспорт. Личный автомобиль является результатом городского уклада жизни, позволяя населению самостоятельно добираться до мест приложения труда из более удаленных районов и тем самым решив проблему большой плотной застройки и низкой доступности жилья в черте промышленного городского центра. Необходимость интегрирования персональных автотранспортных средств в нынешний мегаполис, как условие обеспечивания свободы передвижения человека при отсутствии места и соблюдении экологических общепризнанных мерок, содействует разработке и внедрению в создание автомобилей нестандартных конструктивных схем и дизайна. Так, компания Toyota с 2012 г. разрабатывает комплекс «Гармоничная мобильность», направленный на то, чтобы сделать жизнь горожан как можно более удобной, скомбинировав различные виды средств передвижения. При этом все они должны эффективно взаимодействовать друг с другом [2].

Одним из элементов данного комплекса являются электрические трициклы i-ROOD и микрокары COMaS. Практическая реализация проекта стартовала в октябре 2014 г. в г. Гренобле (Франция) с эксплуатации по схеме каршеринг (car-sharing) 70 электромобилей i-ROOD и COMS, а также 30 станций, оказывающих услуги по зарядке аккумуляторных батарей, обслуживанию и аренде машин.

Каршеринг – вид временной аренды автомобиля с поминутной или почасовой оплатой, часто используемый для коротких внутригородских поездок. Каршеринг подразумевает возможность вернуть машину в любом из пунктов обслуживания. При среднестатистическом времени 40–50 мин, затрачиваемом ежедневно городским населением Европы на передвижение, внедрение схемы мобильности компании Toyota позволяет сэкономить человеку 15 мин на каждой поездке.

Общественный транспорт. Объективная потребность в передвижении, характерная для подавляющего большинства жителей городов, привела к появлению и постоянной модернизации различных видов городского общественного транспорта (городского транспорта общего пользования).

Для своего передвижения население использует автомобильный транспорт. Однако видов типов организации транспортной мобильности на данный момент большое количество, от малого транспорта до новой индивидуально-социальной транспортной системы. С каждым новым уровнем развития научного-технического прогресса происходит повышение и уровня мобильности человека.

Транспортная мобильность населения — это неотъемлемая часть жизни современного человека. Именно транспорт позволяет увеличивать уровень мобильности человека, позволяет увеличить эффективность выполняемых им функций. В свою очередь огромную роль в создания условий для осуществления транспортных услуг играет государственная политика. Ведь за счет ка-

чественно выстроенной инфраструктуры, элементы транспортной мобильности (время, стоимость, безопасность, комфорт и т.д.) могут эффективно удовлетворять базовые потребности населения при использовании транспортных услуг.

Список использованной литературы:

1. Сибирко И.В., Степушина Е.А. Мобильность населения как социальный приоритет государственной транспортной политики и фактор повышения качества жизни населения России // Проблемы и перспективы экономики и управления материалы VII Международной научной конференции. 2018. С. 5-10.

2. Вахненко Р.В. Транспортная мобильность населения региона в условиях международной интеграции связей // Материалы XIV совещания географов Сибири и Дальнего Востока Учреждение Российской академии наук, Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН. 2014. С. 320-323.

3. Рыбкин С.А. Транспортная мобильность как фактор развития межкультурных и межцивилизационных коммуникаций в современном мире // Грани культуры: актуальные проблемы истории и современности // Материалы XIII научной конференции с международным участием: сборник статей. 2018. С. 352-360.

4. Гончаров В.С., Иванов С.Ю. Анализ территориальной мобильности трудовых ресурсов // Академия труда и социальных отношений // Центр социологических исследований // Москва, 2014.

5. Тиликина Н.В. Факторы территориальной мобильности рабочей силы и их классификация // Демография в социальной экономики. 2016. № 2 (10). С. 163-169.

6. Евсеева А.И. Новая городская мобильность: тенденции развития транспортных систем // Государственное управление. Электронный вестник. 2016. №59. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-gorodskaya-mobilnost-tendentsii-razvitiya-transportnyh-sistem.

7. Коган Д.А. Homo mobilis – человек мобильный // Автомобильный транспорт. 2016. № 1. С. 32 – 37. URL: http://eco-madi.ru/sites/default/files/32-37.pdf.

8. Голенкова З.Т., Игитханян Е.Д. Потенциальная миграционная мобильность населения России (региональный аспект) // Вестник ИКИАТ. 2010. №1 (20). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/potentsialnaya-migratsionnaya-mobilnost-naseleniya-rossii-regionalnyy-aspekt.

9. Строев П.В., Кан М.И. Пространственная мобильность населения: экономический и социальный аспекты // Экономика. Налоги. Право. 2016. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvennaya-mobilnost-naseleniya-ekonomicheskiy-i-sotsialnyy-aspekty.

10. Сагинова О.В. Международный опыт развития мобильности в мегаполисе // ЭТАП. 2019. №1. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnyy-opyt-razvitiya-mobilnosti-v-megapolise.

УДК 656.021.2

Анализ зависимости сезонной неравномерности пассажиропотоков от количества обучающихся в учебных заведениях на примере г. Иркутска

Л.П. Федорова

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

В статье рассмотрены взаимосвязи между количеством обучающихся и сезонной неравномерностью пассажиропотоков. Определены закономерности по месяцам года между транспортной подвижностью и календарным графиком обучения студентов.

Ключевые слова: *транспортная подвижность населения, пассажиропотоки, сезонная неравномерность пассажиропотоков.*

Федорова Лидия Петровна, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», тел. 89501101244,e-mail: Lidyafedorva@yandex.ru

Город Иркутск, несомненно, является одним из крупнейших образовательных и научных центров в России. В городе действует шесть университетов, институты, многочисленные филиалы различных вузов, а также семнадцать средних специальных учебных заведений.

По статистическим данным в городе обучается около 110 тыс. человек, из них 85-90 % пользуются городским общественным транспортом, а это приблизительно 1/6 часть всего населения города (рисунок 1).

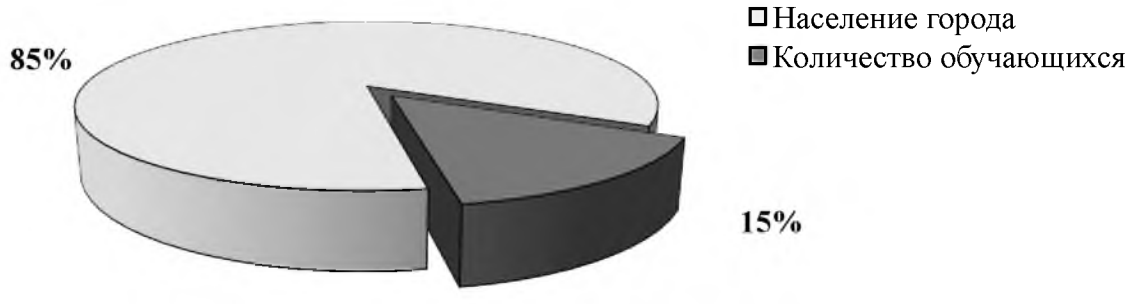


Рис. 1. Распределение жителей г.Иркутска

Из вышеизложенного следует сделать вывод, что обучающиеся г. Иркутска играют значительную роль в формировании пассажиропотоков в городе, так как, в основном, для передвижения используют городской пассажирский транспорт.

Далее следует проанализировать количество перемещений обучающихся в течение года. Взяв за основу типичный календарный график дневного обучения студентов, можно сделать следующие выводы:

- основное обучение студентов осуществляется с 01 сентября по 26 декабря (первый семестр), на это время приходятся стабильные передвижения обучающихся к месту учебы;
- далее идет резкий спад количества передвижений (новогодние праздники, каникулы), и продолжается он примерно до начала февраля (начало второго семестра);
- затем следует резкое возрастание пассажиропотока обучающихся, и так до начала мая (начала сессии у старших курсов);
- потом происходит плавное снижение количества передвижений из-за окончания постоянных занятийу последних курсов (преддипломная практика, написание ВКР);
- в июне продолжается плавное снижение количества передвижений обучающихся на городском общественном транспорте (окончание постоянных занятийу остальных курсов, сессия до конца июня);
- резкое снижение количества передвижений обучающихся к месту обучения (начало практики, каникулы).

Приведённые выводыпредставим графически и покажем наглядно зависимость транспортной подвижности обучающихся ($П_{тр}^{об}$) на дневном отделении от календарного графика обучения (рисунок 2), при этом примем, что каждый обучающийся минимум два раза пользуется общественным транспортом в дни обучения, а также учтем, примерно от 3 до 5 процентов студентов проживают в близи учебного заведения и осуществляют перемещения пешком.

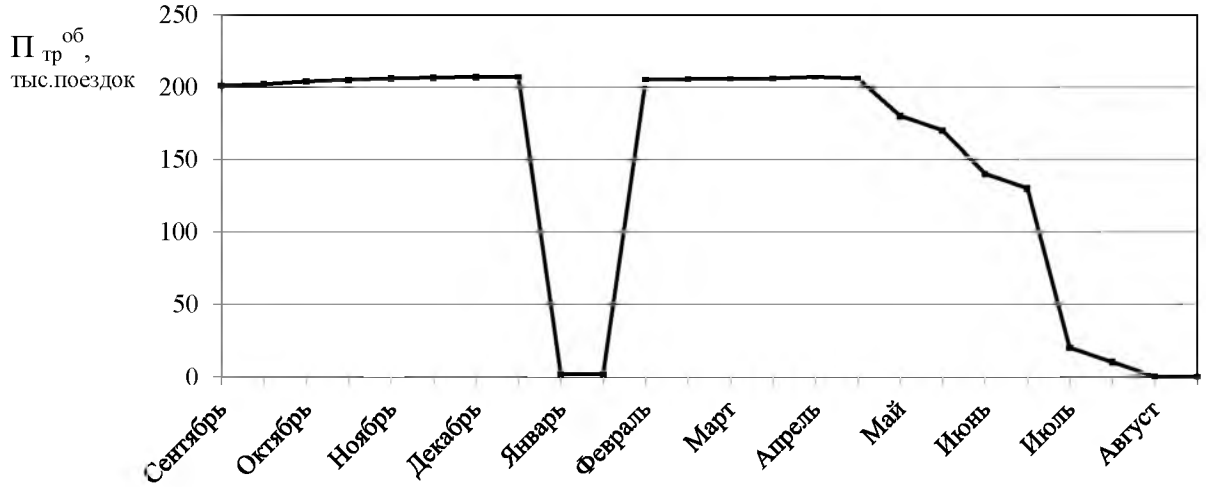


Рис. 2. Распределение количества передвижений обучающихся дневного отделения в течение года

Аналогично, проведя анализ типичногокалендарного графика обучения студентов заочного отделения, сделаем следующие выводы:

- занятия в основном начинаются с начала марта и продолжаются до конца апреля,
- в мае месяце студенты заочного отделения проходят производственную практику;
- в начале июня обучающиеся последнего курса заочного отделения приезжают на государственную итоговую аттестацию, которая длится весь июнь месяц.

Далее выводы представим графически (рисунок 3).

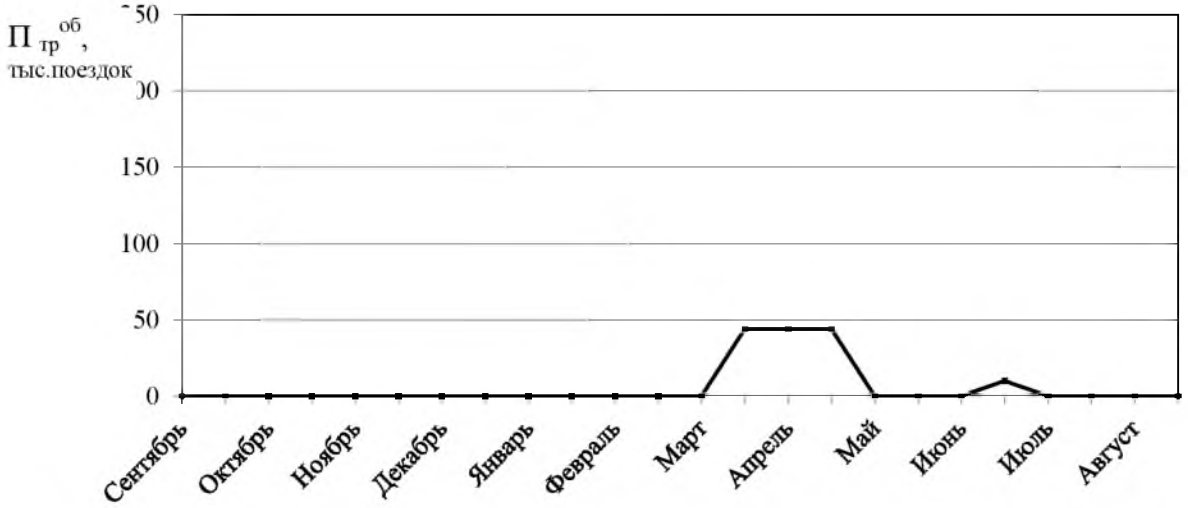


Рис. 3. Распределение количества передвижений обучающихся заочного отделения в течение года

Совместив два полученных графика, получим общую зависимость количества поездок обучающихся на городском общественном транспорте от календарного графика учебного процесса (рисунок 4).

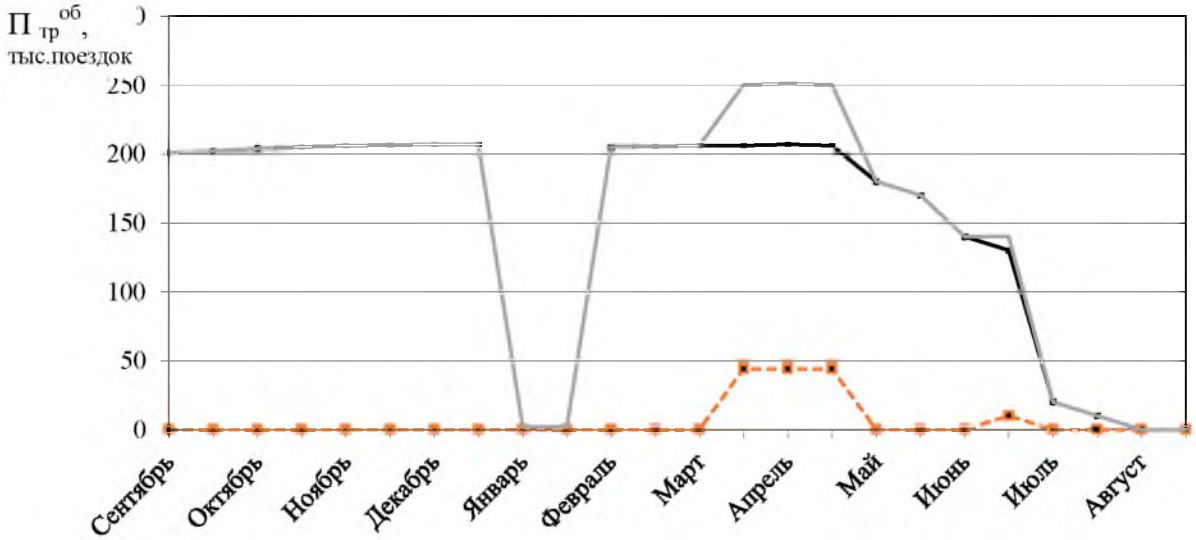


Рис. 4. Распределение количества передвижений обучающихся в течение года

На основании графика можно сделать вывод, что при учете сезонной неравномерности пассажиропотоков, а, следовательно, и при расчете коэффициента сезонной неравномерности для городского пассажирского транспорта, следует в обязательном порядке учитывать зависимость количество обучающихся в городе, и календарный график работы образовательных учреждений.

Поднимая вопрос о неравномерности пассажиропотоков в городе Иркутске, связанный с получением образования, нельзя не учесть следующий момент.

Так как город является одним из главных образовательных центров, в период прохождения вступительных испытаний в учебных учреждениях, резко увеличивается пассажиропоток, за счет прибытия абитуриентов и их родителей из районов и других городов.

Начало вступительной кампании стартует с 20 июня, и уже тогда плавно начинает возрастать пассажиропоток в городе.

В первых числах июля идет резкий скачок прибывающих абитуриентов, так как в школах заканчиваются выпускные экзамены, выдаются сертификаты ЕГЭ и проходят выпускные балы.

Пик увеличения пассажиропотока приходится на конец июля начало августа, когда заканчивается приём документов на поступление и начинается зачисление в учебные заведения.

Далее проведем анализ количества абитуриентов. В среднем, по статистическим данным, количество бюджетных мест в образовательные учреждения г. Иркутска составляет 20-25 тысяч мест, на которые претендуют от 3 до 4 человек, поэтому пассажиропоток в пиковый период проведения вступительной кампании будет составлять от 70 до 90 тысяч человек с учетом сопровождения абитуриентов родителями при совершении в день минимум двух поездок.

Проведенный анализ представим на графике (рисунок 5).

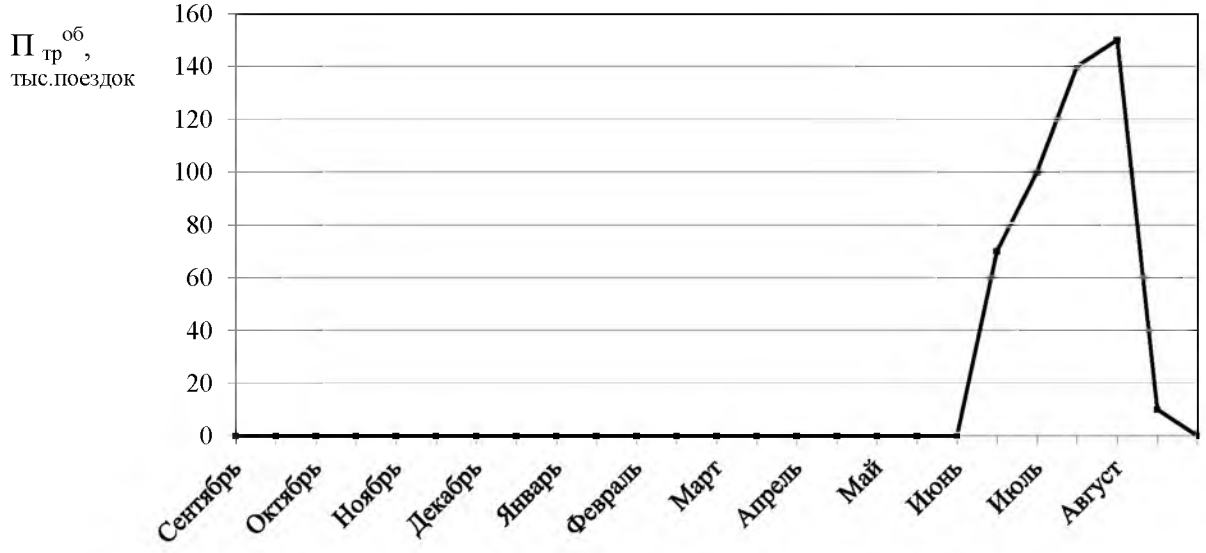


Рис. 5. Распределение количества передвижений абитуриентов в сопровождении родителей в течение года

На основании представленного графика следует сделать вывод, что сезонная неравномерность пассажиропотоков в городе определенно зависит от количества учебных заведений, которые в данный момент ведут образовательную деятельность, и в последующие годы будут проводить набор обучающихся на первые курсы.

