



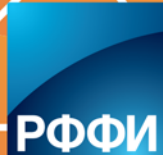
ЛГТУ



I Международная научно-практическая конференция

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

ТОМ 2



АДМИНИСТРАЦИЯ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НА ТРАНСПОРТЕ**

ТОМ 2

Материалы I международной
научно-практической конференции

12-13 декабря 2018 г.

Липецк
Липецкий государственный технический университет
2018

УДК 656.13(06)

И742

Рецензент: Родионов Ю.В., д-р техн. наук, проф. (Пенза, ПГУАС)

И742 Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ПТТ'2018 [Текст]: материалы I междунар. науч.-практ. конф., 12-13 декабря 2018 г. В 2 т. Т. 2. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2018. – 271 с.

ISBN 978-5-88247-904-5 (т. 2)

ISBN 978-5-88247-902-1

Представлены материалы I международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте», проходившей 12-13 декабря 2018 г. в г. Липецке.

В том 2 включены материалы работы секций «Автомобиле- и тракторостроение, навесное и прицепное оборудование. Перспективные материалы, оборудование и технологии технического сервиса транспортных средств» и «Транспортно-логистические закономерности взаимодействия железнодорожного транспорта с сопредельными подсистемами».

УДК 656.13(06)

Организационный комитет:

председатель Погодаев А.К., д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя Ляпин С.А., д-р техн. наук, доц.,
зам. председателя Галкин А.В., канд. техн. наук, доц.,
ученый секретарь Ризаева Ю.Н., д-р техн. наук, доц.

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований, Проект 18-07-20107 Г.*

Издано при поддержке ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

ISBN 978-5-88247-904-5 (т. 2)

ISBN 978-5-88247-902-1

© ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет», 2018

I международная научно-практическая конференция

«ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ»

Важность проведения конференции заключается в объективной необходимости: системного осмысления и обсуждения преобразований на транспорте, применения современных тенденций в области инфокоммуникационных и интеллектуальных технологий на транспорте, архитектуры национальной интеллектуальной транспортно-логистической системы; обмена результатами деятельности зарубежными и российскими научными школами, среди молодых ученых и представителей бизнеса для повышения конкурентоспособности России на мировом рынке транспортно-логистических услуг и повышения системной безопасности транспортного процесса.

Направления работы конференции позволяют расширить возможности применения научных результатов заявленной предметной области, обеспечить проведение ряда взаимосвязанных фундаментальных междисциплинарных исследований в области информатики на основе математических, информационных, экологистических принципов и связаны с обсуждением разработанных теоретико-методологических и практических аспектов инфокоммуникационных и интеллектуальных технологий для решения научных проблем и поставленных задач управления транспортными системами.

Мероприятие проводится в рамках празднования 65-летия Липецкой области и 30-летия кафедры автоматизированных систем управления Липецкого государственного технического университета.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Интеллектуальные транспортные системы и безопасность дорожного движения
- Моделирование, автоматизация и управление транспортными процессами и компонентами
- Автомобиле- и тракторостроение, навесное и прицепное оборудование. Перспективные материалы, оборудование и технологии технического сервиса транспортных средств
- Транспортно-логистические закономерности взаимодействия железнодорожного транспорта с сопредельными подсистемами

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО

ПОГОДАЕВ Анатолий Кириянович

ректор, доктор технических наук, профессор (Липецк, ЛГТУ)

ЕЛФИМОВ Валерий Иванович

начальник Управления дорог и транспорта Липецкой области (Липецк)

САРАЕВ Павел Викторович

проректор по научной работе, доктор технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

ЛЯПИН Сергей Александрович

декан факультета инженеров транспорта, доктор технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

ГАЛКИН Александр Васильевич

декан факультета автоматизации и информатики, кандидат технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПОГОДАЕВ Анатолий Кириянович

доктор технических наук, профессор (Липецк, ЛГТУ)

ЕЛФИМОВ Валерий Иванович

начальник Управления дорог и транспорта Липецкой области (Липецк)

САРАЕВ Павел Викторович

доктор технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович

академик РАН, доктор технических наук, профессор (Мичуринск, МичГАУ)

ДИДМАНИДЗЕ Отари Назирович

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор (Москва, РГАУ)

Olja ŠOKORILO

Prof. Dr. (Belgrade, Serbia, University of Belgrade)

Pavel PŘIBYL

Prof. Dr. (Prague, Czech Republic, Czech Technical University)

Stanimir VALTCHEV

Prof. Auxiliar (Portugal, Lisbon, New University of Lisbon)

ФЛИЦАНОВ Юрий Исакович

доктор технических наук (Тель-Авив, Израиль, Тель-Авивский университет)

БАЖИНОВ Алексей Васильевич

доктор технических наук, профессор (Харьков, Украина,
Харьковский Национальный Автомобильно-Дорожный Университет)

МАМАТОВ Фармон Муртозевич

доктор технических наук, профессор (Карши, Узбекистан,
Каршинский инженерно-экономический институт)

БАСКОВ Владимир Николаевич

доктор технических наук, профессор (Саратов, СарГТУ им. Ю.А. Гагарина)