Список использованной литературы:

1. Афанасьев Л.Л. и др. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: Учебник для студентов вузов. - М.: Транспорт, 2004. - 333 с.

2. Гудков В.А., Миротин Л.Б. и др. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов.- М.: Горячая линия - Телеком, 2004.

3. Миротин Л.Б. Логистика: Общественный пассажирский транспорт. - М.: Экзамен, 2007. -224с.

4. Бочкарев А. А. Логистика городских транспортных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. - 2-е изд. пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. - 150 с.

5. Бутузова А.Б., Потылицын Е.А. Мониторинг транспортной подвижности населения с помощью данных сотовой связи. В сборнике: Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. В 6 частях. 2017. С. 26-31.

6. Преловская Е.С., Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Энгель Б. Транспортное планирование в Российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц. Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2017. № 6 (58). С. 113-119.

7. Яценко С.А., Колганов С.В. Маркетинговые исследования спроса на рынке пассажирских транспортных услуг в г. Иркутске. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 5 (64). С. 122-128.

8. Яценко С.А., Колганов С.В., Тарханова Н.В. Исследования дальности поездки пассажиров на городском маршруте с одновременным использованием автобусов разной вместимости. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С. 230-235.

УДК 629.3.018

Результаты оценки шума в салоне транспортных средств в реальных условиях движения

Ю.В. Галевко, Т.В. Иванова, А.А.Тюркин, А.В. Бочаров

НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», 141830, МО, Дмитровский р-он, п. Автополигон

ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2,

Приведен анализ действующих нормативных требований к шуму в салоне транспортного средства. Представлены результаты исследования режимов движения автомобильных транспортных средств категории M, N1 и N2 в реальных условиях эксплуатации и анализ акустических характеристик внутреннего шума автомобиля, измеренных в этих условиях. Описана методика испытаний автомобиля в реальных условиях эксплуатации и в условиях автополигона.

Ключевые слова: *автотранспортные средства, внутренний шум, маршруты движения, эквивалентный уровень звука*

Галевко Юрий Владимирович, к.т.н., с.н.с., зав. лабораторией виброакустики отделения экологии транспортных средств, тел.: +7916 592-2238, E-mail: yu.galevko@autorc.ru

Иванова Татьяна Васильевна, старший научный сотрудник отделения экологии транспортных средств,

Тюркин Антон Александрович, инженер-исследователь 1 категории отделения экологии транспортных средств

Бочаров Андрей Викторович, к.т.н., начальник Управления разработки систем оценки соответствия центра «Оценка соответствия транспортных средств и их компонентов», E-mail:a.bocharov@nami.ru

В прошлом столетии в нашей стране и за рубежом рядом исследований было установлено отрицательное воздействие шума на организм человека. Звук при длительном воздействии вызывает нарушения нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной систем организма, приводит к потере слуха, остроты зрения, к некоторым хроническим заболеваниям, к снижению работоспособности и производительности труда [1]. Управляя транспортным средством, водитель выполняет работу, т.е., его можно рассматривать как участника трудового процесса. Что касается пассажиров, то они, находясь в транспортном средстве, фактически, отдыхают. С учетом этих существенных

обстоятельств можно оценить степень воздействия внутреннего шума в транспортном средстве на здоровье водителя и пассажиров, опираясь на результаты исследований, проведенных в сфере гигиены труда за более чем полувековой период.

Требования к внутреннему шуму транспортных средств включены в технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) [2]. Нормирование шума на рабочем месте водителя осуществляется посредством ГОСТ 12.1.003-2014 [3], санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [4] и санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.4.3359-16 [5]. В качестве методов оценки уровня шума при эксплуатации транспортных средств используется ГОСТ ISO 9612-2015 [6], который практически полностью гармонизирован с ISO 9612:2009 [7]). При сертификации по ТР ТС 018/2011 используется ГОСТ 33555-2015 [8], гармонизированный с ISO 5128 [9]. Несмотря на такое большое количество стандартов, относящихся к рабочему месту водителя, однозначной взаимосвязи между ними не наблюдается, как в части установления предельных требований, так и в части методов измерения и оценки внутреннего шума. Существующий в настоящее время метод ISO 5128 разработан в 70-е годы прошлого столетия и явно методически устарел и не отвечает современному развитию автомобильной техники.

Эквивалентный уровень звука в 80 дБ А согласно стандарту ISO 1999 [10] является пороговым значением, выше которого возникает вероятность нарушения слуха, связанного с воздействием шума. И, как правило, для большинства рабочих мест этот уровень и используется в качестве допустимого.

В соответствии с концепцией биологической эквивалентности влияния шума и нервной нагрузки, на основании физиологических, гигиенических и клинических исследований, проведенных в условиях производства и лабораторно [1], было сделано заключение об оптимальных, в зависимости от тяжести и напряженности труда, уровнях шума, которые могут считаться безопасными с позиции сохранности здоровья и работоспособности.

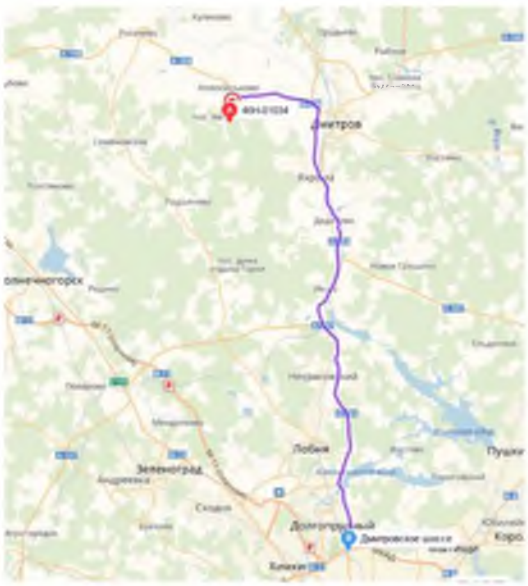
При управлении современным автомобилем водитель не испытывает чрезмерных физических нагрузок, то есть, тяжесть его труда низкая, однако необходимость концентрации внимания и точности управляющих воздействий свидетельствуют о наличии нервно-эмоциональной напряженности у водителя, то есть, присутствует высокая напряженность труда. Развитие автомобильной техники привело к тому, что шум в салоне автомобиля является негативным фактором при восприятии водителем звуковой информации, связанной со звуковыми командами от интеллектуальных систем автомобиля, от навигаторов, различных устройств, обеспечивающих двухстороннюю громкую связь, например, при работе системы ЭРА-ГОНАСС. И чем ниже «фоновый шум», создаваемый движением автомобиля по дороге, тем ниже могут быть уровни этих сигналов от вышеперечисленных устройств, которые могут

быть правильно восприняты водителем, и по ним может быть принято правильное решение.

Целью проведения исследований, описанных в статье, является разработка нового метода испытаний для измерения внутреннего шума в транспортном средстве. Предполагается, что разработанный метод может быть применен для оценки в процессе реальной эксплуатации рабочего места водителя в отношении шума и при сертификации транспортных средств. Исследования были направлены на экспериментальную разработку испытательного цикла, приближенного к реальным условиям движения. Метод испытаний должен учитывать состояние дорожного покрытия и возможность распознания предупреждающих звуковых сигналов бортовых интеллектуальных транспортных систем. Первый этап исследований является постановочным для определения методики, маршрутов движения и способов обработки результатов измерений. Он необходим для того, чтобы на следующем этапе заниматься набором статистики по результатам измерений внутреннего шума.

На первом этапе исследования были разработаны и реализованы в процессе испытаний:

- 2 городских маршрута (М3, М4);
- 2 комбинированных маршрута (М1, М2);
- 2 магистральных маршрута (М5, М6), рис.1.
- Имитация городского цикла М7, имитация магистрального цикла М8



Краткое описание маршрутов

- маршрут М1 (г. Дмитров- движение по городу и выезд за город))
- маршрут М2 (г. Дмитров-г. Яхрома-г. Дмитров);
- маршрут М3 (г. Талдом-движение по городу)
- маршрут М4 (г. Москва-движение по городу)
- маршрут М5 (Автополигон – г. Москва (МКАД))
- маршрут М6 (Автополигон – г. Дмитров)

Рис. 1. Схема магистральных маршрутов М5 и М6 и краткое описание маршрутов

На транспортных средствах устанавливались 1/4" ICP микрофоны свободного поля на высоте 0,7 м от подушки сиденья и 0,2 м от оси сидения у левого и правого ушей водителя и пассажиров. При движении по маршрутам

в реальных дорожных условиях записывался временной сигнал звукового давления с микрофонов, установленных на месте водителя и пассажиров. Параллельно с сигналами звукового давления проводилась запись скорости движения и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Для записи сигналов использовался измерительно-регистрирующий блок LMS Scadas Mobile и ноутбук Getac S400 Standart. Обработка и анализ записанных данных проводилось с использованием программного обеспечения LMS TEST/LAB 14A.

На этом этапе испытаниям подвергались 10 автомобилей категорий M1, N1 и N2. Автомобили, испытанные в реальных условиях эксплуатации, были дополнительно испытаны в условиях автополигона НИЦИАМТ по методике ГОСТ 33555 (интенсивный разгон и движение с постоянными скоростями) и ОСТ 37.001.492 [11] (движение по циклам при имитации городского и магистрального циклов в соответствии с ГОСТ Р 54810-11 [12]: M7 – имитация городского, M8 – имитация магистрального цикла) на динамометрической дороге.

Измерения проводились при имитации городских и магистральных режимов движения автомобиля в соответствии с ездовыми циклами. При имитации городских циклов разгон с места начинают с передачи, используемой при трогании автомобиля. Отсчет уровней звука и времени движения начинают в момент трогания и заканчивают в момент остановки автомобиля в конце измерительного участка. При имитации магистральных циклов заезд начинается с установившейся скорости. Отсчет уровней звука и времени движения начинается в момент пересечения начальной границы измерительного участка, а заканчивается в момент пересечения конечной границы измерительного участка.

В процессе обработки данных для каждого маршрута и автомобиля были построены временные зависимости скорости автомобиля, частоты вращения коленчатого вала двигателя, эквивалентного и мгновенного уровней звука, рис.2. Также для каждого маршрута и автомобиля были построены круговые диаграммы скоростных режимов движения.

Анализ полученных данных показал, что интенсивность движения в мегаполисе и небольшом городе существенно отличается. Скорость движения в мегаполисе более 50% находится в диапазоне до 20 км/ч. При попадании в пробки этот диапазон может доходить до 70 %, Таблица 1. Для небольших городов этот диапазон важен, но не всегда является превалирующим. Для пригородных и магистральных режимов движения основной скоростной диапазон 60-80 км/ч, и он является доминирующим. Однако данные, полученные по 10-ти транспортным средствам и только по 6-ти маршрутам, не считаются статистически представительными и требуют дальнейшего экспериментального подтверждения.

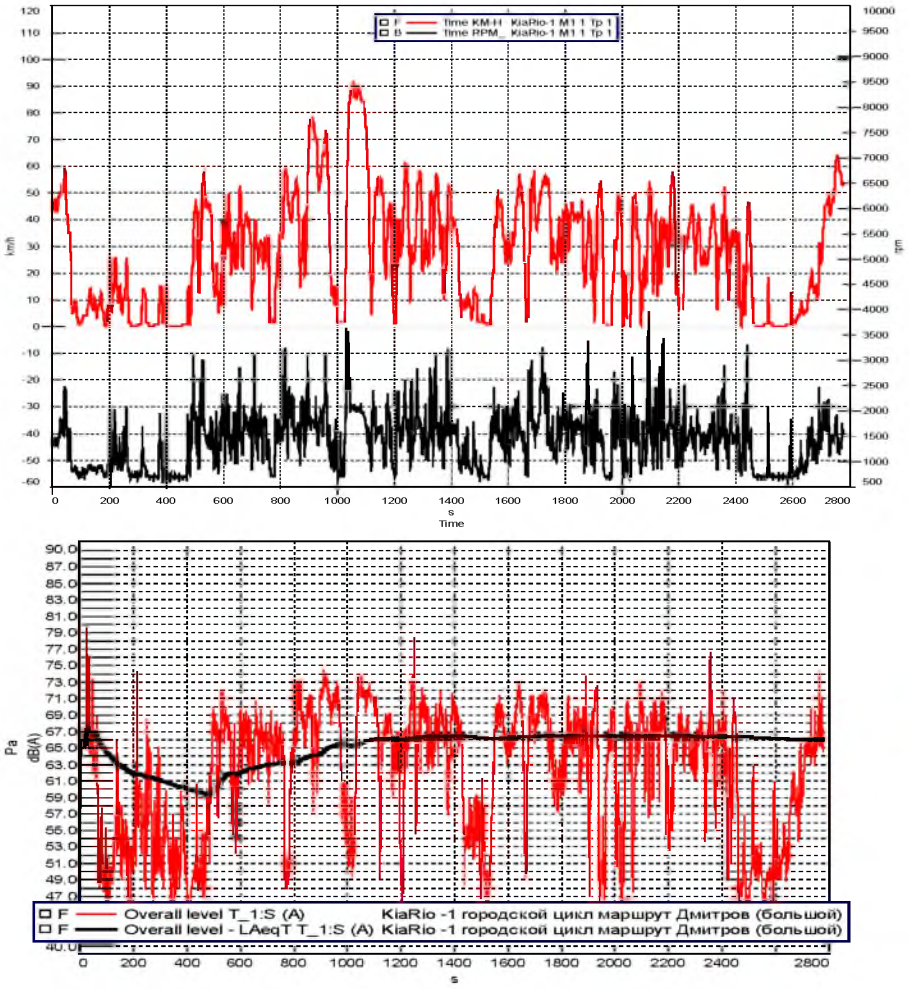


Рис. 2. Временные зависимости частоты вращения коленчатого вала, скорости движения, эквивалентного и мгновенного уровней звука при движении автомобиля категории М1 с автоматической КП по маршруту М1

Как видно из представленных ниже в Таблице 2 данных наибольшая сходимость наблюдается между комбинированными циклами и имитацией магистрального цикла на динамометрической дороге, что, в принципе, не поддается однозначному логическому объяснению. Анализ данных показал, что максимальное воздействие звука получено при движении за городом и на магистралях, что определяется большими скоростями и, предположительно, доминированием шума от взаимодействия шин с дорожным покрытием, который сильно зависит от скоростного режима движения и, естественно, от его состояния. Однако, эти предположения необходимо экспериментально оценить на следующем этапе исследования и на их основе выработать требования к дорожному покрытию, которое будет использоваться при стандартизованных испытаниях.

Таблица 1 - Время нахождения транспортного средства (%) в скоростных диапазонах при движении автомобилей по маршруту

	Скоростной диапазон движения автомобиля, км/ч					
Категория АТС	0 – 20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120
Маршрут М1						
М1	**34.1%**	31.0%	26.8%	5.7%	1.7%	0.7%
N1/M1G	**33.7%**	28.4%	25.4%	9.3%	1.9%	1.3%
N2	**35.5%**	30.1%	26.2%	6.3%	1.9%	1%
Маршрут М2						
M1	21.8%	16.9%	18.9%	**29.6%**	12.6%	0.25%
N1/M1G	15.1%	15.3%	20.3%	**34.8%**	12.7%	1.7%
N2	21%	16%	22%	**34.2%**	6.8%	0%
Маршрут М3						
M1	18%	32.8%	**37.4%**	13.4%	0%	0%
N1/M1G	10.6%	37.2%	**34.9%**	14.8%	0.22%	0%
N2	28.4%	24.1%	**33.6%**	11.7%	2.3%	0%
Маршрут М4						
M1	**47.6%**	24.5%	20.5%	7.5%	0%	0%
N1/M1G	**53%**	26.6%	15%	5.4%	0%	0%
N2	**54.5%**	24.3%	16.3%	4.9%	0%	0%
Маршрут М5						
M1	12.5%	8.5%	12.8%	**36.7%**	25.4%	4.1%
N1/M1G	9%	6.6%	13.5%	**42.1%**	25.3%	3.5%
N2	8.9%	6.2%	16.9%	**42.4%**	22.2%	3.3%
Маршрут М6						
M1	5.3%	8.3%	26.8%	**44.6%**	12.2%	2.4%
N1/M1G	3.1%	9%	24.6%	**44.7%**	15.8%	2.6%
N2	4.6%	9.2%	23.6%	**44%**	17.3%	1.4%

Также, для большинства комбинированных и городских циклов получены идентичные результаты, что требует дальнейшего исследования для получения объяснения данным явлениям.

Таблица 2 - Средние эквивалентные уровни звука в салоне автомобиля категории М1 с автоматической коробкой передач

Маршрут	Точки измерения (точки установки микрофонов)							
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8
Средние (М1 и М2)	66.7	64.2	64.8	66.9	68.6	66.0	66.4	68.9
Средние (М5 и М6)	70.6	68.0	67.2	69.7	72.0	69.3	69.5	72.2
Средние (М3 и М4)	66.3	63.8	63.0	65.5	67.9	65.4	65.8	67.9
М7	**59.78**	**57.56**	**56.93**	**58.18**	**61.41**	**59.51**	**59.62**	**61.07**
М8	**66.93**	**64.54**	**63.92**	**66.02**	**68.26**	**66.18**	**66.14**	**67.78**

Анализ полученных данных показал, что распределение по скоростям при движении в реальных условиях и в случае имитации городского и магистрального циклов приблизительно одинаковые. В то же время измеренные эквивалентные уровни звука в реальных условиях эксплуатации в большинстве случаев выше, чем при имитации этого режима движения в условиях автополигона. Наибольшее отличие в эквивалентных уровнях получено при сравнении имитации городского цикла и движением в городских условиях.

При движении в реальных условиях измеренный максимальный уровень звука существенно больше, чем измеренный в условиях полигона по методике ГОСТ 33555, несмотря на то что методика ГОСТ предусматривает большие скоростные режимы движения автомобиля и работы двигателя. Этот факт также требует дальнейшего экспериментального объяснения. В целом, первый этап работы позволил отсортировать данные и выработать программу обработки данных, а также наметить дальнейшие пути исследования. Проведение последующих работ в принятом направлении позволит набрать статистический материал по наиболее частым режимам движения и определиться с методикой проведения испытаний по оценке внутреннего шума автомобилей на дорогах автополигонов, которую планируется включить в нормативный документ.

Список использованной литературы:

1. Суворов Г. А., Денисов Э. И., Шкаринов Л. Н. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. - М.: Медицина, 1984. - 240 с.

2. ТР ТС 018/2011 ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА «О безопасности колесных транспортных средств».

3. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования».

4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

5. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

6. ГОСТ ISO 9612-2015 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах».
7. ISO 9612:2009 «Акустика. Измерение шума и оценка его воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах».
8. ГОСТ 33555-2015 «Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний».
9. ISO 5128-80 «Акустика. Измерение шума в салоне автомобиля.»
10. ГОСТ Р ISO 1999 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума».
11. ОСТ 37.001.492-93 «Внутренний шум автотранспортных средств. Методы определения эквивалентных уровней».
12. ГОСТ Р 54810-11 «Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний».

УДК 629.113

Учебно-измерительный комплекс для определения экологических свойств двигателя.

Т.И. Кривцова, М.В. Тихонов

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

Экологическая ситуация в мире с каждым годом становиться все сложнее. Ежегодно в России от токсичных выхлопов автомобилей погибает полмиллиона людей. Контроль за экологическими свойствами автомобиля проводится формально в рамках технического осмотра транспорта. Очень важно прослеживать зависимость выбросов токсических веществ с отработавшими газами от технического состояния двигателя, а также от качества топлива. Для этого на кафедре Автомобильный транспорт разработан учебно-измерительный комплекс для определения экологических свойств автомобиля.

Ключевые слова: *измерение экологических свойств, токсичные выхлопы, отработавшие газы.*

Кривцова Татьяна Игоревна, доцент кафедры Автомобильный транспорт, тел.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Тихонов Максим Викторович, студент группы ААБ-16-1, кафедра Автомобильный транспорт, ИРНИТУ, телефон +7 950 136-98-38, email: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Ежегодно в России от токсичных выхлопов автомобилей погибает полмиллиона людей, а это население нашего города Иркутск. Токсичность свойство веществ вызывать отравление организма. У каждого второго жителя Иркутска имеется личный автомобиль и примерно половина этих автомобилей старого года выпуска, которые давно уже устарели, под экологические современные стандарты не подходят, а также техническое состояние этих автомобилей и качество топлива оставляет желать лучшего. Эти самые автомобили и выделяют в окружающую среду вредные газы [7], такие как угарный газ, сернистый бензин и создаваемый им оксид серы, диоксид серы, этилированные бензины обогащают воздух свинцом, токсичные соединения.

Нефтепродукты в современное время являются одной из важнейших составляющих частей жизнедеятельности человека. Как различных отраслях промышленности, так и в личных целях человек использует углеводороды в качестве одного из видов энергии. Для этого на кафедре Автомобильный транспорт разработан учебно-измерительный комплекс для определения экологических свойств автомобиля [8].

Для измерение экологических и тягово-скоростных свойств двигателя внутреннего сгорания, работающих на разных видах жидких топлив, в том числе и на нетрадиционных на кафедре автомобильный транспорт разработали установку, которая состоит из

- двигателя Toyota 3S-fe (Рядный, 4-цилиндровый, распределенный впрыск топлива экологический евро класс 2.)
- редуктора
- электродвигателя, с помощью которого можно измерить мощность двигателя
- газоанализатора МЕТА, НПФ «МЕТА» ГАЗОАНАЛИЗАТОР СО-СН-Т АВТОТЕСТ ТУ 4321-005-21298618-96

Рис. 1. Газоанализатор «META»

Газоанализатор используют для измерения вредных веществ из выхлопной трубы автомобиля: углекислый газ, оксиды азота, окись углерода, кислород

Газоанализатор инфралитического действия [2] работает на принципе поглощения различными газовыми компонентами инфракрасных лучей (ИК-193 лучи) с определенной длиной волны. Например, окись углерода CO поглощает ИК-лучи с длиной волны 4,7 мкм. Причем степень поглощения ИК-лучей пропорциональна концентрации CO.

Газоанализатор состоит (рис. 3) из газозаборного зонда 1, отделителя конденсата 2, фильтров 3 и 4, мембранного насоса 5, параболических зеркал 6 с источниками инфракрасного излучения, синхронных электродвигателей 7, обтюраторов 8, сравнительной кюветы 9 для газа CO и сравнительной кюветы 11 для газа CO_2, инфракрасного лучеприемника 10 для газа CO и инфракрасного лучеприемника 13 для газа CO_2, емкостного датчика 14 для газа CO и емкостного датчика 12 для газа CO_2, измерительной кюветы 15 для газа CO и измерительной кюветы 16 для газа CO_2.

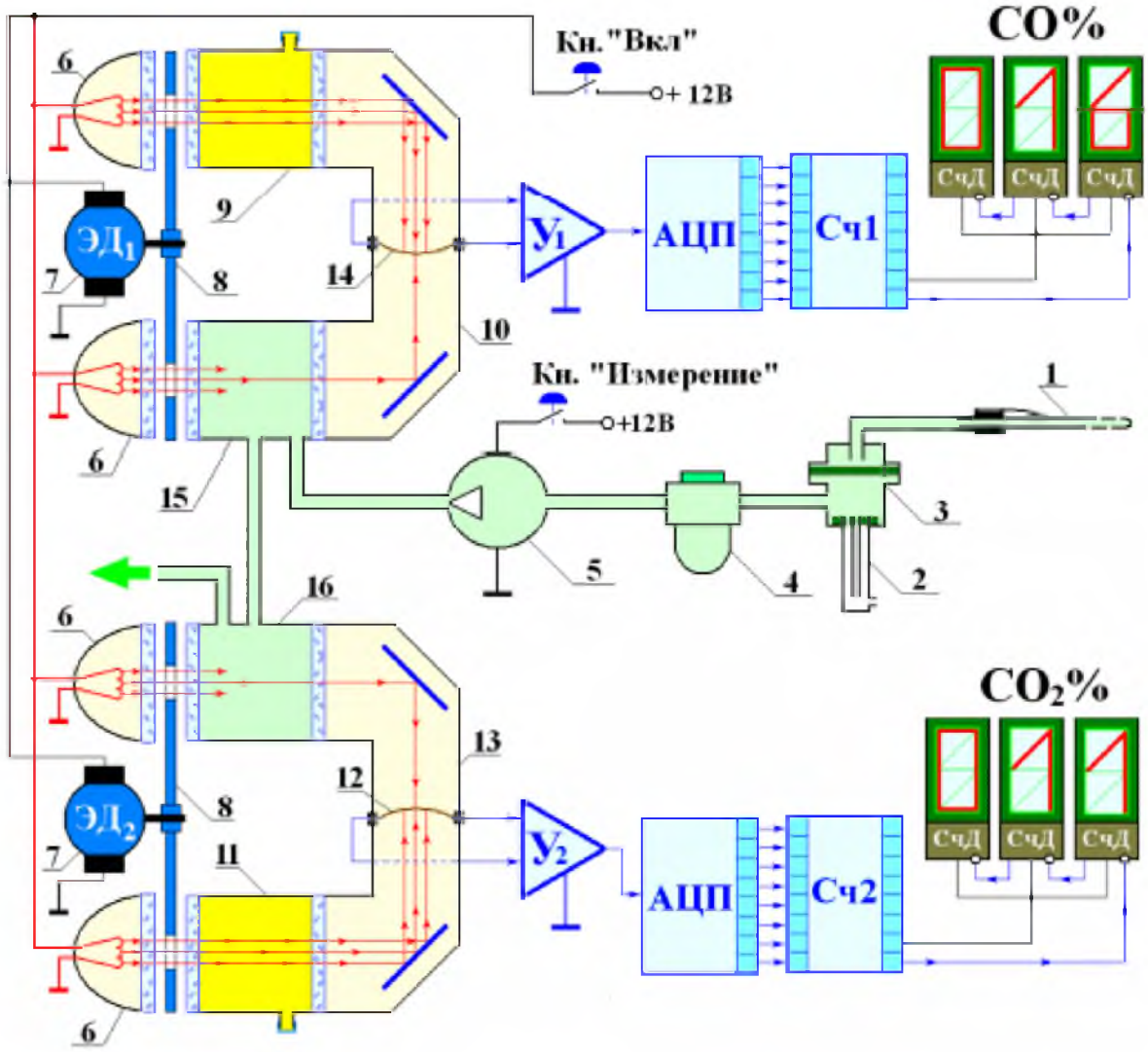
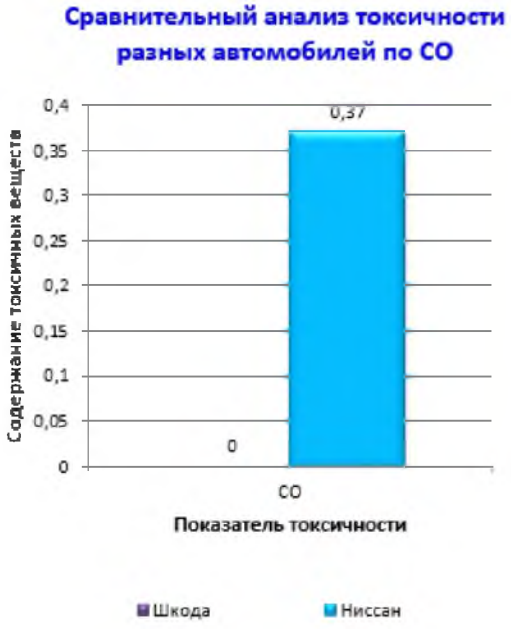


Рис. 2. Функциональная схема газоанализатора инфралитического действия

1 – газозаборный зонд; 2 – отделитель конденсата; 3, 4 – фильтры; 5 – мембранный насос; 6 – параболическое зеркало с источником инфракрасного излучения; 7 – синхронные электродвигатель; 8 – обтюратор; 9 – сравнительная кювета CO; 10 – инфракрасный лучеприемник CO; 11 – сравнительная кювета CO_2; 12 – конденсаторный датчик CO_2; 13 – инфракрасный лучеприемник CO2; 14 – конденсаторный датчик CO; 15 – измерительная кювета CO; 16 – измерительная кювета CO_2

Данный измерительный комплекс позволяет определить мощность двигателя, а также меру износа и токсичность выбросов выхлопных газов. При помощи газоанализатора были проведены поисковые эксперименты на реальных автомобилях. В эксперименте участвовали два автомобиля Shkoda Rapid 2018 года выпуска 5 экологический класс и Nissan Sunny 1999 года выпуска 2 экологический класс. Ниже представлены графики измерений для АИ-92.



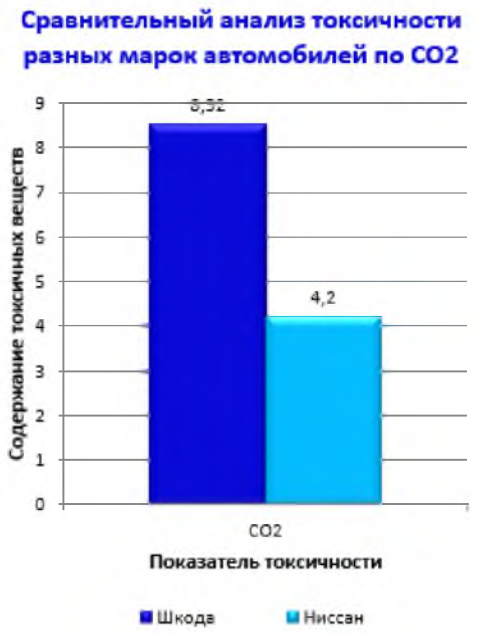
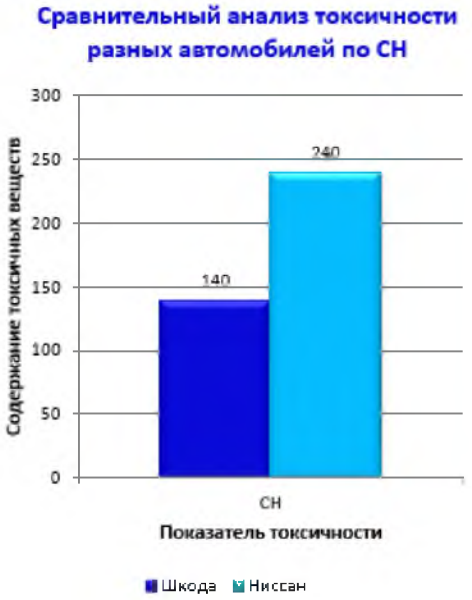


Рис. 4. Сравнительные графики полученных данных.



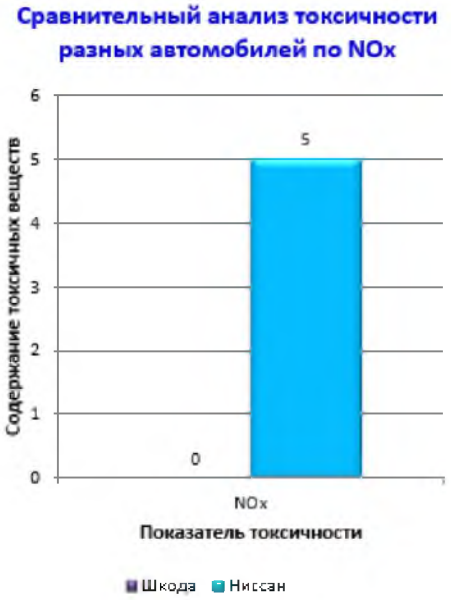


Рис. 5. Сравнительные графики полученных данных.

Анализируя графики можно сделать, что автомобили более новые, с более высоким экологическим классом выделяют вредных веществ в атмосферу гораздо меньше.

На разработанной установке нашей кафедры провели экспериментальные исследования по изменению экологических свойств двигателя в зависимости от качественного состава топлива. Известно, что многие производители бензинового топлива, а также АЗС, для увеличения октанового числа топлива, влияющего на детонационную стойкость, добавляют в бензин спирты. Добавляя до 5 % бутилового спирта можно повысить октановое число на 3-4 единицы [6]. Из всех выбросов, угарный газ является самым ядовитым для

организма человека, поэтому мы исследовали изменение выбросов угарного газа в зависимости от процентного содержания в топливе спиртов и получили следующую зависимость (рис. 6). Как видно из графика, при добавлении в бензин более 5% спирта происходит резкое возрастание выбросов угарного газа. А при добавлении до 4% спирта экологические показатели по СО улучшаются.

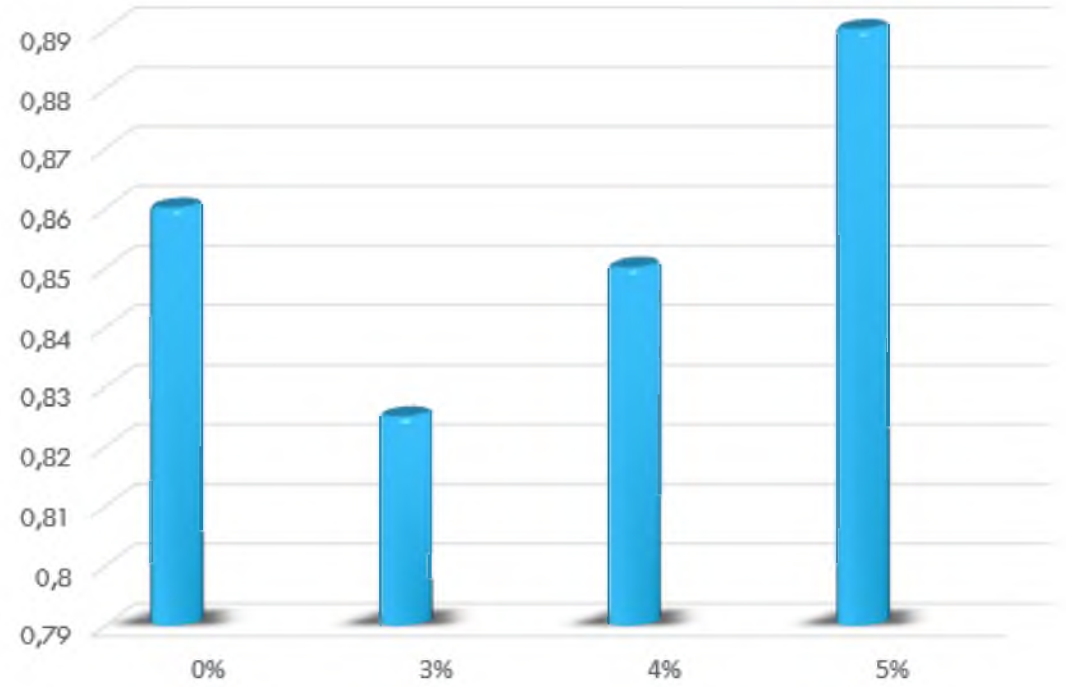


Рис. 6. Диаграмма концентрации канцерогенных веществ в отработавшихся газах бензина марки АИ-92 и бензина с бутиловым спиртом

Таким образом, разработана установка, позволяющая проводить исследования по экологическим показателям двигателя в зависимости от качественного состава топлива. Получены первые результаты, позволяющие проследить зависимость добавления спиртов к топливу, позволяющие улучшить экологические показатели бензинов при добавлении небольшого спирта (до 3-4%). Но чрезмерное разбавление топлива, ведет к резкому ухудшению этих показателей.

Список использованной литературы:

1. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464с., ил.

2. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей: Учебное пособие. Иркутск. 2007. 334 с. Ил. 198. Табл. 5. Библигр.: 15 назв.

3. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов; учеб. Пособие / А.И.Грушевский, А.С.Кашура, И.М.Блянкинштейн, Е.С. Воеводин, А.М.Асхабов. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2015. – 220с.

4. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464с., ил.

5. Кривцов С.Н. Топливная экономичность дизельного двигателя при использовании растительных масел в качестве добавки к дизельному топливу Кривцов С.Н., Скребнев К.Е. // Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 4 (70). С. 64-70.

6. Кривцов С.Н. Влияние добавки этилового спирта на топливную экономичность автомобиля с бензиновым двигателем Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. // Транспорт Урала. 2019. № 1 (60).

7. S N Krivtsov. Method for Calculating Carbon Dioxide Emissions of Cars Using Vegetable Oil as a Diesel Fuel Additive. S N Krivtsov, T I Krivtsova, A P Syrbakov. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). Advances in Engineering Research, volume 188 pp 189-193.

8. Бойцов В.И. Экспериментальное исследование топливной экономичности автомобиля с бензиновым двигателем при использовании товарных бензинов с разным октановым числом / Бойцов В.И., Тирских А.А., Широбоких М.А., Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования Материалы X региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 25-29.

УДК 629.113

Разработка системы мониторинга выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобильного транспорта.

Т.И. Кривцова, А.З. Цыденешеев

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

В современном мире сложилась ситуация, что система технического контроля автомобилей либо выполняется формально, либо не в полном объеме. А одной из задач технического осмотра автомобилей является контроль токсичности выбросов вредных веществ, что очень влияет на экологическую ситуацию нашего города. Мы предлагаем внедрить обязательную систему мониторинга токсических выбросов от автотранспорта, что позволит отслеживать транспортные средства, загрязняющие атмосферу г. Иркутск.

Ключевые слова: *измерение токсичности, экологические свойства, токсичные выхлопы, мониторинг экологических показателей.*

Кривцова Татьяна Игоревна, доцент кафедры Автомобильный транспорт, тел.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Цыденешеев Александр Зориггоевич, студент группы ААб-16-1 кафедры Автомобильный транспорт, тел. 89500687934 ,e-mail: tsydenesheev@mail.ru

Экологическая ситуация в городе Иркутск, как и в других крупных городах России в целом, на сегодняшний день оставляет желать лучшего. Выбросы веществ, загрязняющие окружающий воздух, поступают как от стационарных объектов, так и от автомобильного транспорта. По статистике каждый второй Иркутянин имеет собственный автомобиль. Года выпуска и экологические классы этих автомобилей не соответствуют современным требованиям. [6, 7] Тем не менее они продолжают ездить, загрязняя атмосферу нашего города. Среди выбросов в атмосферу самыми вредными являются угарный газ (CO), от которого по статистике ежедневно, задыхаясь, умирают люди, сернистый бензин и создаваемый оксиды (SO) и диоксиды серы (SO_2), вызывающие заболевания дыхательной и нервной системы человека, токсичные соединения в саже и канцерогены способствуют образованию раковых опухолей.

Одним из путей решения данной проблемы является строгий контроль за экологичностью каждого автомобиля. Мы предлагаем создать систему мониторинга вредных веществ с отработавшими газами (рис.1).