- ДУДКИН Евгений Павлович**
доктор технических наук, профессор (Санкт-Петербург, ПГУПС)
- ЕВТЮКОВ Сергей Аркадьевич**
доктор технических наук, профессор (Санкт-Петербург, СПбГАСУ)
- ЖАНКАЗИЕВ Султан Владимирович**
доктор технических наук, профессор (Москва, МАДИ)
- ЗЫРЯНОВ Владимир Васильевич**
доктор технических наук, профессор (Ростов-на-Дону, ДГТУ)
- КОРНИЛОВ Сергей Николаевич**
доктор технических наук, профессор (Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова)
- КОРЧАГИН Виктор Алексеевич**
доктор технических наук, профессор (Липецк, ЛГТУ)
- КРОПОТОВ Андрей Леонидович**
начальник Управления железнодорожного транспорта (Липецк, НЛМК)
- ЛИ Роман Иннакентьевич**
доктор технических наук, профессор (Липецк, ЛГТУ)
- НОВИКОВ Александр Николаевич**
доктор технических наук, профессор (Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева)
- ПЕРЦЕВ Дмитрий Владимирович**
начальник Лискинского центра организации работы железнодорожных станций
(Лиски, Воронежская область, РЖД)
- ПОПОВ Алексей Тимофеевич**
кандидат технических наук, профессор (Липецк, ЛГТУ)
- РАХМАНГУЛОВ Александр Нельевич**
доктор технических наук, профессор (Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова)
- РОДИОНОВ Юрий Владимирович**
доктор технических наук, профессор (Пенза, ПГУАС)
- САРБАЕВ Владимир Иванович**
доктор технических наук, профессор (Москва, МПУ)
- СИЛЬЯНОВ Валентин Васильевич**
доктор технических наук, профессор (Москва, МААДО)
- СТОРОЖЕНКО Дмитрий Викторович**
начальник цеха эксплуатации подвижного состава
Управления железнодорожного транспорта (Липецк, НЛМК)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПОГОДАЕВ Анатолий Кирьянович – *председатель*
ректор, доктор технических наук, профессор

ЛЯПИН Сергей Александрович – *заместитель председателя*
декан факультета инженеров транспорта, доктор технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

ГАЛКИН Александр Васильевич – *заместитель председателя*
декан факультета автоматизации и информатики, кандидат технических наук, доцент (Липецк, ЛГТУ)

РИЗАЕВА Юлия Николаевна – *ученый секретарь оргкомитета*
доктор технических наук, доцент, заместитель декана
факультета инженеров транспорта ЛГТУ по научной работе

Члены оргкомитета

СЫСОЕВ Антон Сергеевич

СУСЛОВА Ольга Анатольевна

БУТИН Антон Владимирович

КАДАСЕВ Дмитрий Анатольевич

ХАБИБУЛЛИНА Елена Леонидовна

ЕВСЕЕВ Алексей Михайлович

ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

12-13 декабря 2018 г.

Липецк, Липецкий государственный технический университет

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Автомобиле- и тракторостроение, навесное и прицепное оборудование. перспективные материалы, оборудование и технологии технического сервиса транспортных средств»

<i>Ахметов А.А., Маматов Ф.М., Усманов И.И., Абдуразаков А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ БАЛКИ РЕВЕРСИВНОГО ПЕРЕДНЕГО МОСТА ПРИ ДВИЖЕНИИ УНИВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА ПО НЕРОВНОСТЯМ	13
<i>Алдошин Н.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	19
<i>Балашов А.В., Зазуля А.Н., Стрыгин С.П., Капустин В.П., Хайруллина С.Г.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ДИСКА ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН СОИ	26
<i>Бутин А.В.</i> НОВЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ НАНО-МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ	35
<i>Гребеньков Д.В.</i> ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИОННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ	39
<i>Дидманидзе О.Н., Хакимов Р.Т., Большаков Н.А.</i> ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТАНА В ГАЗОМОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ	45
<i>Дмитриев С.А.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССТУПЕНЧАТЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИНЕРЦИОННЫХ ПЕРЕДАЧ НА ГОРОДСКИХ АВТОБУСАХ КАТЕГОРИИ М ₃	53
<i>Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А.</i> К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	58
<i>Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Пеньков Н.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРНИРОВ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	63
<i>Киба М.Р.</i> ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ КАЛИБРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ АВТОМОБИЛЕЙ	69
<i>Курсанов Ф.А.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	77