Рис. 1. Система мониторинга выбросов вредных веществ с отработавшими газами

Данная система будет из себя представлять следующее:

- Встраиваемый газоанализатор. Газоанализатор будет установлен в багажное отделение автомобиля, а в выхлопную систему транспортного средства будет вмонтирован пробозаборный зонд, далее через трубку доставки проба отработавших газов будет поступать в измерительный блок, где и будет формироваться информация для передачи на сервер;
- Модуль передачи данных на сервер, смонтированный также на борту автомобиля, позволяющий быстро, в режиме реального времени передавать информацию по беспроводной сети на сервер экологов;
- Блок обработки информации. Данный блок будет обрабатывать информацию на сервере экологов в режиме реального времени.

За прототип для датчика газоанализатора можно взять следующие варианты:

Газоанализатор Автотест-01.03

Газоанализатор [1] Автотест-01.03 (рис.2) предназначен для контроля токсичности отработавших газов транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Автотест-01.03 производит измерение четырех компонентов: CO, CH, CO_2, O_2. Данный прибор имеет высокую точность измерения и быстродействие.

Технические характеристики:

- Диапазон измерения содержания CH от 0 до 3000 млн$^{-1}$;
- Диапазон измерения содержания CO от 0 до 7%;
- Время установления показаний не более 60 сек;
- Электропитание как от блока питания от сети переменного тока 220 В, так и бортовой сети автомобиля 12 В;
- Мощность потребляемого тока 20 Вт;
- Диапазона работы прибора от 0 до 40 ^{0} С;
- Габаритные размеры 330x110x290 мм;
- Масса 4,5 кг.

Цена прибора 59000 руб.

Рис. 2. Газоанализатор Автотест 01.03

Рис. 3. Кислородный датчик

Также, как альтернативный вариант встраиваемому газоанализатору, можно использовать штатные кислородные датчики (λ-зонды) установленные на автомобиле заводом изготовителем. Лямбда зонд (рис.3) позволяет постоянно отслеживать количество кислорода в выхлопных газах и вводить корректировку впрыска топлива для достижения лучшей экономичности и экологичности двигателя. По внутреннему сопротивлению чувствительного элемента датчика, выходного напряжения тока и сопоставляя эти параметры с другими параметрами системы, можно считывать концентрацию токсичных веществ в отработавших газах автомобиля. Средняя цена на такие датчики составляет от 2000 до 10000 руб.

Для передачи данных на сервер экологов можно использовать модуль GSM/GPRS A9G (рис.4), который позволяет передавать информацию по каналам мобильной сети. Модуль со стандартной прошивкой управляется с помощью AT-команд (текстовых команд). Комплектация состоит из модуля A9G антенны PCB GSM/GPRS и антенны GPS/BDS.

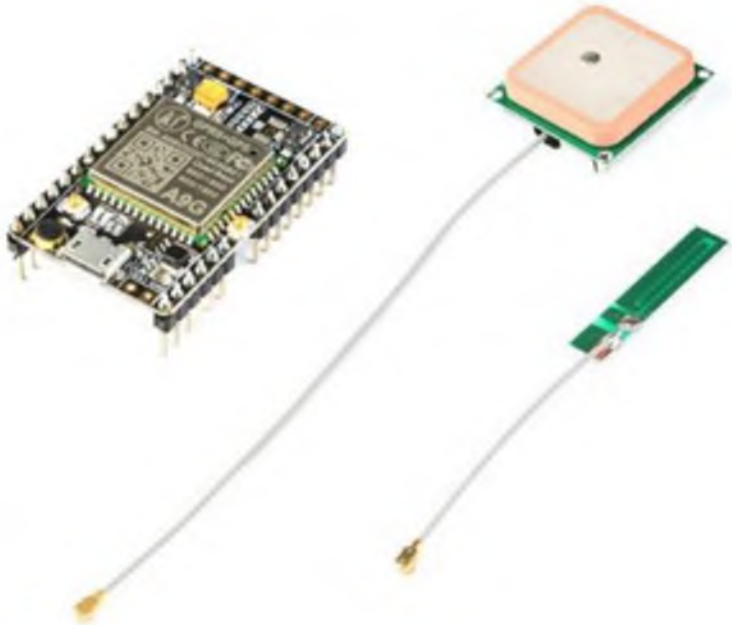


Рис. 4. Модуль GSM/GPRS A9G

Характеристики модуля:

- Напряжение питания 5 В, через micro USB;
- Диапазоны поддерживаемых частот GSM/GPRS: 850, 900, 1800, 1900 Мгц:
- Разъем для подключения micro SD карты памяти;
- Размеры модуля: 25 х 41 мм.

Цена модуля 1029 руб.

При внедрении системы экомониторинга на автомобильный транспорт можно отметить следующие приемущества системы экомониторинга:

1. Глобальная система мониторинга выбросов вредных веществ автотранспорта каждого автомобиля;
2. Рычаги воздействия на нерадивых собственников автотранспорта в виде штрафов предписаний;
3. Снижение выбросов вредных веществ от автотранспорта;
4. Относительно низкая стоимость производства систем экомониторинга, низкая стоимость оборудования на автомобиль, легкость установки оборудования в выхлопную систему автомобиля.

Список использованной литературы:

1. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей: Учебное пособие. Иркутск. 2007. 334 с. Ил. 198. Табл. 5. Библигр.: 15 назв.

2. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов; учеб. Пособие / А.И.Грушевский, А.С.Кашура, И.М.Блянкинштейн, Е.С. Воеводин, А.М.Асхабов. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2015. – 220с.

3. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464с., ил.

4. Кривцов С.Н. Топливная экономичность дизельного двигателя при использовании растительных масел в качестве добавки к дизельному топливу Кривцов С.Н., Скребнев К.Е. // Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 4 (70). С. 64-70.

5. Кривцов С.Н. Влияние добавки этилового спирта на топливную экономичность автомобиля с бензиновым двигателем Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. // Транспорт Урала. 2019. № 1 (60).

6. S N Krivtsov. Method for Calculating Carbon Dioxide Emissions of Cars Using Vegetable Oil as a Diesel Fuel Additive. S N Krivtsov, T I Krivtsova, A P Syrbakov. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). Advances in Engineering Research, volume 188 pp 189-193.

7. Бойцов В.И. Экспериментальное исследование топливной экономичности автомобиля с бензиновым двигателем при использовании товарных бензинов с разным октановым числом / Бойцов В.И., Тирских А.А., Широбоких М.А., Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. В сборнике: Состояние и инновации

технического сервиса машин и оборудования Материалы X региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 25-29.

8. «Обоснование методики комплексной оценки количественного и качественного технологического уровня производственно-технической инфраструктуры предприятий технического сервиса в АТП» Свирбутович О.А., Аносова А.И., журнал: Актуальные вопросы аграрной науки //Издательство: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского (Молодежный), Номер: 31 Год: 2019 Стр.: 22-31

УДК 629.113

Алгоритм превращения топлива в отработавшие газы при работе двигателя внутреннего сгорания

О.А. Свирбутович, Д.М. Казанцев

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

Рассмотрен вопрос экологической безопасности автотранспортных средств и их влияние на атмосферу. Разработан алгоритм процесса превращения топлива в отработавшие газы и выявлена его зависимость от конструктивных особенностей двигателя. Исходя из предложенного алгоритма, выявлены факторы зависимости экологической безопасности автомобиля и актуальные направления реализации решения экологических проблем.

Ключевые слова: *топливо, отработавшие газы, двигатель внутреннего сгорания, топливная система, система фильтрации топлива, экологическая безопасность автомобиля.*

Свирбутович Ольга Александровна, доцент кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89148706351, e-mail: zazetta77@mail.ru.

Казанцев Данил Михайлович, студент группы ЭТбп-18 кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89842703007, e-mail: Inna.vtorushina @yandex.ru.

В последнее время очень остро стоит вопрос экологической безопасности автомобильного транспорта. Транспортные средства с отработавшими газами выделяют в атмосферу ядовитые и токсичные вещества, такие как: угарный газ, который вызывает головокружение, головную боль, тошноту, может приводить к обморокам, к отравлению живого организма;сернистые соединения, вызывающие заболевания дыхательных путей; этилированные

бензины,загрязняющие воздух свинцом, и воздействующие на нервную систему человека. Также с отработавшими газами выделяются канцерогены и токсины, способствующие развитию раковых опухолей [1].

В настоящее время в нашем регионе принят экологический класс топлива, который должен соответствовать нормам Евро 4 и выше, а это значит, что топливо характеризуется следующими показателями и нормами согласно ГОСТ [2]:

простые эфиры - 15,0 %;
изопропиловый спирт - 10,0 %;
изобутиловый спирт - 10,0 %;
трет-бутиловый спирт - 7,0 %;
этанол - 5,0%;
метанол - 3,0%.

При эксплуатации автотранспортного средства, топливо из жидкого состояния преобразуется в отработавшие газы, которые непосредственно влияют на экологическую безопасность и состояние окружающей среды. Данный процесс преобразования имеет четкую последовательность, которую можно представить в виде алгоритма (рисунок 1) [3].

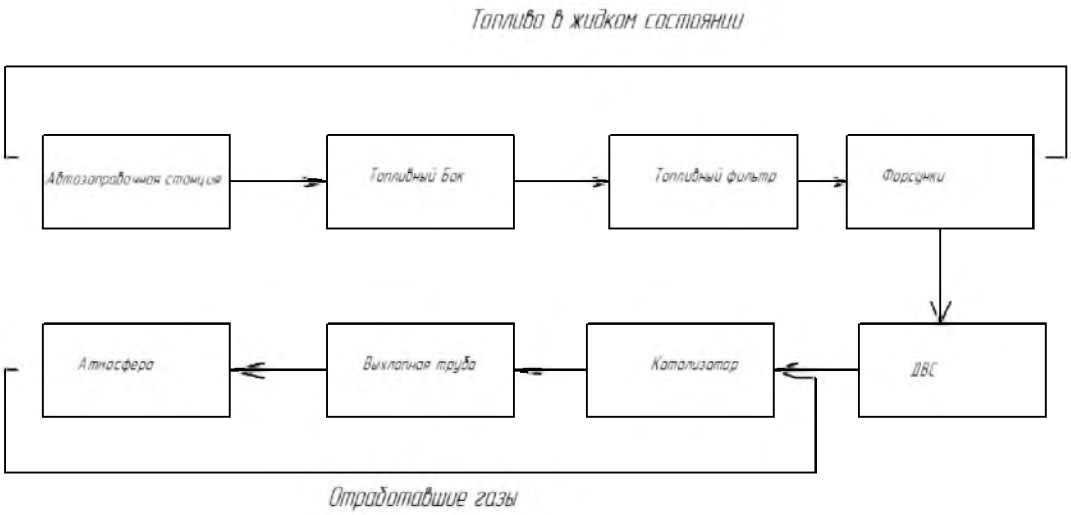


Рис. 1. Схема алгоритма превращения топлива в отработавшие газы

Рассматривая алгоритм превращения топлива в отработавшие газы необходимо сказать, что от правильного и полного сгорания топлива, а также от конструктивных особенностей двигателя зависит качественные показатели выхлопных газов. Чем сложнее и лучше система фильтрации отработавших газов и система нейтрализаторов и катализаторов, встроенных в двигатель внешнего сгорания (ДВС), тем токсичность отработавших газов автомобиля будет меньше, а экологические показатели выше[4].

Топливная система автотранспортного средства устроена гораздо сложнее, чем можно себе представить. Она состоит из множества элементов, которые в совокупности представляют собой систему (рисунок 2):

- бак с системой вентиляции;
- электрический бензонасос;
- фильтр тонкой очистки;
- регулятор давления;
- трубопроводы (подачи, обратного слива);
- топливная рампа;
- форсунки.

Система фильтрации топлива перед попаданием его в топливоподающую систему предназначена для очистки топлива от механических примесей, воды, различных частиц, которые могут повлиять на качество сгорания топлива и на ресурс двигателя [5].

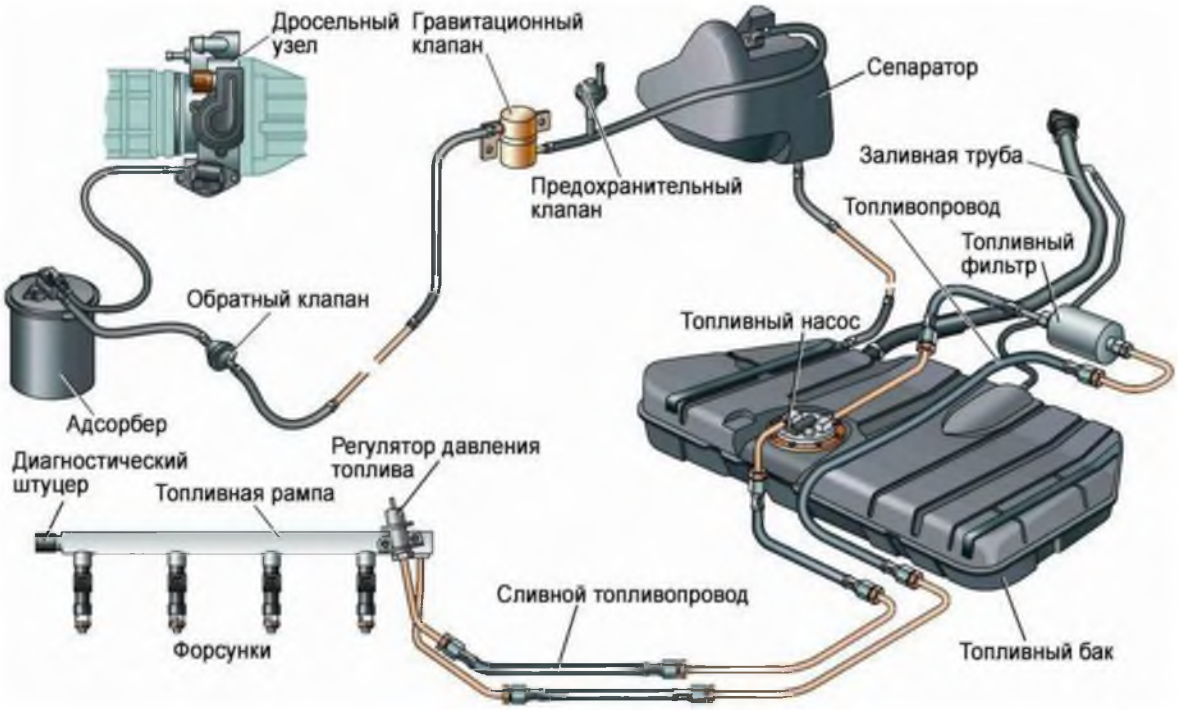


Рис.2. Топливная система бензиновогоДВС

Топливная система тщательно подготавливает к подаче топлива в цилиндры. Для качественного сгорания топливно-воздушной смеси предъявляются следующие требования к распылению топлива, а именно струя топлива должна равномерно распылять топливо во впускной коллектор для наилучшего смешивания с воздухом и в дальнейшем для наилучшей полноты сгорания топливно-воздушной смеси (рисунок 3). Поэтому функциональная идея форсунки состоит в том, что топливо впрыскивается в проходящий поток воздуха, затем смешивается с воздухом и образуется топливовоздушная смесь, которая поступает в камеру сгорания по впускному тракту [6].

Рис. 3. Правильный и неправильный распыл форсунок

Анализируя топливную систему можно сказать, что она состоит из 2 основных составляющих: первая отвечает за поступление воздуха, вторая за топливо. Воздушная часть, по сути, идентична на всех двигателях и представляет собой объемный канал, в конце которого находится воздушный фильтр, который очищает воздух от частиц пыли, пагубно влияющих на ресурс двигателя. Этот канал соединен с впускным коллектором, который ведет к впускным клапанам системы газораспределения.

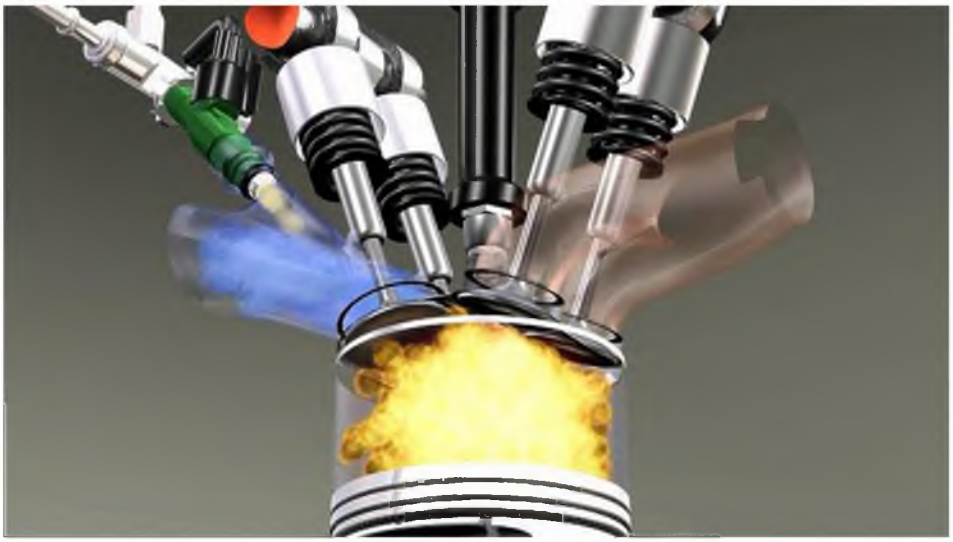


Рис. 4. Воспламенение горючей смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания

Энергия взрыва рабочей смеси преобразуется в механическую энергию и воспринимается кривошипно-шатунным механизмом, предназначенным для восприятия силы взрыва газа и преобразования прямолинейного воз-

вратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала (рисунок 4). На данном этапе жидкое топливо, сгорая, превращается в газообразный дым. Чем качественнее и полнее будет процесс сгорания топлива, тем в отработавших газах будет меньше концентрация вредных веществ [7].

Далее в работу по выводу отработавших газов вступает система выпуска отработавших газов, задача которой состоит в том, чтобы эффективно вывести отработавшие газы из цилиндров ДВС, снизить токсичность и уровень шума (рисунок 5).

На большинстве автомобилей стандартная выхлопная система состоит из следующих элементов:

- Выпускной коллектор — служит для отвода газов и продувки цилиндров ДВС, выполнен из жаропрочного материала, так как температура выхлопных газов достигает 1000°С.
- Приемная труба — это труба сложной конфигурации с фланцами для крепежа к коллектору или турбине.
- Каталитический нейтрализатор (установлен в бензиновых двигателях экологического стандарта Евро-2 и выше) — преобразует токсичные вещества CH, NOx, CO в водяной пар, азот и углекислый газ.
- Пламегаситель — служит для понижения температуры потока газов, снижения энергии потока газов.
- Лямбда-зонд — датчик, который служит для контроля концентрации кислорода в отработавших газах.
- Резонатор — снижают уровень шума выхлопных газов [8].

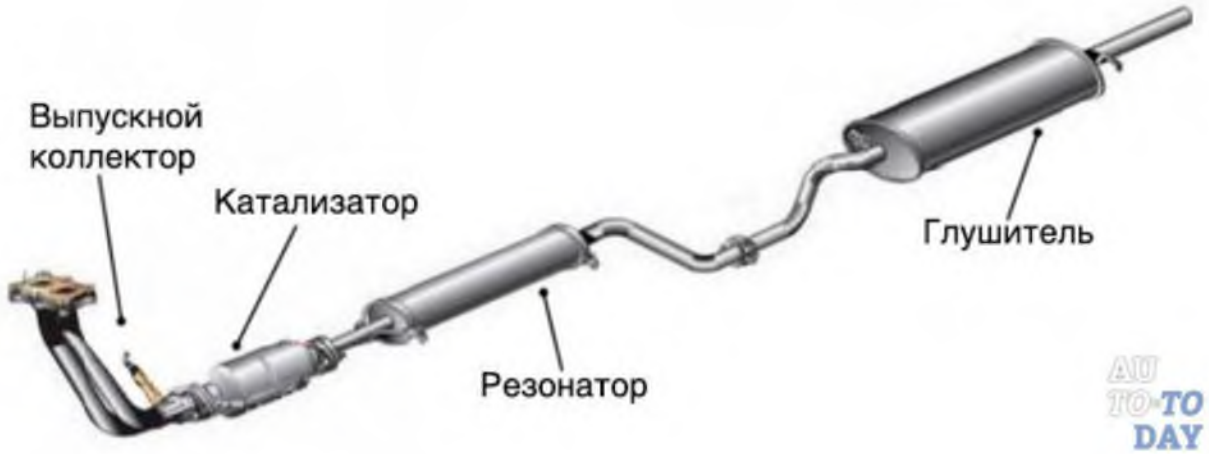


Рис. 5. Выхлопная система

Исходя из предложенного алгоритма превращения топлива в отработавшие газы, можно сделать вывод, что экологическая безопасность каждого отдельно взятого автомобиля зависит от нескольких факторов:

- конструктивных особенностей автотранспортного средства;
- строения, технологичности и функционирования систем фильтрации топлива;

- правильности распыла форсунок и полноты сгорания топлива;
- правильной и корректной работы системы датчиков двигателя;
- качества нейтрализации отработавших газов.

Совокупность исправной и правильной работы всех этих систем позволяют улучшить экологические свойства транспорта, поэтому совершенствование конструкции двигателей внутреннего сгорания и его систем в настоящее время является актуальным и перспективным направлением реализации решения экологических проблем.

Список использованной литературы:

1. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных видах топливах. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008, 464 с.

2. Свирбутович О.А. Стандартизация как основа формирования принципов менеджмента качества на предприятиях автомобильного транспорта / Свирбутович О.А. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 11. С. 103-107.

3. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов: учеб. Пособие / А. И. Грушевский, А.С Кашура, И.М. Блянкинштейн, Е.С.Воеводин, А.М. Асхабов. – Красноярск :Сиб.федер.ун-т, 2015, 220 с.

4. Potapov A.S., Svirbutovich O.A., Krivtsov S.N.В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. С. 042086.

5. Кривцов С.Н. Топливная экономичность дизельного двигателя при использовании растительных масел в качестве добавки к дизельному топливу / Кривцов С.Н., Скребнев К.Е. //Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 4 (70). С. 64-70.

6. Кривцов С.Н. Влияние добавки этилового спирта на топливную экономичность автомобиля с бензиновым двигателем / Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. // Транспорт Урала. 2019.№1(60).

7. S N Krivtsov. Method for Calculating Carbon Dioxide Emissions of Cars Using Vegetable Oil as a Diesel Fuel Additive. S N Krivtsov, T I Krivtsova, A P Syrbakov. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). AdvancesinEngineeringResearch, volume 188 pp 189-193.

8. Бойцов В.И., Тирских А.А., Широбоких М.А., Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. Экспериментальное исследование топливной экономичности автомобиля с бензиновым двигателем при использовании товарных бензинов с разным октановым числом / Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования // Материалы X региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 25-29.

УДК 629.113

Влияние автотранспортных средств на экологическую безопасность г. Иркутска

О.А. Свирбутович, В.О. Пределин

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

Рассмотрен вопрос влияние автотранспортных средств на экологическую безопасность г. Иркутска. Проведены исследования токсичных компонентов в отработавших газах легковых автомобилей. Выявлены опасные вещества, присутствующие в выбросах автотранспорта, наносящие непоправимый вред окружающей среде и здоровью людей. По результатам исследования сделать вывод, что использование современных технологий позволяет снизить токсичность автомобилей и повысить их экологические качества.

Ключевые слова: *отработавшие газы, токсичные компоненты, опасные вещества, выбросы автотранспорта, экологическая безопасность автомобиля.*

Свирбутович Ольга Александровна, доцент кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89148706351, e-mail: zazetta77@mail.ru.

Пределин Владислав Олегович, студент группы ЭТбп-18 кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89842703007, e-mail: Vlad.pridelin @mail.ru.

Атмосферный воздух представляет собой важнейшую жизнеобеспечивающую среду для человека. Загрязнение атмосферы является самым мощным и постоянно действующим фактором воздействия на человека и окружающую среду. Особенно актуальна эта проблема для крупных городов, в которых сосредоточена большая часть населения [1].

Автотранспорт создает в городах обширные и устойчивые зоны, в пределах которых в несколько раз превышаются санитарно-гигиенические нормативы загрязнения воздуха. Длительный контакт со средой, отравленной выхлопными газами автомобилей, вызывает общее ослабление организма - иммунодефицит. Кроме того, выбросы загрязняющих веществ могут стать причиной различных заболеваний.

Непрерывный стремительный рост автомобильного парка, его значительный средний возраст, низкий технический уровень в сочетании с неудовлетворительным техническим состоянием автомобилей и недостаточной пропускной способностью улиц приводят к тому, что проблема негативного воздействия выбросов автотранспорта на окружающую среду и здоровье населения стала одной из наиболее острых экологических проблем городов.

Отрицательно на экологической ситуации сказывается не только быстрый рост автопарка, но и тот факт, что в Иркутской области, как и в России в целом, велика доля автотранспорта, эксплуатирующегося более 10 лет.

Автомобильный транспорт в г. Иркутске является основным источником загрязнения атмосферного воздуха, на его долю приходится половина всех выбросов в городе. Также основные источники загрязнения: предприятия теплоэнергетики: Ново-Иркутская ТЭЦ ПАО «Иркутскэнерго» (производство, передача и распределение тепловой энергии), Иркутское авиационное производственное объединение Иркутский авиационный завод (ИАЗ) — филиал ПАО «Корпорация «Иркут» (производство транспортных средств), предприятия строительной, деревообрабатывающей отраслей, мелкие котельные и дома с печным отоплением. В черте города расположен аэропорт (рисунок 1) [2].

Рис. 1. Распределение выбросов вредных веществ в атмосферу в городе Иркутске

Мы провели исследования токсичных компонентов в отработавших газах на трех легковых автомобилях эксплуатируемых в г. Иркутске («SKODA RAPID» 2018 г., «Nissan Sunny» 1999 г., «ВАЗ – 2106» 1989 г.) по следующим направлениям:

1. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CO (рисунок 2).
2. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по NOx (рисунок 3).
3. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CO2 (рисунок 4).
4. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CH (рисунок 5).

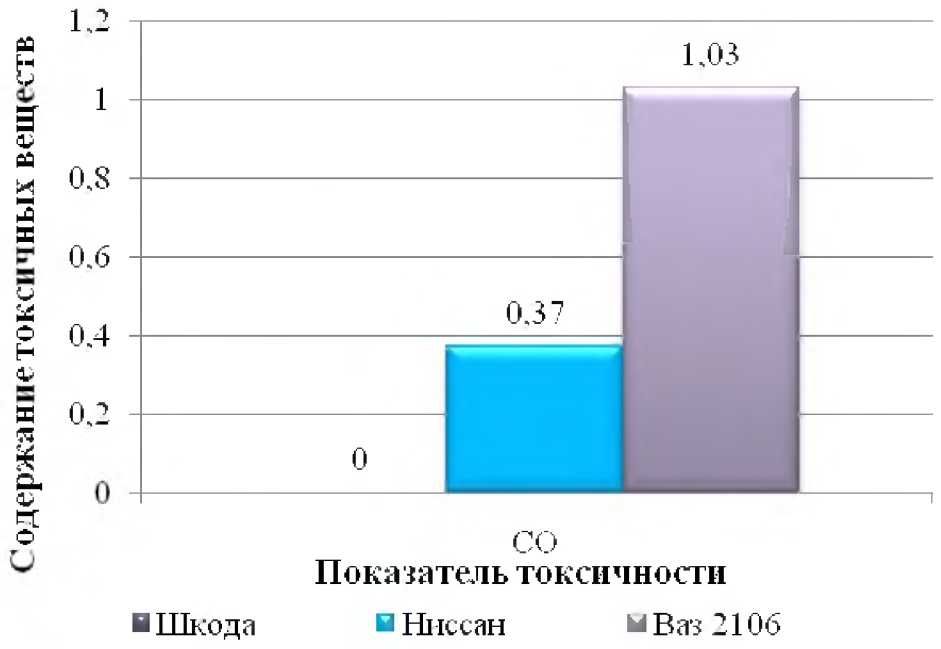


Рис. 2. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CO

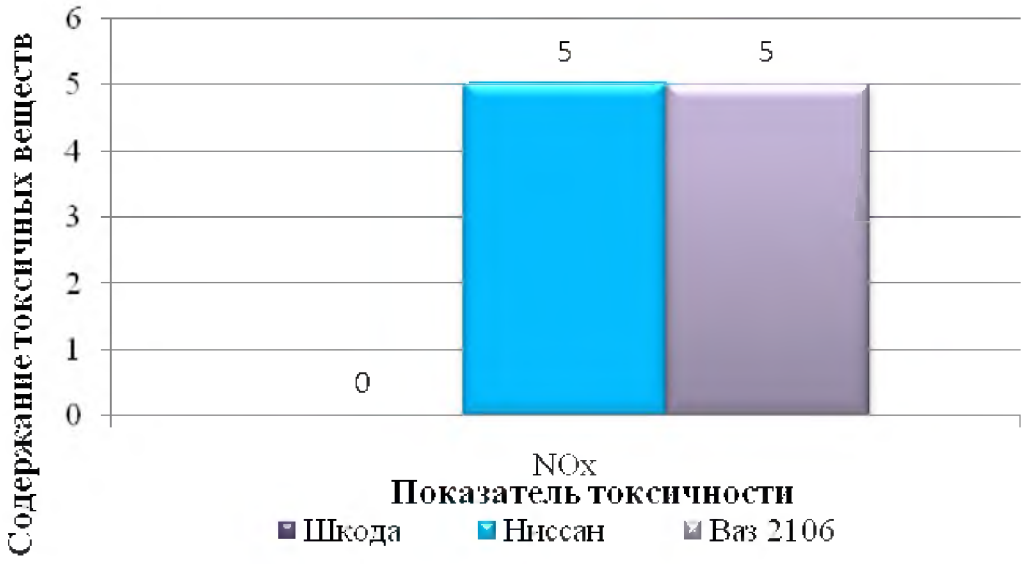


Рис. 3. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по NOx

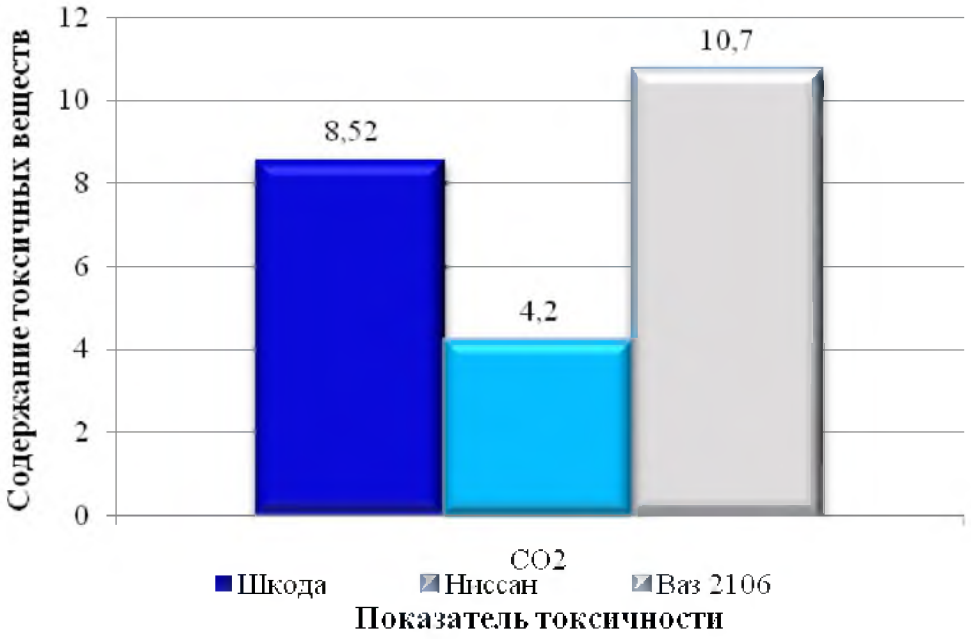


Рис. 4. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CO2

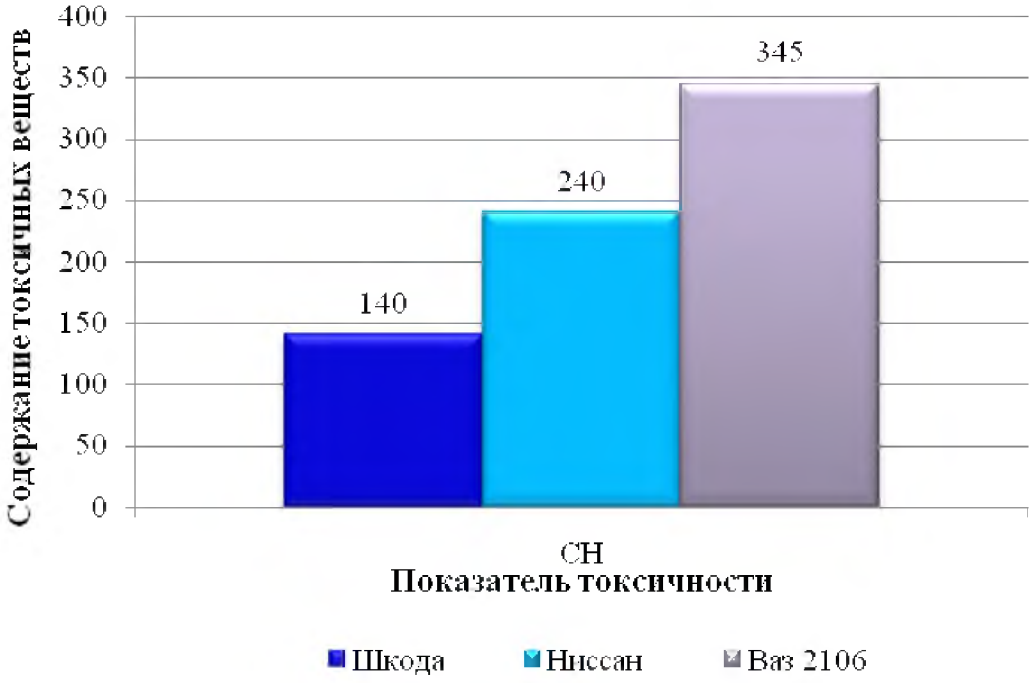


Рис. 5. Сравнительный анализ токсичности разных автомобилей по CH

Проверки автомобилей в г. Иркутске проводилась специальным прибором – газоанализатором [3]. В результате исследований были выявлены опасные вещества, присутствующие в выбросах автотранспорта, наносящие непоправимый вред окружающей среде и здоровью людей: бензопирен, оксид азота, формальдегид, диоксид азота, сажа (рисунок 6). Таким образом, одним

из основных факторов, определяющих токсичность разных автомобилей, является год выпуска автомобиля [4].

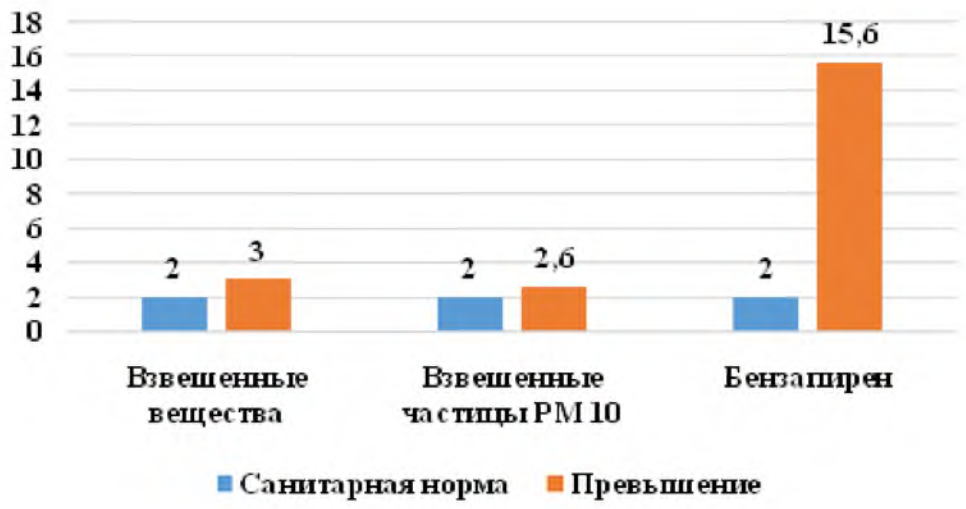


Рис. 6 – Среднегодовые концентрации токсичных веществ

По данным Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска за 2018 год по многим показателям превышают предельно допустимую концентрацию (рисунок 7) [5].

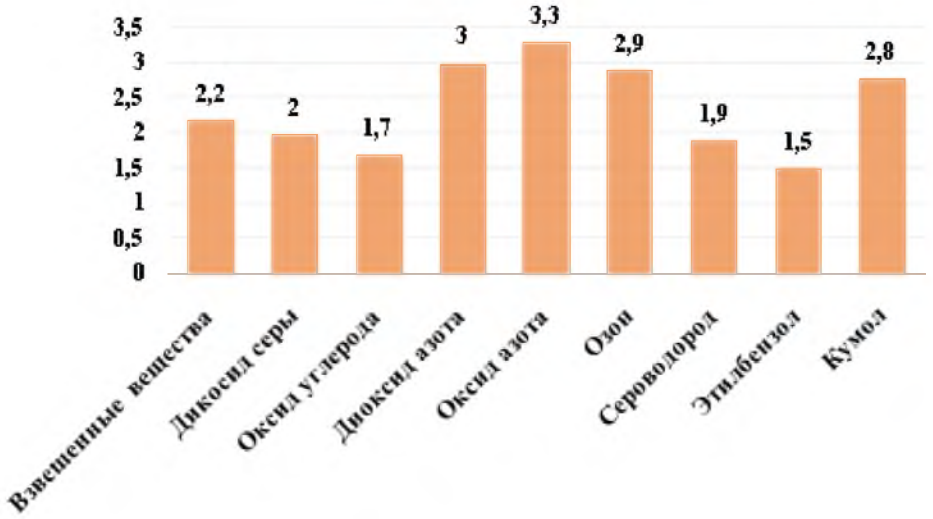


Рис. 7 – Среднегодовые максимальные разовые концентрации токсичных веществ (в единицах ПДК)

Средние за год концентрации диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, озона не превышали ПДК. Среднегодовые и максимально-разовые концентрации аммиака, формальдегида, среднегодовые и максимальные из среднесуточных концентрации взвешенных частиц PM 2,5 не превышали установленные санитарно-гигиенические нормативы. Концен-

трации ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилола, хлорбензола) и наблюдаемых тяжелых металлов (хром, марганец, железо, никель, медь, цинк, свинец) не превышали установленные санитарные нормы [6].