<i>Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б.</i> ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	82
<i>Константинова И.С., Тарабрина Т.А.</i> МОТОРНЫЕ МАСЛА - НЕОТЪЕМЛЕМАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	87
<i>Куверин И.Ю., Денисов А.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PROTEUS ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИБОРА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	94
<i>Ли Р.И., Пчельников А.В.</i> КРИТЕРИИ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА	99
<i>Ли Р.И., Маматов Ф.М., Тоиров И.Ж., Быконя А.Н.</i> МОДЕЛЬ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСАДОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	107
<i>Малюгин В.А.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ	113
<i>Мельников А.Ю., Коломейченко А.В.</i> МЕТОДЫ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	117
<i>Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Левин М.Ю.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ НЕФТЕСКЛАДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	124
<i>Новожилов Б.А.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ «СУХОЙ» ДВУХДИСКОВОЙ МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ В ТРАНСМИССИИ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ ПОД НАГРУЗКОЙ	129
<i>Перегудов Н.Е.</i> ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ ПРИ ПРОХОДЕ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА	134
<i>Петрашев А.И., Клепиков В.В., Губашева А.М.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ТУКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ AMAZON ZA-M900 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ	141
<i>Псарев Д.Н.</i> СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ В РАСТВОРАХ ПОЛИМЕРОВ	149

<i>Садьков М.Р., Адигамов Н.Р., Адигамов Н.Н.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ	157
<i>Тугушев Б.Ф., Бойков Н.В., Воробьев А.А., Косьяненко В.С.</i> ДУГОВАЯ ШИРОКОСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ	163
<i>Хатунцев В.В., Гончаров Д.А.</i> МЕТОД ТЕПЛОВОЙ ТОМОГРАФИИ – ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	170
<i>Шарафиев А.А., Адигамов Н.Р., Адигамова М.Н.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН	174
<i>Flitsanov Yuri</i> A COOLER FOR DENSE-ARRAY CPV RECEIVERS BASED ON METAL FOAM	180
Секция «Транспортно-логистические закономерности взаимодействия железнодорожного транспорта с сопредельными подсистемами»	
<i>Богачев А.Е., Малахов А.И.</i> ВЛИЯНИЕ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ТРЕТЬИХ ЛИЦ ПО ДОГОВОРУ ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ	191
<i>Ворошнин Н.В., Сулова О.А.</i> МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ПОДАЧИ (УБОРКИ) ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	197
<i>Дудкин Е.П., Черняева В.А., Дороничева С.А.</i> МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДАХ	202
<i>Коберницкий А.А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ	208
<i>Корнилов С.Н., Антонов А.Н., Варжина К.М.</i> СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	215
<i>Либерман Б.А.</i> НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРИ ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТАХ	221
<i>Малахов А.И., Богачев А.Е.</i> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	225

<i>Малахов М.В.</i> КОНТРОЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ - КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛУБРИКАТОРОВ НА ПУТЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	230
<i>Пегин П.А., Ильин А.А.</i> УЛУЧШЕНИЕ СЕТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)	234
<i>Попов А.Т., Сулова О.А., Воронина О.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРИЗАВОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ДИНАМИКЕ	238
<i>Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Копылова О.А., Муравьев Д.С.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА НАПРАВЛЕНИИ ВОСТОК – ЗАПАД	245
<i>Сафронов А.В.</i> СНИЖЕНИЕ ПРОСТОЕВ В РЕМОНТЕ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА	254
<i>Хмелев А.С., Попов А.Т.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ	262

**АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИЕ,
НАВЕСНОЕ И ПРИЦЕПНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

УДК 629.114.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ БАЛКИ РЕВЕРСИВНОГО
ПЕРЕДНЕГО МОСТА ПРИ ДВИЖЕНИИ
УНИВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА ПО НЕРОВНОСТЯМ**

**A STUDY OF THE TENSION BEAM REVERSIBLE THE FRONT AXLE WHEN
DRIVING UNIVERSAL TRACTORS**

Ахметов Адилбек Агабекович¹, Маматов Фармон Муртозевич²,

Усманов Исраил Исакович¹, Абдуразаков Азиз¹

¹ Специальное конструкторское бюро «Трактор»,

² Каршинский инженерно-экономический институт

Adilbek Ahmetov¹, Farmon Mamatov², Israil Usmanov¹, Aziz Abdurazakov¹

¹ Special design bureau "Tractor",

² Karshinsk Engineering and Economic Institute

Аннотация

В статье приводится конструкция реверсивного переднего моста четырехколесного универсально-пропашного трактора и результаты исследований по обеспечению условия прочности передней балки этого моста при движении трактора по неровностям. Основное назначение трактора, снабженного реверсивным передним мостом – транспортные работы (при удлиненной базе) и механизация полевых работ (при укороченной базе) по предпосевной обработке почвы, посеву, возделыванию и уборке различных видов сельхоз культур. Техническое решение, принятое в конструкции трактора за счет реверсивного изменения направлении выката на величину l_6 в ту или иную (А или В) сторону передних колес позволяет изменять длину базы L_m трактора от $L_{min} = 2100$ мм до $L_{max} = 2700$ мм.

Ключевые слова: балка, брус, колесо, колея, кронштейн, передний мост, напряжения, прочность, запас прочности, предел текучести, усилие, трактор.

Abstract

The article presents the reversible design of the front axle of four-wheeled universal tractors and results of the research to ensure the condition of strength of the front beam of the bridge when the tractor is on uneven. The main purpose of the tractor, equipped with a reversible front axle-transport work (with an elongated base) and mechanization of field work (with a shortened base) for pre-sowing tillage, sowing, cultivation and harvesting of various types of agricultural crops. The technical solution adopted in the design of the tractor due to reversible changes in the direction of bulging on the value is essential in particular (A or B) side to the front-les allows you to change the length of the base L_M of the tractor from $L_{min} = 2100$ mm to $L_{max} = 2700$ mm.

Key words: beam, beam, wheel, track, bracket, front axle, tension, strength, margin of safety, yield strength, force, tractor.

Введение

По мере становления и укрепления фермерских хозяйств, возделываемых сельскохозяйственных культур, как на поливном земледелии, так и на богаре, остро встает вопрос обеспечения их энергетическим средством отвечающим особенностям и различиям землепользования.

Как известно на богаре, посевная площадь имеет неравномерную поверхность и в большинстве случаев значительную склонность. Поэтому при работе на богаре для обеспечения устойчивости трактора его база должна быть наибольшим. Между тем при работе на овощеводстве, бахчеводстве и садоводстве, где преобладают мелко контурные карты, имеющие небольшие размеры, наоборот, для обеспечения минимального радиуса поворота база трактора должна быть наименьшим. Так как на мелко контурных картах радиус поворота трактора имеет существенное значение при определении размеров поворотных полос.

Таким образом в целях повышения устойчивости и маневренности трактора, а также для обеспечения возможности применения одного и того же универсально-пропашного трактора как на обширных неровных полях (например, на богаре) так и на мелко контурных участках (например, на овощеводстве, бахчеводстве и садоводстве) необходимо иметь трактор с изменяемой базой [1].

Однако широко распространенные в сельскохозяйственном производстве республики универсально-пропашные тракторы ТТЗ-30, ТТЗ-60.10, ТТЗ-80.10, ТТЗ-100.10, МТЗ-80, МТЗ-100, МТЗ-142, Т-40А и др. хотя имеют регулируемую колею, но не имеют возможности изменения длины базы. Между тем решение проблемы устойчивости путем изменения длины базы позволил бы использовать одного того же трактора в широком диапазоне от транспортировки грузов, предпосевной обработки почвы и посева до междурядной обработки и уборки урожая как на богаре, так и овощеводстве, и бахчеводстве, а также на работах по уходу за садами.

Использование четырехколесного универсально-пропашного трактора с изменяемой базой вместо широко используемого в республике серийного четырехколесного универсально-пропашного трактора вместе с расширением диапазона его применения обеспечивает [2]:

- достижения повышенной поперечной устойчивости трактора, против имеющейся поперечной устойчивости известных четырехколесных тракторов;
- снижение галопирования и подпрыгивания трактора при транспортных работах;
- устранение нерационального распределения массы МТА по опорам трактора;
- возможности применения трактора не только на транспортных и других видах работ, но и на междурядной обработке посевов на мелко контурных картах.

Исследование напряжений, возникающих при движении на богаре по неровностям в конструкциях переднего моста этого трактора, имеют определенный научный интерес.

Главным несущим элементом переднего моста является передняя балка, от прочности которой во многом зависит надежность работы трактора.

Цель исследования – оценка прочности передней балки реверсивного переднего моста колесного трактора на основе исследований напряжений, возникающих при движении на богаре по неровностям.

Материалы и методы. В литературных источниках достаточно много материалов посвященных тракторам с удлиненной или укороченной базой. Однако в них вопросы повышения устойчивости и поворотливости трактора за счет изменения длины базы остались не решенными, особенно при его работе на богаре и для уменьшения радиуса

поворота при работе на мелко контурных картах.

Поэтому в СКБ «Трактор» проводятся НИ и ОКР по созданию универсально-пропашного трактора с изменяющейся длиной базы и на их основе разработана конструкция такого трактора (рис. 1) снабженного реверсивным передним мостом [3]. Новизна конструкции, которого защищена патентами на полезную модель [4], и она за счет реверсивного изменения направления (N_a или N_b) выката на величину l_6 в ту или иную (A или B) сторону передних колес позволяет изменять длину базы L_M трактора от $L_{min} = 2100$ мм до $L_{max} = 2700$ мм.