Таким образом, проблема загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта стоит очень остро в крупных городах области, несмотря на периодически меняющуюся ситуацию в сторону снижения количества выбросов. Кроме того, необходимость снижения вредных выбросов от двигателей автотранспорта в городах Иркутской области обостряется ввиду непрерывного увеличения парка эксплуатируемых автотранспортных средств, уплотнения автотранспортных потоков, а также нестабильности показателей самих мероприятий по снижению вредных веществ в процессе эксплуатации автотранспортных средств [7].

По результатам исследования влияния автотранспортных средств на экологическую безопасность г. Иркутска можно сделать вывод, что использование современных технологий позволяет снизить токсичность автомобилей и повысить их экологические качества.

Список использованной литературы:

1. Свирбутович О.А. Стандартизация как основа формирования принципов менеджмента качества на предприятиях автомобильного транспорта / Свирбутович О.А. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 11. С. 103-107.

2. Экологические свойства автомобильных эксплуатационных материалов: учеб. Пособие / А. И. Грушевский, А.С Кашура, И.М. Блянкинштейн, Е.С.Воеводин, А.М. Асхабов. – Красноярск :Сиб.федер.ун-т, 2015, 220 с.

3. Potapov A.S., Svirbutovich O.A., Krivtsov S.N.В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. С. 042086.

4. Кривцов С.Н. Топливная экономичность дизельного двигателя при использовании растительных масел в качестве добавки к дизельному топливу / Кривцов С.Н., Скребнев К.Е. //Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 4 (70). С. 64-70.

5. Кривцов С.Н. Влияние добавки этилового спирта на топливную экономичность автомобиля с бензиновым двигателем / Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. // Транспорт Урала. 2019.№1(60).

6. S N Krivtsov. Method for Calculating Carbon Dioxide Emissions of Cars Using Vegetable Oil as a Diesel Fuel Additive. S N Krivtsov, T I Krivtsova, A P Syrbakov. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). AdvancesinEngineeringResearch, volume 188 pp 189-193.

7. Бойцов В.И., Тирских А.А., Широбоких М.А., Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. Экспериментальное исследование топливной экономичности автомобиля с бензиновым двигателем при использовании товарных бензинов с разным октановым числом / Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования // Материалы X региональной научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2018. С. 25-29.

УДК 625. 514

Математическая модель регулятора аксиально-поршневого насоса с гидравлическим управлением для закрытого контура

В. Г. Зедгенизов, А.Н. Стрельников, В.Н. Ляпина

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

Предложена математическая модель регулятора аксиально-поршневого насоса с гидравлическим управлением для закрытого контура, которая реализована в среде «Matlab-Simulink». Получены зависимости основных параметров процесса регулирования во времени.

Ключевые слова: *регулятор, аксиально-поршневой насос, золотник, сервопоршень.*

Зедгенизов Виктор Георгиевич, д.т.н., профессор кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», e-mail: vigez@istu.edu

Стрельников Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», e-mail: V03@istu.edu

Ляпина В.Н., аспирант кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», e-mail: V03@istu.edu

В силу известных преимуществ гидростатическая трансмиссия нашла широкое применение на строительной технике легкого и среднего класса: бульдозеры, фронтальные погрузчики, катки, асфальтоукладчики, автобетоносмесители оснащаются гидрообъемным приводом, выполненным по закрытой схеме. Имеются примеры использования гидростатической трансмиссии и на тяжелой технике – фирмы Liebherr, John Deer, ДСТ-УРАЛ .

Управление насосами с переменным рабочим объемом выполняют регуляторы, конструкции которых несколько различаются, но принцип работы одинаков. В качестве примера можно привести продукцию ведущих мировых фирм «Bosch Rexroth», «Hitachi», «Kawasaki» и других [1,4,6].

Пропорциональное управление применяется для преобразования гидравлического сигнала управления в отклонение наклонной шайбы насоса на угол

±20° с линейным изменением рабочего объема в каждую сторону. Величина рабочего объема насоса пропорциональна давлению управления. Пропорциональность угла отклонения наклонной шайбы от гидравлического сигнала управления обеспечивается наличием механической обратной связи между сервопоршнем и золотником регулятора [2,3,5,7].

На рис. 1 представлена расчетная схема регулятора на примере насоса для закрытого контура A4VG фирмы «Bosch Rexroth».

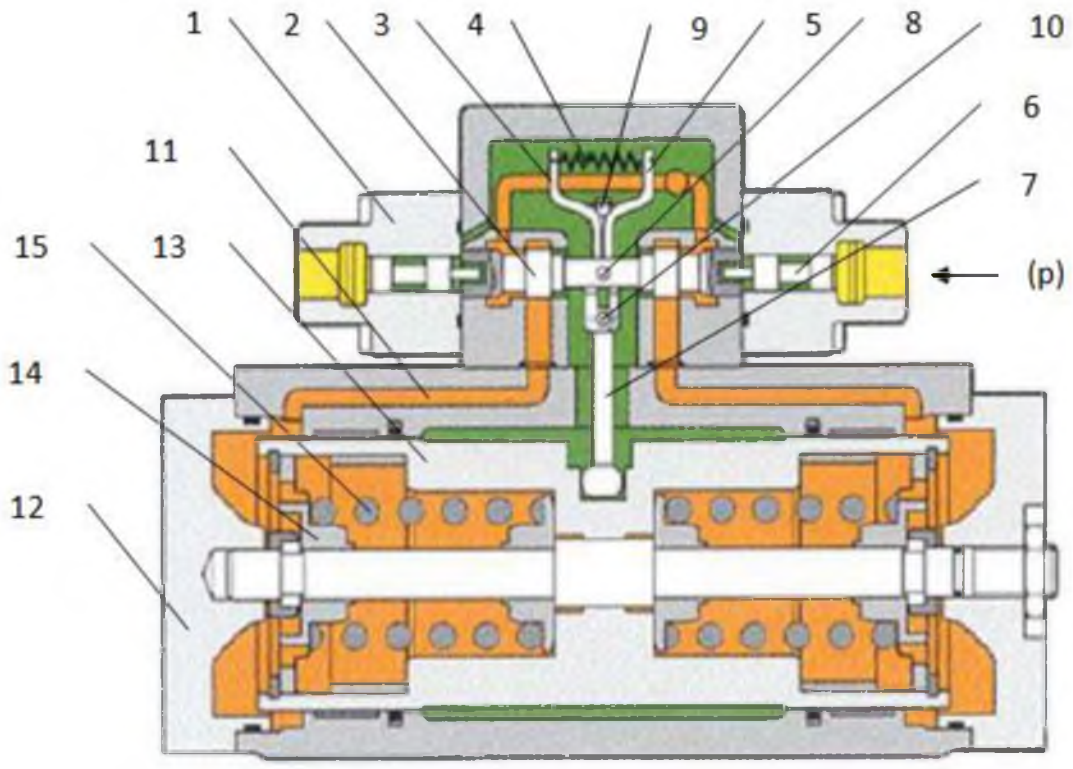


Рис. 1. Расчетная схема регулятора

Регулятор состоит из гидрораспределителя 1, внутри которого расположены: золотник 2, левый 3 и правый 5 рычаги, связанные между собой пружиной 4, толкатели 6, механическая обратная связь 7. Золотник 2 имеет упор 8, который расположен между рычагами 3 и 5, а сами рычаги и обратная связь 7 шарнирно закреплены на корпусе гидрораспределителя 1 в точке 10. Кроме того, имеется упор 9, установленный на обратной связи 7. Гидрораспределитель 1 через каналы 11 связан с сервопоршнем 12, внутри которого расположены гильза 13, поршень 14 и возвратная пружина 15.

При подаче управляющего давления (p) толкатель 6 передает усилие на золотник 2, который перемещается и через упор 8, преодолевая сопротивление пружины 4, поворачивает левый рычаг 3 относительно точки крепления 10. Одновременно с перемещением золотника 2 открываются каналы 11, соединяющие левую и правую полости сервопоршня 12 с напорной и сливной магистралями соответственно. За счет разницы давлений в полостях сервопоршня 12 последний перемещается вслед за золотником 2 и поворачивает обратную связь 7 относительно точки крепления 10 по часовой стрелке. При

этом упор 9 поворачивает правый рычаг 5 относительно точки крепления 10 по часовой стрелке, и пружина 4 возвращает левый рычаг 3 и золотник 2 в исходное положение. Каналы 11 перекрываются, и сервопоршень останавливается, фиксируя подачу насоса, пропорциональную заданному управляющему давлению (р).

При снятии управляющего давления (р) за счет усилия пружины 4 золотник 2 перемещается в обратную сторону, выравнивая давление в левой и правой полостях сервопоршня 12, и пружины 15 возвращают последний в нейтральное положение, соответствующее нулевой производительности насоса.

При подаче управляющего давления (р) на противоположный вход гидрораспределителя 1 происходит зеркально отраженный процесс регулирования, только вход и выход насоса меняются местами.

Работа регулятора может быть описана следующей системой дифференциальных уравнений:

$$m_1 \frac{d^2x_1}{dt^2} = p_1 S_1 - c_1(x_1 - x_2) - k\frac{dx_1}{dt} \qquad (1)$$

$$k_1 \frac{dp_2}{dt} = S_2 \frac{dx_2}{dt} - \mu b x_1 \sqrt{\frac{2(p-p_2)}{\rho}} \qquad (2)$$

$$m_2 \frac{d^2x_2}{dt^2} = p_2 S_2 - c_2 x_2 - k\frac{dx_2}{dt} - c_1(x_1 - x_2) \qquad (3)$$

где m_1 - приведенная масса золотника, кг;

x_1 - перемещение золотника, м;

p_1 - переменное давление управления, Па;

S_1 - площадь поперечного сечения толкателя, м^2;

c_1 - жесткость пружины, Н/м;

x_2 – перемещение сервопоршня, м;

k - коэффициент «жидкого» трения, Нс/м;

k_1 - коэффициент упругости рабочей жидкости и материала стенок регулятора, м^5/Нс^2;

p_2 - давление в сервопоршне, Па;

S_2 - площадь поперечного сечения сервопоршня, м^2;

μ - коэффициент, зависящий от формы проходного сечения;

b - высота проходного сечения, м;

р – давление в напорной магистрали, Па;

ρ - плотность рабочей жидкости, кг/м^3;

c_2 – жесткость возвратной пружины, Н/м;

Уравнение (1) характеризует перемещение золотника, уравнение (2) определяет изменение давления в полости сервопоршня, уравнение (3) – перемещение сервопоршня.

При составлении математической модели регулятора были приняты следующие допущения:

- ввиду малости все перемещения линейны;
- сопротивления перемещению учитываются «жидкостным» трением;
- утечки рабочей жидкости отсутствуют.

Для решения системы уравнений в среде «Matlab-Simulink» разработана схема, которая представлена на рис. 2 [8,9]. Ранее подобный инструментарий уже рассматривался [10,11,12,13]

Цепочка блоков 1-16 имитирует решение уравнения (1), блоки 18-31 решают уравнение (2), а блоки 32-41 – уравнение (3). Результаты выводятся на блок 16.

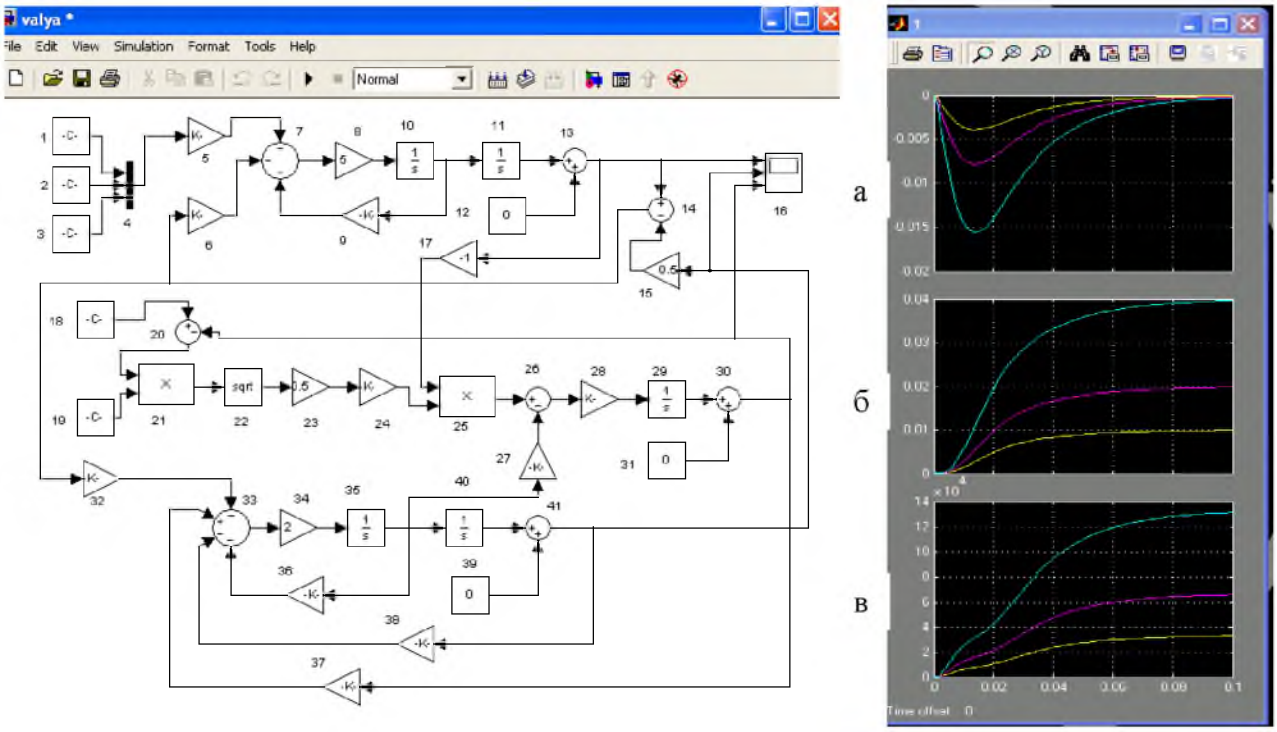


Рис. 2 Схема в «Matlab-Simulink» и результаты моделирования: а – перемещение золотника (x_1); б – перемещение сервопоршня (x_2); в – изменение давления в сервопоршне (p_2) во времени

В начальный момент времени золотник и сервопоршень находятся в нулевом положении. При подаче управляющего давления 4 МПа золотник перемещается и приблизительно через 0,02 секунды достигает своего крайнего положения 0,015 м (рис. 2-а), соединяя напорную магистраль с правой полостью сервопоршня, а левую – со сливной магистралью. В результате под действием разницы давлений на торцах сервопоршня, последний перемещается вслед за золотником (рис. 2-б). Одновременно с перемещением сервопоршня механическая обратная связь сдвигает назад золотник, который через 0,1 секунду возвращается в исходное положение и перекрывает напорную и сливную магистрали. Давление в сервопоршне стабилизируется на уровне 1300 Па (рис. 2-в), и он останавливается на отметке 0,04 м.

Таким образом, при подаче управляющего давления золотник регулятора за время 0,1 секунды перемещается на 0,015 м и возвращается в исход-

ное положение. При этом сервопоршень перемещается на 0,04 м и остается в указанном положении.

Список использованной литературы:

1. Зедгенизов В.Г., Ляпина В.Н. Гидростатическая трансмиссия и ее применение на строительной технике. Сборник статей XII Международной научно-технической конференции "Авиамашиностроение и транспорт Сибири". Иркутск, 2019. 399-405 с.

2. Гойдо М.Е. Проектирование объемных гидроприводов. М.: "Машиностроение", 1972. 300 с.

3.Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М.:"Машиностроение", 1972. 320 с.

4. Васильченко В.А., Соболев В.О. Регуляторы расхода рабочей жидкости для гидроприводов мобильных машин // Строительные и дорожные машины. 2007. № 12. С. 26–28.

5. Васильченко В.А., Шекунов А.К. Современные достижения в гидроприводе и их применение в машиностроении // Вестник машиностроения. 2008. № 7. С. 86–95.

6. Регуляторы гидронасосов с переменным рабочим объемом [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cdmteh.ru/regulyatori_gidronasosov.html (дата обращения: 15.01.2019).

7. Бойко В. Д., Андреев М. А., Семенов С. Е. Особенности верификации математической модели регулятора аксиально-поршневого насоса с электрогидравлическим управлением// Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Инженерный вестник, N12, 2014.

8. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008. 288 с.

9. http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/

10. Бобарика И.О. , Молокова С.В. Гидродинамический анализ трубопроводов тупиковых линий напорных магистралей гидросистем с учетом высокочастотных пульсаций давления. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2019 г. С. 52-59.

11 Bobarika I., Demidov A., Bukhanchenko S. Hydraulic model and algorithm for branched hydraulic systems parameters optimization. // Procedia engineering, 2017 г. С. 1522-1527.

12 Бобарика И.О., Демидов А.И. Элементы проектирования разветвленных гидросистем с учетом динамики рабочих органов. // Авиамашиностроение и транспорт сибири. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. 2016 г. С. 2140-245.

13 Бобарика И.О., Демидов А.И., Бейчук Д.Д. О перспективных методах комплексного инженерного анализа трубопроводных систем // Авиамашиностроение и транспорт сибири. Сборник статей VI Всеросссийской научно-практической конференции. 2016 г. С. 97-101.

УДК 621.03

Способы анализа смазывающих свойств масел

С.Н. Котельников, У.А. Васечкин, А.Н. Стрельников, Д.В. Кокоуров

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

Анализируя смазывающие способности существующих масел, мы сможем составить требования к разрабатываемым присадкам улучшающим смазывающие свойства масел. В процессе работы мы найдем лучший тип масла, который будет достаточно смазывать трущиеся элементы, узлы и детали силовых агрегатов, предотвращая их быстрый износ, поломки и заклинивания, а так же достаточно хорошо охлаждающее термически нагруженные детали, такие как цилиндры и поршни. Такое масло, которое будет в полной мере удалять частицы износа взаимодействующих деталей, коррозию и остатки продуктов горения, создающее защитную масляную пленку, для увеличения защиты механизмов от воздуха, продуктов сгорания топлива и других агрессивных сред. Разработав присадки, мы сможем улучшить качество худших образцов до приемлемых характеристик, а так же улучшить характеристики тех масел, которые покажут наилучший результат. В конечном итоге мы сможем разработать собственный тип масла, который будет оптимальным вариантом для взаимодействующих механизмов, продлевая на долгое время срок их службы. Усовершенствованные масла будут сохранять свои свойства на более долгое время, будут менее подвержены воздействию высоких температур, а так же приобретут способность сохранять свои свойства при низких температурах, что увеличит промежутки между заменами смазывающей жидкости. Особенно это актуально для техники, работающей в экстремальных условиях.[2,9]

Ключевые слова: масло, смазывающие способности, краевой угол смачивания, пара трения, минеральные масла, полусинтетические масла, синтетические масла, присадки.