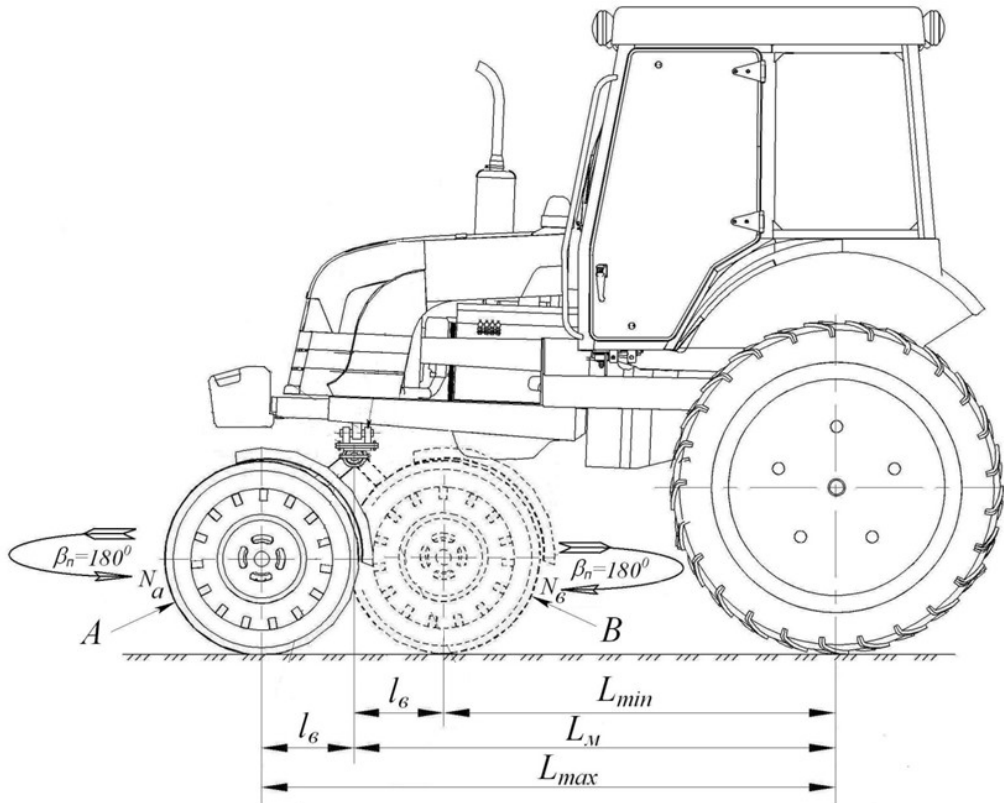


Рисунок 1. Универсально-пропашной трактор, снабженный реверсивным передним мостом

Основное назначение трактора, снабженного реверсивным передним мостом – транспортные работы и механизация полевых работ по предпосевной обработке почвы, посеву, возделыванию и уборке различных видов сельхоз культур, как на богаре, так и на поливном земледелии при агрегатировании его с навесными, полуприцепными или прицепными сельскохозяйственными машинами и орудиями.

Результаты и обсуждения исследований

В литературных источниках достаточно много материалов по исследованию и расчету напряжений, возникающих на передней балке при движении трактора по неровностям [5, 6]. Однако в этих работах расчет и исследования передней балки на изгиб проводятся у оси качения колес без учета напряжений возникающих в характерных сечениях самой балки. Поэтому исследование напряжений, возникающих при заносе в конструкции самой передней балки, в ее характерных сечениях, дает возможности оценки

правильности выбранных при его проектировании параметров и рекомендации по правильной загрузке переднего моста во время эксплуатации трактора.

Расчет передней балки на прочность при движении по неровностям трактора произведен по его наиболее характерным сечениям. В качестве исходной нагрузки принята максимально возможная нагрузка (по грузоподъемности шин передних колес) приложенная на передний мост.

Во время работы трактора на переднюю балку передается вертикальное усилие от силы тяжести передней части трактора G_{nm} и колеса g_k , боковое – усилие заноса P_z и продольное толкающее усилие P_k (рис.2).

При движении по неровностям вертикальное усилие P_z достигает максимального значения, поперечные и продольные усилия отсутствуют [3]. С учетом этого обстоятельства и на основе исходных данных (табл. 1), заложенных в конструкцию переднего моста трактора, производим расчет напряжений изгиба по наиболее характерным сечениям его передней балки, т.е. по сечениям: $II - II$ (проставки), $B - B$ (бокового) и $C - C$ (среднего корпуса балки).

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Наименование показателей и единица их измерения	Значение показателей	
1	2	
Колея передних колес B , мм	1800	
Статический радиус переднего колеса r_k , мм	450	
Вес одного переднего колеса со ступицей g_k , кгс	110	
Грузоподъемность Q_{max1} , кгс	2300	
Коэффициент динамичности k_d	2	
Высота расположения оси качения передней балки h_b , мм	750	
расстояние от оси левого (правого) колеса до расчетного сечения проставки l_l , м	498	
расстояние от оси левого (правого) колеса до расчетного сечения бокового корпуса балки l_B , м	765	
расстояние от оси левого (правого) колеса до расчетного сечения среднего корпуса балки l_C , м	900	
Исследуемые участки балки	Материал	Предел текучести σ_T , МПа
Проставка 1030-3001024	35Л	280
Корпус балки боковой TLP2-3001029	Сталь 40	340
Корпус балки средний TLP2-3001021	Сталь 40	

Согласно расчетной схеме (см. рис.2) изгибающие моменты, создающие напряженное состояние в рассчитываемых сечениях $II - II$, $B - B$ и $C - C$ определяются по формуле

$$M_l = Z_{1l}l, \quad (1)$$

где Z_{1l} – максимальное значение вертикального усилия, Н; l – расстояние от оси левого (правого) колеса до рассчитываемого сечения, м.

Напряжение изгиба в сечениях

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_u}, \quad (2)$$

где W_u – момент сопротивления изгибу сечения.

Момент сопротивления изгибу в сечении $\Pi - \Pi$, имеющую форму сечения трубы определяется по следующей формуле

$$W_u = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}. \quad (3)$$

Сечение $B - B$ имеет сложную конфигурацию, оно состоит из четырех элементов. Момент сопротивления изгибу в этом сечении будет

$$W_u = \frac{\Sigma I_x}{y_{\max}}, \quad (4)$$

где ΣI_x – суммарный момент инерции частей сечения; y_{\max} – расстояние от оси до наиболее удаленной точки сечения.

Момент инерции сечения $B - B$

$$\Sigma I_x = I_{x1} - I_{x2} + 2I_{x3}, \quad (5)$$

где I_{x1}, I_{x2}, I_{x3} – моменты инерции частей сложного сечения $B - B$.

Сечение $C - C$ имеет также сложную конфигурацию, оно состоит из шести элементов.

Момент инерции этого сечения будет

$$\Sigma I_x = I_{x1} - I_{x2} - 2I_{x3} + I_{x4} - I_{x5} + I_{x6}, \quad (6)$$

где $I_{x1}, I_{x2}, I_{x3}, I_{x4}, I_{x5}, I_{x6}$ – моменты инерции частей сложного сечения $C - C$.

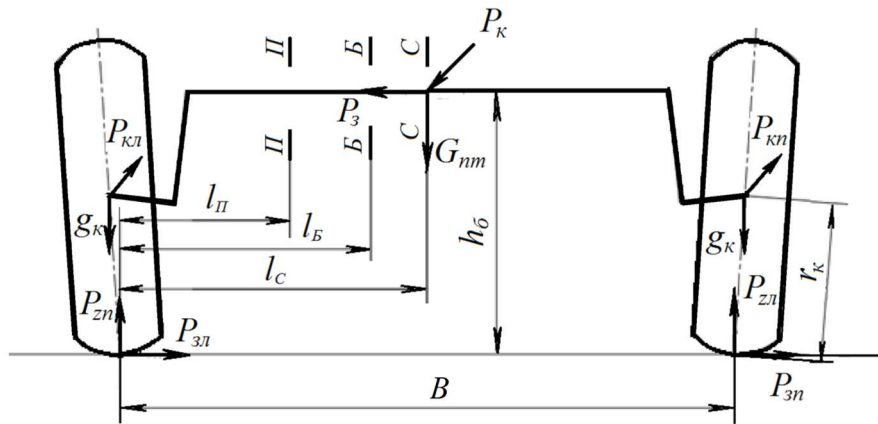


Рисунок 2. Расчетная схема реверсивного переднего моста

Подставляя числовые значения в уравнение (2) определяем напряжение изгиба в сечениях и заносим их в табл. 2.

Надежность и безотказность работы переднего моста при движении трактора по неровностям оценивается по коэффициенту запаса прочности сечений передней балки этого моста, которая определяется по пределу текучести материала следующим выражением

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma} \geq [n_T]_{\min}, \quad (7)$$

где $[n_T]_{\min}$ – минимально допустимый коэффициент запаса прочности.

Таблица 2. Напряжения изгиба в сечениях

Сечение	$M_{из}$, кгс мм	$W_{из}$, мм ³	$\sigma_{из}$, $\frac{кгс}{мм^2}$ (МПа)	n_T	$[n_T]_{min}$
<i>П – П</i>	2290800	119936.9	19.1 (187.37)	1.49	2.1
<i>Б – Б</i>	3519000	179963.9	19.55 (191.82)	1.77	
<i>С – С</i>	4140000	740447.93	5.59 (54.85)	6.2	

Результаты расчета на прочность балки переднего моста при движении трактора по неровностям также сведены в сводную таблицу 2.

Расчет показал, что при рассмотренных видах нагружения и максимально допустимой загрузке переднего моста, наименьший коэффициент запаса прочности при движении по неровностям имеют сечение *П – П*, где $n_T = 1.49$, и сечение *Б – Б*, где $n_T = 1.77$, в этих случаях условие прочности не выполняется, тогда как в сечении *С – С* оно выполняется.

Как показали проведенные исследования для обеспечения условия прочности в сечениях *П – П* и *Б – Б* необходимо: либо не допустить нагрузку на предний мост более чем 70.95% от максимально допустимой нагрузки (по грузоподъемности шин передних колес), либо увеличить толщину стенок проставки и бокового корпуса.

Выводы

1. При движении по неровностям в сечении *С – С* балка реверсивного переднего моста соответствует условию прочности.
2. Условие прочности при неизменной конструкции передней балки будет выполнено для сечений *П – П* и *Б – Б*, если загружать передний мост не более 70.95% от максимально допустимой нагрузки.
3. При максимально допустимой (100 %-ной) нагрузке передней балки для обеспечения условия прочности сечений *П – П* и *Б – Б* необходимо увеличить толщину стенки проставки и бокового корпуса.