Васечкин Ульян Александрович, студент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.: 89247192826 e-mail: ulyan.vase4kin@ya.ru

Котельников Степан Николаевич, студент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.: 89245482708 e-mail: kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru

Стрельников Александр Николаевич, доцент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, e-mail: strelnikov077@rambler.ru

Кокоуров Дмитрий Владимирович, зав. кафедрой строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.:8(3952)405405 e-mail:Kokourovdv@istu.edu

Проблема смазывающих способностей масел заключается в том, некоторые масла недостаточно отводят тепло от термически нагруженных деталей (цилиндр, поршень) из-за низкой смазывающей способности. По этой же причине не происходит достаточного смазывания трущихся механизмов, узлов и деталей силового агрегата, и следовательно не предотвращается их интенсивный износ, поломки и заклинивания. Не все масла удаляют с поверхности взаимодействующих деталей частицы износа, коррозии и остатки продуктов горения топлива для последующего их отделения в фильтрах. Так же не все создают защитную масляную пленку, что заметно снижает защиту механизмов от продуктов сгорания топлива, воздуха и других агрессивных сред. Некачественные масла при больших нагрузках могут терять свои свойства. При этом разрушается масленая пленка, образуется контакт металл – металл и постепенно наступает катастрофический износ. При воздействии высоких температур (в основном в двигателях внутреннего сгорания) присадки которые находятся в масле «выгорают» и со временем смазывающие способности масла сводятся к минимуму. При отрицательных температурах масло становится более вязким, что ведёт к проблеме медленной прокачиваемости его через масляную систему и осложнённом пуске без предварительного подогрева. [3,5,7,10]

В современных механизмах используются различные типы масел, все они имеют различные смазывающие свойства, которые зависят от типа масла и присадок которые находятся в его составе. Масла делятся на: минеральные, полусинтетические и синтетические.

Минеральные масла - представляют собой продукт нефтяного происхождения, производятся путём дистилляции мазута. Основные недостатки минерального масла это неустойчивость характеристик при различных температурах. В зимнее время минеральное масло становится более вязким (густым) и так как хорошо сцепляется с поверхностью трения, возникает затруднённый пуск двигателя без подогрева. В летнее время при достаточно высоких температурах, хотя масло и сильно разжижается, оно все равно образует устойчивую защитную плёнку на трущихся элементах.

Полусинтетические масла – в этих маслах минеральная основа составляет около 50-70%.Эти масла имеют не менее 25% присадок. Полусинтетические масла имеют высокую поверхностную активность, которая направленна на «растворение» поверхности и введения туда своих присадок. Подверженные коррозии детали не получают должной защиты. Такое масло образует на рабочей поверхности тонкую плёнку, которую легко «стереть». Помимо это такое масло химически активно, что приводит к разрушению резиновых уплотнителей агрегата, вследствие этого приходится использовать фторкаучуковые.

Синтетическое масло – данное масло производится путём сложного химического процесса под названием синтез. Такой процесс занимает много времени и сил что приводит к увеличению стоимости масла. Синтетическое масло плохо смешивается с другими маслами, при замене масла это играет

важную роль так как, например, в двигателе при замене всегда остаётся до 15% старого масла, что впоследствии может привести к образованию лака при высоких температурах работы двигателя. [5,6,7]

Для определения смазывающих свойств масел было решено использовать 2 метода: 1) Исследование на машине трения. Для этого разрабатывается машина трения, на которой будет определяться момент сопротивления прокручивания пары трения, так же измеряться степень износа деталей пар трения в процессе работы (см. рисунок 1). В процессе работы планируется измерять электрический сигнал, который будет характеризовать толщину масленой пленки между трущимися деталями.

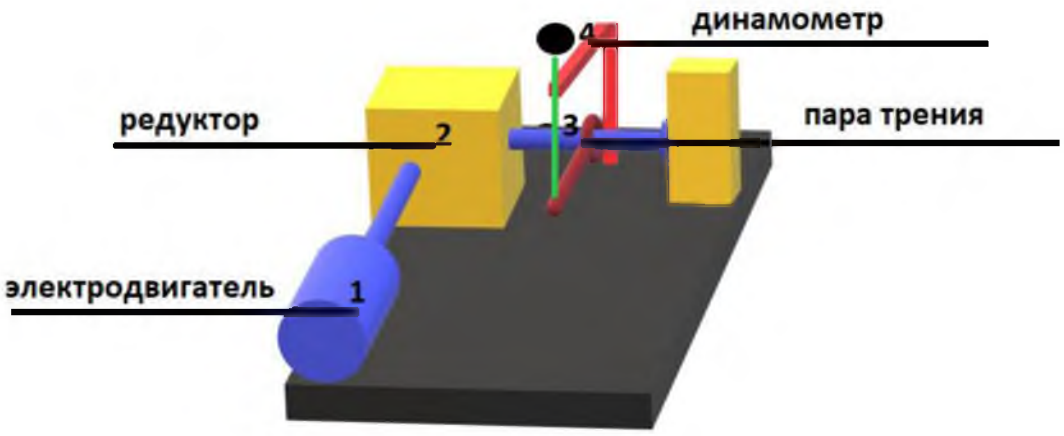


Рис. 1. Машина трения

2) Определение угла смачивания масел. Для этого метода используется установка(см. рисунок 2), которая будет состоять из цифрового микроскопа с компьютером и несколько поверхностей исследования состоящих из различных материалов с различной степенью шероховатости. В процессе исследования планируется определять пятно растекания масла, максимальную высоту масляного пятна и краевой угол смачивания.[1,8]

Рис. 2. Схема установки.1 – Компьютер, 2 – Цифровой микроскоп, 3 – Поверхность исследования

Краевой смачивания угол - это угол, который образуется между касательной, проведённой к поверхности фазы масла и твёрдой поверхностью с вершиной, располагающейся в точке контакта трёх фаз, и измеряемый внутрь жидкости. (см. рисунок 3)

В случае смазывания поверхности маслом, если угол между касательной и плоскостью меньше 90 градусов, то поверхность считается олеофильной, а если угол более 90 градусов – олеофобной (см. рисунок 4). Определение краевого угла в реальных условиях не простая задача, так как поверхности имеют различный рельеф и различный химический состав, из-за этого краевой угол может принимать различные значения в определённом диапазоне. Такое явление называется гистерезисом краевого угла, а максимальное и минимальное значение краевого угла - углами натекания и оттекания. Также в этом диапазоне между максимальным и минимальным значениями возможно существование дополнительных метастабильных состояний. Выбрать нужное, соответствующее глобальному минимуму энергии бывает непросто, что приводит к систематическим ошибкам при измерении краевого угла наиболее устойчивом состоянии, а также при нахождении углов натекания и оттекания. [1,8]

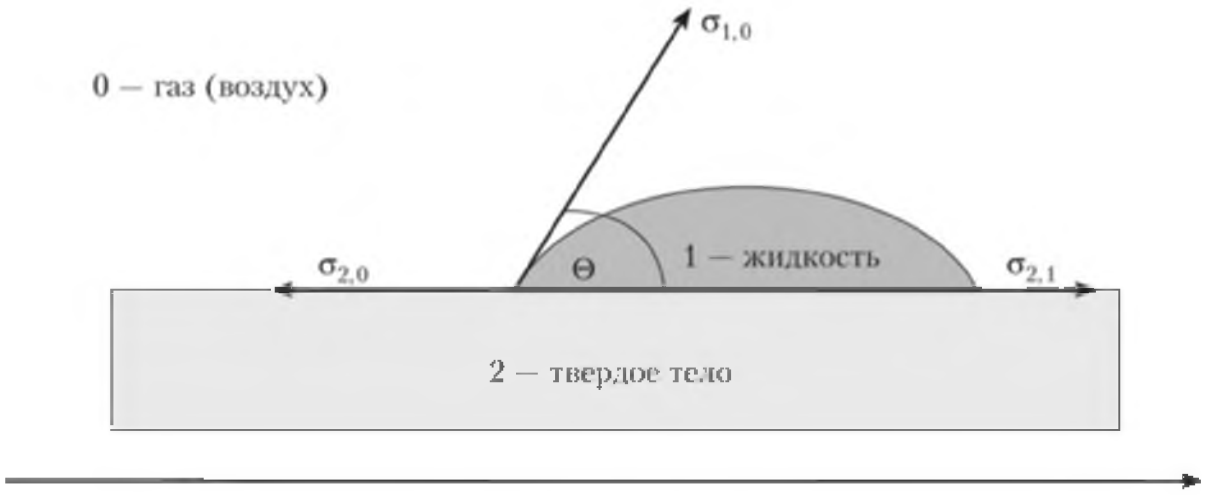


Рис. 3 Краевой угол смачивания

Олеофобным называют поверхности, на которых масло имеет наибольший краевой угол с поверхностью, то есть при многократном увеличении в микроскоп видно, что оно имеет форму шара или полусферы (см. рисунок 4). (A,B). Для хорошего смазывания и создания защитной плёнки необходимы олеофильные поверхности, на которых масло имеет ничтожно малый краевой угол. И при взгляде в микроскоп видно, что масло полностью растеклось по поверхности (C,S). Вследствие этого можно сделать вывод, что смазывающая способность масла зависит не только от его свойств, но и от поверхности на которой оно применяется.[5]

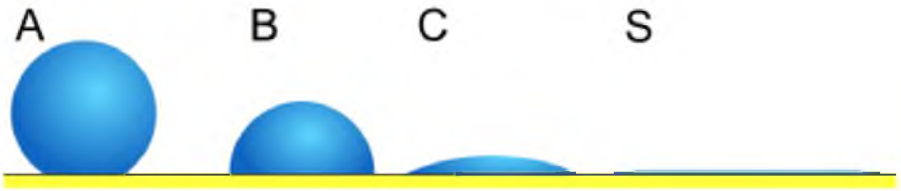


Рис. 4. Олеофобные и олеофильные поверхности

В процессе исследования будут выведены требования для разрабатываемого пакета присадок, которые будут улучшать смазывающие свойства масел.

Список использованной литературы

1. Триботехника: учебник / Шаповалов В. В., Эркенов А.Ч., Кохановский В.А. - Феникс, 2017 г. – 351с.

2. Стуканов, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы / В. А. Стуканов. – М.: Форум – Инфра-М, 2003.- 203 с.

3. Ананьев, С. И. Эксплуатационные материалы для автомобилей и тракторов / С. И. Ананьев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006.- 384 с.

4. Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы / А. В. Кузнецов. – М.: КолосС, 2004.- 199 с.

5. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология / Чулков П. В., Чулков И. П. - М. : Политехника, 1995. – 302 с.

6. Лышко, Г.П. Топливо и смазочные материалы/ Г.П. Лышко. - М.: Агропромиздат, 1985. - 336 с.

7. Синельников, А.Ф. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник./ А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2003. – 176 с.

8. Гаркунов, Д.Н. Триботехника : учебное пособие / Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. — Москва : КноРус, 2015. — 408 с.

9. Балабанов, В.И. Автомобильные присадки и добавки/ В. Болгов., В. И. Балабанов. 2011. — 238 с.

10. Рещиков С.А., Короташ В.М., Денисов Д.С., Стрельников А.Н., Кокоуров Д.В. Стенд для определения наличия стружки в масле.// Авиамашиностроение и транспорт Сибири. – 2019. - с. 385-390

УДК 629.113

Предпосылки для разработки метода диагностирования двигателя на холостом ходу по показаниям датчика массового расхода воздуха

Кузнецов И.И., Кривцов С.Н.

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

Проанализированы методы диагностирования цилиндропоршневой группы дизельных двигателей, предложен способ диагностирования замером расхода картерных газов датчиком массового расхода воздуха двигателя. Описан процесс эксперимента и обработки сигнала. Представлены результаты.

Ключевые слова: дизельный двигатель, система Common Rail, диагностирование, датчик массового расхода воздуха.

Кривцов Сергей Николаевич, профессор кафедры Автомобильный транспорт ИРНИТУ
Кузнецов Игорь Игоревич, студент гр. ЭТБп-17 ИРНИТУ

Введение. Постоянное стремление повысить эффективность работы двигателя, улучшить его экономические и экологические характеристики, приводят к тому, что силовой агрегат автомобиля становится все более технически сложным, дорогостоящим, высокоточным и требовательным. Условия экс-

плуатации, качество топлива, своевременность обслуживания могут сильно корректировать заложенный производителем ресурс двигателя. При ухудшении технического состояния двигателя технико-экономические показатели автомобиля также снижаются [1,2]. Поэтому достоверное диагностирование его технического состояния является важной задачей.

Актуальность темы. Известно, что ресурс двигателя до капитального ремонта обусловлен техническим состоянием кривошипно-шатунного механизма (в первую очередь, цилиндро-поршневой группы и подшипников коленчатого вала) [3]. В настоящее время известен достаточно обширный арсенал методов и средств диагностики, в том числе технического состояния цилиндров. Самые известные методы диагностирования технического состояния ЦПГ (цилиндро-поршневой группы) двигателя (замер компрессии, проверка пневмотестером) достоверны, но при этом их применение подразумевает разборку двигателя и повышенную трудоемкость [4,5]. Кроме этого, в некоторых случаях существует риск облома свечи накала при ее выкручивании, что грозит значительными простоями и дорогим ремонтом. Поэтому, диагностирование технического состояния ЦПГ дизельных двигателей, желательно проводить оперативными малозатратными методами. Существующие экспресс-методы, например, замер напряжения на клеммах аккумуляторной батареи или тока, потребляемого стартером являются относительными [5,6,7] и ими нельзя оценить общую изношенность. В то же время, очень малозатратным и доступным методом диагностики является метод замера количества картерных газов, но он не позволяет диагностировать цилиндры по отдельности и требует подключения дополнительного оборудования [8]. Между тем, практически каждый современный двигатель оснащается необходимым арсеналом датчиков, одним из которых является датчик массового расхода воздуха (ДМРВ). Возможности штатных датчиков для определения технического состояния двигателя можно улучшить, если измерять расход картерных газов посредством датчика массового расхода воздуха двигателя. Внедрению этого метода препятствует недостаток знаний о функционировании двигателя на холостом ходу в зависимости от пробега и технического состояния. Это делает выполнение настоящего исследования актуальным.

Постановка задачи. Современные автомобильные двигатели имеют замкнутую систему вентиляции картера. Это значит, что картерные газы идут обратно во впуск двигателя после ДМРВ. Двигатель, для нормальной работы на холостом ходу (турбокомпрессор при этом режиме практически не развивает избыточного давления), потребляет необходимое ему количество воздуха. Его поступление плюс отработанные картерные и рециркулируемые газы контролирует датчик массового расхода воздуха, установленный после воздушного фильтра (рис. 1).

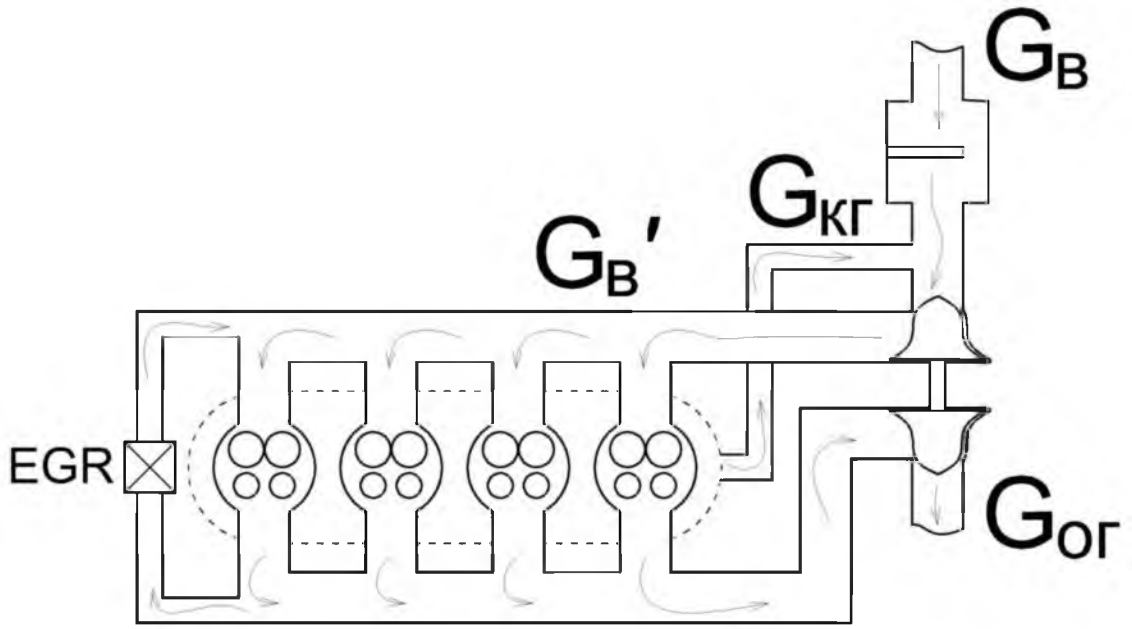


Рис. 1. Схема движения газов в турбодизельном двигателе с системой рециркуляции отработанного газа

Если патрубок вентиляции картера газов исключить из общего потока, а отверстие во впуске заглушить, то через датчик массового расхода воздуха станет поступать большее количество воздуха, компенсируя отсутствующие картерные газы. Следовательно, по разнице замеров с ДМРВ с работающим сапуном двигателя и перекрытым можно судить о количестве картерных газов, прорывающимся через поршневые кольца двигателя.

$$G'_{\text{в}} = G_{\text{в}} + G_{\text{кг}} \quad (1)$$

где $G'_{\text{в}}$ - суммарная масса воздуха, поступающего в цилиндры, $G_{\text{в}}$ – масса воздуха, поступающего из атмосферы, $G_{\text{кг}}$ – масса картерных газов, проходящих через сапун двигателя.

Следовательно:

$$G'_{\text{в}} - G_{\text{в}} = G_{\text{кг}} \quad (2)$$

Таким образом, расход картерных газов можно определить с помощью штатного ДМРВ без использования дополнительного дорогостоящего оборудования.

Методика проведения эксперимента. Эксперименты выполнялись на автомобилях, оснащенных системой питания Common Rail в условиях рядовой эксплуатации при технических обслуживаниях и обращениях на предприятия автомобильного сервиса.

Методика определения расхода картерных газов предусматривала выполнение определенного перечня операций и выполнялась в следующей последовательности:

1. Запуск и прогрев двигателя до рабочей температуры;

2. Подключение одним каналом аналого-цифрового преобразователя (АЦП) к сигнальному проводу датчика массового расхода воздуха (рис. 2 и 3);

3. Для синхронизации с порядком работы цилиндров второй щуп АЦП подключался к датчику положения распределительного вала (рис. 4);

4. Запись параметров и их анализ с указанием модели автомобиля, пробега, заранее выявленных неисправностей;

5. Выведение патрубка сапуна наружу и герметизация отверстия;

6. Повтор п. 4 и анализ данных.