Список литературы

- [1] *Ахметов А.А.* Вопросы расширения диапазона применения колесных тракторов // *Irrigatsiya va melioratsiya*, 2018. №1(11). С. 55-59.
- [2] *Ахметов А.А., Усманов И.И.* Универсально-пропашной трактор с изменяемой базой. – Ташкент: Фан, 2018. – 176 с.
- [3] *Ахметов А.А.* Передние мосты универсально-пропашного трактора хлопкового назначения. Под ред. Р.Д. Матчанова. – Ташкент: Фан, 2014. – 176 с.
- [4] Патент UZ FAP 00894. Универсально - пропашной трактор / *Ахметов А.А., Усманов И.И., Ахмедов Ш.А., Астанов Б.Ж.* – 2014. – Бюл., №4.
- [5] *Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т.* Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
- [6] *Беспятый Ф.С., Троицкий И.Ф.* Конструкция, основы теории и расчет трактора. – М.: Машиностроение, 1972. – 502 с.

УДК 656.027.4

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**IMPROVEMENT OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SERVICES FOR
AGRICULTURAL ENTERPRISES.**

Алдошин Николай Васильевич

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Nikolay Aldoshin

Russian State Agrarian University, Moscow, Russia

Аннотация

Внедрение новых транспортно-технологических процессов – главный фактор повышения производительности труда в сельском хозяйстве. Работа транспорта в сельскохозяйственном производстве имеет ряд особенностей: перевозимые грузы рассредоточены на большой площади; изменчивость физико-механических свойств грузов; большое количество процессов и кратковременное их выполнение; не постоянство объемов перевозок; тяжелые дорожные условия; большая разновидность грузов; транспорт часто является составной частью производственных линий и т.д. От построения транспортно-технологического процесса зависят сроки выполнения работ, величина потерь продукции, как количественная, так и качественная, стоимость выполнения работ, затраты средств и труда, сохранность окружающей среды, затраты энергии. Эффективность использования транспортных средств, представляет собой совокупность двух факторов: их производительности и затрат на приобретение и эксплуатацию. В связи с этим решается задача оптимизации транспортно-технологического обслуживания на основе критериев оптимизации учитывающих множество показателей свойств, транспортных средств и различных природно-производственных условий,

Abstract

The introduction of new transport and technological processes is the main factor for increasing labor productivity in agriculture. The work of transport in agricultural production has a number of features: the transported goods are dispersed over a large area; variability of physical and mechanical properties of goods; a large number of processes and their short-term implementation; the constancy of traffic volumes; difficult road conditions; a large variety of goods; transport is often part of production lines, etc. The construction of the transport and technological process depends on the timing of the work, the magnitude of product losses, both quantitative and qualitative, the cost of the work, the cost of labor and resources, the preservation of the environment, energy costs. The efficiency of the use of vehicles is a combination of two factors: their productivity and the cost of acquisition and operation. In this connection, the task of optimizing transport and technological services is being solved on the basis of optimization criteria that take into account a multitude of indicators of properties, vehicles and various natural and industrial conditions, while ensuring quality execution of technological processes in agricultural production.

Key words: Strategy, vehicle, cargo transportation, bimatrix game, equilibrium situation, Pareto optimality.

при обеспечении качественного выполнения технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: *Стратегия, транспортное средство, перевозка грузов, биматричная игра, равновесная ситуация, оптимальность по Парето.*

Введение

Место автомобильного транспорта сельского хозяйства как базовой отрасли АПК определяется двойной ролью транспорта в материальном производстве. Он является составной частью обслуживаемых им производственных процессов возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, состоящий из технологических, перевозочных и перегрузочных операций.

Автотранспортные процессы – это процессы по перемещению товаров (грузов) от места их производства до места их потребления с использованием автотранспортных средств. Они подразделяются на транспортные и транспортно-производственные. Транспортные процессы предусматривают последовательное выполнение операций по подготовке автотранспортных средств и водителей, оформление документации, а также операции по погрузке, транспортированию и разгрузке грузов и выполнение вспомогательных операций.

Транспортно-производственные процессы предусматривают дополнительное проведение производственных операций, которые, как правило, совмещаются с погрузочно-разгрузочными работами или их замещают. Транспортные процессы оцениваются по ряду показателей: массе перевозимого груза, количеству перевезенных пассажиров, грузообороту, пассажирообороту, средним расстояниям и средним скоростям перевозок, производительности, себестоимости и др. [1, 2].

Продукция транспорта имеет материальный характер и выражается в перемещении вещественного продукта других отраслей (например, растениеводства). Это имеет следующие особенности:

- материальный характер транспортной продукции заключается в изменении пространственного положения перевозимых товаров;
- на транспорте процессы производства и потребления продукции не разделены во времени, продукция транспорта потребляется как полезный эффект, а не вещь;
- транспортную продукцию нельзя накопить впрок, повышение спроса на перевозки потребует использования дополнительных провозных возможностей;
- в процессе работы транспорта не создается новой продукции, а наоборот, этот процесс сопровождается потерей физических объемов грузов;
- транспортная продукция вызывает дополнительные затраты в производящих отраслях, что вызывает несовпадение интересов экономики в целом и транспортной отрасли в частности.