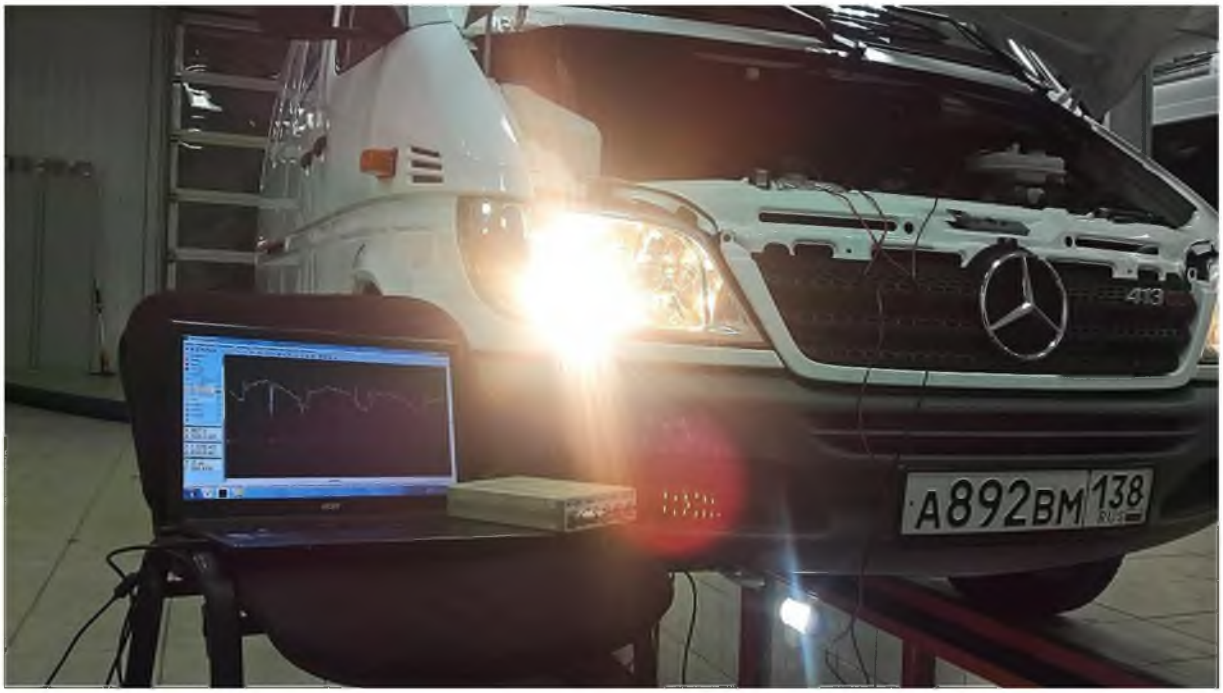


Рис. 2. Подключение приборного комплекса к двигателю автомобиля Mercedes-Benz Sprinter Classic

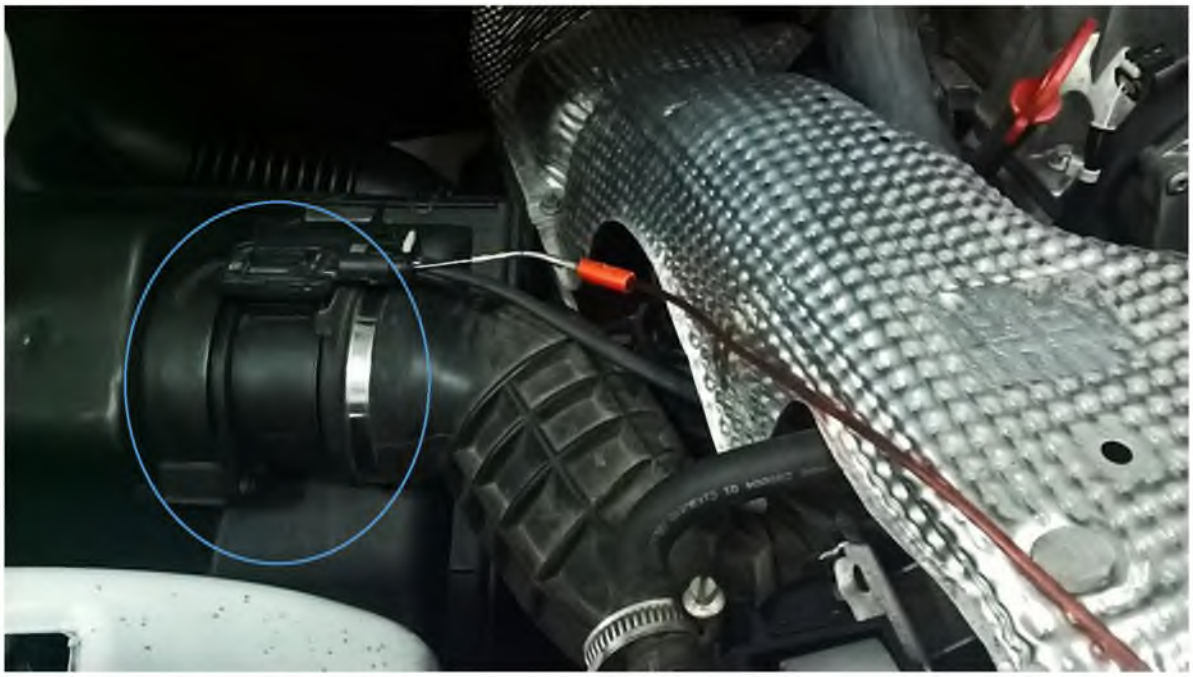


Рис. 3. Подключение щупа осциллографа к датчику массового расхода воздуха автомобиля Mercedes-Benz Sprinter Classic

Рис. 4. Подключение к датчику положения распределительного вала автомобиля Mercedes-Benz Sprinter Classic

Обработка сигналов ДМРВ производилась с помощью специально разработанного скрипта (рис. 5). Поскольку сигнал с большинства современных датчиков частотный, находились одноименные (передние или задние) фронты сигнала и вычислялась частота. В анализе участвовали, как средние, так и мгновенные значения расходов.

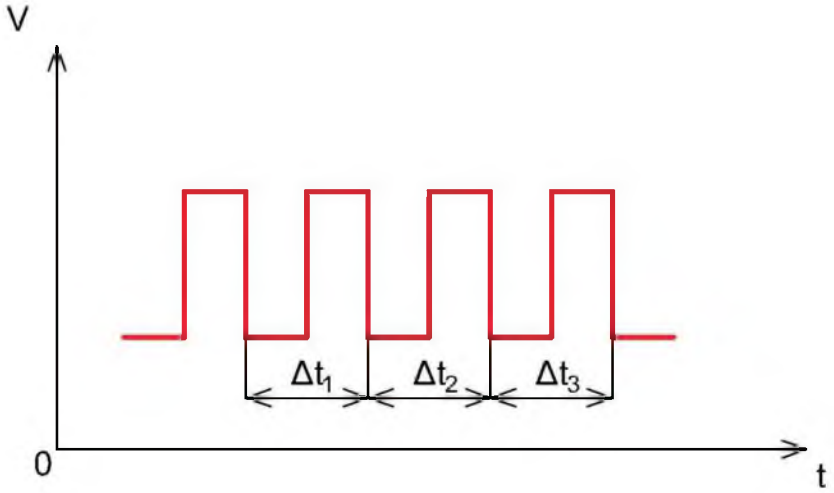


Рис. 5. Методика обработки сигнала с датчика массового расхода воздуха

Частота следования импульсов определялась как:

$$f_i = \frac{1}{\Delta t_i} \quad (3)$$

Для созданных массивов частот находилось среднее значение частоты.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментов, проведенных на автомобилях с дизельным двигателем Mercedes-Benz Sprinter Classic и Hyundai Santa Fe представлены на рис. 6 и 7.

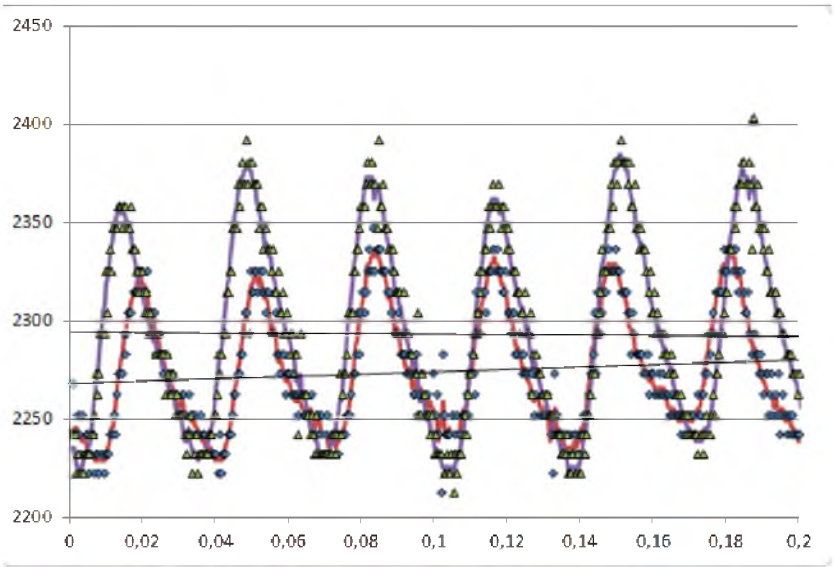


Рис. 6 – совмещенный график зависимости количества воздуха, проходящего через ДМРВ, от времени, с функционирующей и заглушенной системой вентиляции картера на автомобиле Mercedes-Benz Sprinter Classic.

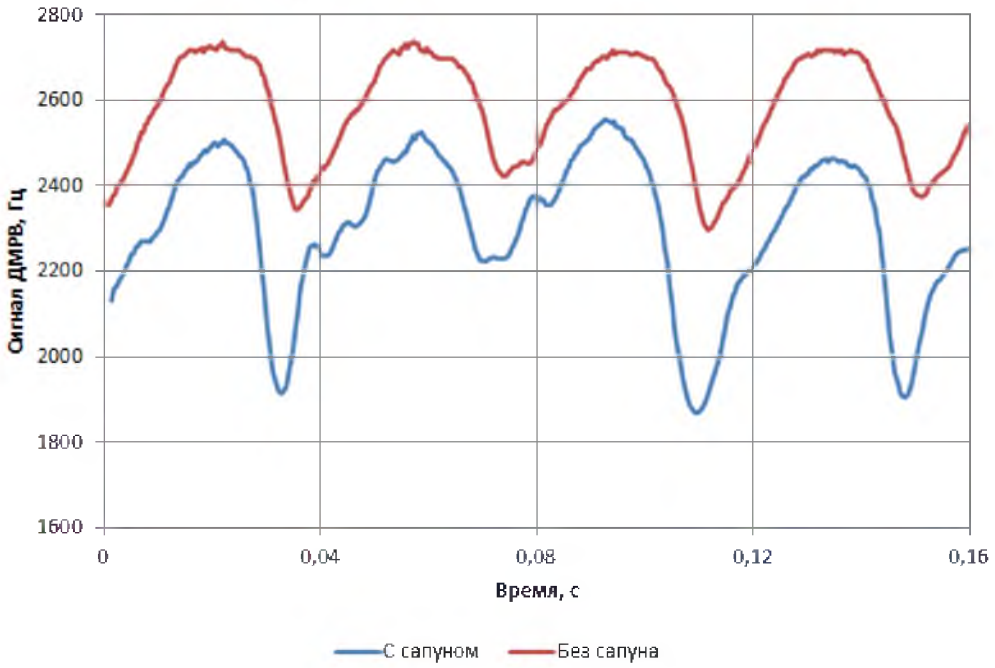


Рис. 7. Совмещенный график зависимости количества воздуха, проходящего через ДМРВ, от времени, с функционирующей и заглушенной системой вентиляции картера на автомобиле Hyundai Santa Fe.

Анализ данных, представленных на рис. 6 и 7, позволяет заключить, что для двух автомобилей получены сходные результаты. Причем, несмотря на различия в формах сигналов, тенденция увеличения количества воздуха при изоляции сапуна от впускного коллектора наблюдалась в обоих случаях, что подтверждает теоретические предпосылки по применению данного метода. Так, при перекрытии сапуна через ДМРВ проходит большее количество воздуха, (2275 Гц и 2297 Гц – средняя частота импульсов на примере MB Sprint-

er). Отличия составляют около 1%, т.к. двигатель не изношен. В случае, представленном на рис. 6 для автомобиля Hyundai Santa Fe различия составили уже около 11%, что свидетельствует об изношенности двигателя. Дальнейшие диагностические мероприятия подтвердили износ цилиндро-поршневой группы и необходимость капитального ремонта двигателя. Предположительно, по разности амплитудных значений расхода можно оценить герметичность отдельных цилиндров.

Список использованной литературы

1. Крамаренко Г.В. и др.Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Г.В. Крамаренко. - 2-е изд. - М.: Транспорт, 1983. - 488 с, ил., табл.

2. Кривцов С.Н. Методологические основы диагностики автомобилей с дизельными двигателями, оснащенными аккумуляторными топливоподающими системами . Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук 05.22.10/ Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск, 2017 – 441 с.

3. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы эксплуатации автомобилей. - М.: Транспорт, 1985.-с.214.

4. Кривцов С.Н. Повышение информативности диагностирования технического состояния цилиндров дизельного двигателя в режиме холостого хода /Кривцов С.Н. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 11 (106). с. 100-106.

5. Кривцов С.Н. Сравнение диагностических параметров оценки герметичности надпоршневого пространства цилиндров дизельного двигателя при прокручивании стартером без подачи топлива / Кривцов С.Н., Пукало А.В., Кривцова Т.И. // Журнал ААИ №6 2015 с. 54-57.

6. Кривцов С.Н. Теоретические предпосылки метода диагностирования компрессионных свойств дизельного двигателя по параметрам тока /Кривцов С.Н., Упкунов Ю.Н., Кривцова Т.И. // Вестник ИрГСХА. 2010. № 38. с. 71-77.

7. Кривцов С.Н Алгоритм диагностирования дизельного двигателя по характеристикам стартерного тока. Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2015. Т. 3. № 1. С. 41-44.

8. Diagnostics of piston space tightness by pressure change in engine casing under dynamic loading. A V Safonov, M L Vertey, A P Syrbakov, G V Shnitkov, S N Krivtsov and N N Berezhnov. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering632 (2019) 012069 IOP Publishing.

Данные авторов

А

Ахатов Рашид Хадиатович, к.т.н., директор института авиамашиностроения и транспорта, тел.: +7(3952) 40-51-30, e-mail: axatob@istu.edu

Б

Балановский Андрей Евгеньевич, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов, e-mail: fuco.64@mail.ru

Бочаров Андрей Викторович, к.т.н., начальник Управления разработки систем оценки соответствия центра «Оценка соответствия транспортных средств и их компонентов», e-mail:a.bocharov@nami.ru

Бутузова Александра Борисовна, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», тел.: 405135, e-mail: alexa.kupriyanova@gmail.com

Беломестных Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, тел.: 89641171354, e-mail: berkut1@mail.ru

В

Васечкин Ульян Александрович, студент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.: 89247192826 e-mail: ulyan.vase4kin@ya.ru

Г

Галевко Юрий Владимирович, к.т.н., с.н.с., зав. лабораторией виброакустики отделения экологии транспортных средств, тел.: +7916 592-2238, E-mail: yu.galevko@autorc.ru

Гречнева Мария Васильевна, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов

Д

Дроков Виктор Владиславович, тел.: +7(902) 546-78-57, +7(904) 113-60-10, e-mail: viktor.drokov@gmail.com.

Дроков Виктор Григорьевич, доктор техн. наук, ведущий сотрудник НИИ прикладной физики, заведующий лабораторией физики низкотемпературной плазмы, тел.: +7 (950) 102-00-71, e-mail: spectrosib@gmail.com.

Журавлёв Диомид Алексеевич, дтн, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, тел. 89021719546, email: dio@istu.edu

З

Зедгенизов Виктор Георгиевич, д.т.н., профессор кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», e-mail: vigez@istu.edu

И

Иванов Николай Аркадьевич, канд. физ.-мат. наук, научный руководитель НИЛ зондовой микроскопии, технический руководитель НИЛ электронной микроскопии №1, научный руководитель НИЛ рентгеноструктурного анализа, директор байкальского центра нанотехнологий, заведующий кафедрой

информационной безопасности, тел.: +7 (3952) 61-83-45, +7 (3952) 40-59-03, +7 (3952) 40-57-44, e-mail: ivnik@ist.edu.

Иванова Татьяна Васильевна, старший научный сотрудник отделения экологии транспортных средств

К

Казанцев Данил Михайлович, студент группы ЭТбп-18 кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89842703007, e-mail: Inna.vtorushina @yandex.ru.

Карлина Юлия Игоревна, научный сотрудник научно-исследовательской части, тел. 89148798505, email: karlinigor@mail.ru

Казмиров Александр Дмитриевич, канд. физ.-мат. наук, тел.: +7(964) 356-47-66, e-mail: kadm0909@gmail.com.

Кокоуров Дмитрий Владимирович, зав. кафедрой строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.:8(3952)405405 e-mail:Kokourovdv@istu.edu

Кольцов Владимир Петрович, д.т.н., профессор технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: kolcov@istu.edu;

Королев П.В., канд. техн. наук, доцент ИРНИТУ, e-mail: tpwood@rambler.ru, тел. сот.: +7-914-880-00-40,

Котельников Степан Николаевич, студент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, тел.: 89245482708 e-mail: kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru

Кривцова Татьяна Игоревна, доцент кафедры Автомобильный транспорт, тел.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Кривцов Сергей Николаевич, профессор кафедры Автомобильный транспорт ИРНИТУ

Кузнецов Игорь Игоревич, студент гр. ЭТБп-17 ИРНИТУ

Куликов Антон Александрович, студент гр.МТпб-16-1

Л

Лебедева Марина Евгеньевна, студентка группы ММб-19-2 Института авиамашиностроения и транспорта, тел.: 89842728182, e-mail: lebedeva21.2000@mail.ru

Ле Чи Винь, к.т.н, доцент кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: vinh_istu@mail.ru

Ляпина В.Н., аспирант кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы», e-mail: V03@istu.edu

М

Мартышенко А.И., студентка ИРНИТУ группа ГГ-17, e-mail: brain_hole@mail.ru, тел. сот.: +7-914-955-04-12

Мурыщенко Владимир Валерьевич, тел.: +7(924) 601-72-82, e-mail: dl-lr@yandex.ru

Н

Нгуен Тхе Хоанг, магистрант кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств , e-mail: nguyenthehoang05091993@gmail.com

Николаев Андрей Юрьевич, младший научный сотрудник кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: andrnikolajev@gmail.ru

О

Опарина Татьяна Александровна, студент гр. ИНб-16-1, тел. 89148760181, email: martusina2@yandex.ru

П

Пашков Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительных производств, тел. +7 (395) 240-57-20, e-mail: pashkov@istu.edu

Потылицын Евгений Андреевич, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», тел.: 405135, e-mail: potilycin_j@mail.ru

Пределин Владислав Олегович, студент группы ЭТбп-18 кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89842703007, e-mail: Vlad.pridelin @mail.ru.

Прокофьев Сергей Борисович, аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: mlprok@mail.ru

Р

Ракицкая Валентина Борисовна, старший преподаватель кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: rvb@istu.edu;

С

Стрельников Александр Николаевич, доцент кафедры строительных дорожных машин и гидравлических систем, e-mail: strelnikov077@rambler.ru

Свирбутович Ольга Александровна, доцент кафедры автомобильного транспорта, тел.: 89148706351, e-mail: zazetta77@mail.ru.

Сидорова Алена Владимировна, младший научный сотрудник кафедры Технологии и оборудования машиностроительных производств, тел.: 89501321663, e-mail: alena91@ex.istu.edu

Степанов С.В., студент ИРНИТУ группа ГО-17, e-mail: Stepp_1000@mail.ru, тел. сот.: +7-902-764-11-25

Т

Тихонов Максим Викторович, студент группы ААБ-16-1, кафедра Автомобильный транспорт, ИРНИТУ, телефон +7 950 136-98-38, email: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Тюркин Антон Александрович, инженер-исследователь 1 категории отделения экологии транспортных средств

Ф

Федорова Лидия Петровна, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», тел. 89501101244,e-mail: Lidyafedorva@yandex.ru

Ч

Чапышев Александр Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: chapyshev_ap@irkut.ru

Научное издание

АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей
XIII Всероссийской
научно-технической конференции

(Иркутск, 23 декабря 2019 г.)

Подписано в печать 14.02.2020. Формат 60 x 90 / 16
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,0.
Тираж 100 экз. Зак. 49. Поз. плана д/п.

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