Учитывая выше сказанное, важной проблемой автотранспортной отрасли является организация взаимодействия её различных групп. Таких как, **транспорт общего пользования**, выполняющий коммерческие перевозки грузов сторонних организаций и **транспорт предприятий и организаций** перевозящий свои грузы за собственный счет для производственных нужд. Эффективность взаимодействия автомобильного транспорта обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- единым технологическим процессом и общими технологиями работы отдельных групп транспортных средств;
- совмещенными графиками работы, позволяющими снизить простои транспорта и увязанными с работой погрузочно-разгрузочных звеньев;
- прямой перегрузки грузов, например из емкостей компенсаторов при уборке урожая в транспортные средства;
- использованием специализированных транспортных средств.

На транспортные работы в сельском хозяйстве приходится около 30% всех затрат труда и свыше 40% затрат энергии. Доля транспортных расходов в себестоимости сельскохозяйственной продукции достигает 35-40%. В производственных процессах возделывания и уборки сельскохозяйственных культур транспортные операции составляют: для зерновых культур 42-44%, сои – 32-44%, картофеля – 39-41% [3, 6].

АПК в значительной степени связан с природными условиями регионального и временного характеров. В региональном аспекте это выражено в различии природно-климатических и общехозяйственных условий, а во временном – в сезонном характере основного производства, особенно земледелия и кормопроизводства, со сменой видов работ в различные периоды года и значительным изменением их объемов. Поэтому имеется различие по интенсивности использования транспортных средств в течение года, так как объемы перевозок изменяются по кварталам достаточно сильно.

Наличие относительно непродолжительных периодов, когда потребность в транспортных средствах в несколько раз превышает среднегодовую, заставило покрывать ее путем привлечения автомобилей из других отраслей народного хозяйства. Особенно остро проблема обеспечения транспортом встает в период уборки урожая, который является наиболее напряженным в годовом цикле производства, как по величине нагрузок, так и по жесткости сроков выполнения работ. Объем перевозок в этот период возрастает в несколько раз и имеет значительную территориальную дифференциацию.

Для многих предприятий АПК характерно наличие двух ярко выраженных максимумов объемов перевозок, приходящихся на весенний и осенний периоды. Это свойственно большей части хозяйств зернового направления. Наличие одного максимума, приходящегося на середину летнего периода, характерно в основном для хозяйств животноводческого направления, так как большой объем перевозок у них приходится на уборку кормовых культур [7].

Для некоторых хозяйств возможно смещение весеннего пика с мая на март-апрель. Это связано с предпосевной подготовкой полей, когда производится массовый вывоз на поля органических и минеральных удобрений. В зависимости от региональных особенностей может смещаться и осенний максимум объема перевозок в пределах июля-октября.

Характеристикой неравномерности объемов перевозок является коэффициент неравномерности, показывающий, во сколько раз объем перевозок в данном периоде больше или меньше среднегодового значения. Характер неравномерности объемов перевозок зависит от зональных и производственных особенностей хозяйств, в частности от их структуры производства продукции и сроков посева и уборки культур, являющихся основными для этих предприятий [4].

Для повышения эффективности использования собственного автотранспорта сельскохозяйственных предприятий необходимо решить задачу, какое их количество необходимо иметь для обеспечения рациональной эксплуатации в течении года и какое количество автомобилей рационально привлекать во время пиковых периодов увеличения объемов грузоперевозок. Это позволит обеспечить полную годовую загрузку собствен-

ного транспорта и оптимизировать затраты на привлечение транспортных средств, что в итоге принесет сельхозпредприятию определенный экономический эффект. В связи с этим степень кооперации между автотранспортными организациями и сельхозпредприятиями может быть разной [8, 9].

Понятно, что эффективность работы обоих предприятий связано единым технологическим процессом перевозки грузов. В данном случае эффективность совместной работы партнеров будет зависеть во многом от правильности выбора стратегии их поведения. Рассмотрим ситуацию, в которой интересы сторон хотя и не совпадают, но не являются противоположными.

Например, два партнера договариваются о совместной реализации одного из двух возможных действий. В нашем случае это определение количественного и качественного состава собственных транспортных средств сельхозпредприятия (партнер «А»). При этом также необходимо учитывать возможности имеющихся тракторных транспортных средств используемых на предприятии. Вторым партнером является автотранспортное предприятие представляющее транспортные средства общего пользования в аренду для выполнения коммерческих перевозок грузов сторонних организаций (партнер «В»). Оба партнера могут принадлежать одному владельцу, так и разным. Стратегия взаимодействия двух таких партнеров будет разной в зависимости от их собственной принадлежности [10, 11].

Рассмотрим вариант, когда партнеры относятся к разным собственникам. Для выбора стратегий использования привлеченных транспортных средств, может быть использован математический аппарат биматричных игр. Решением таких игр является одновременный выбор двумя партнерами совместной стратегии действий, при которой в том или ином, но одинаковом смысле удовлетворяло обоим. Необходимо найти такую равновесную ситуацию, отклонение от которой одного из партнеров уменьшало бы его выигрыш.

Одной из содержательных форм воплощения представления об оптимальности можно считать понятие равновесия, при котором складывается такая равновесная ситуация, в нарушении которой не заинтересован ни один из партнеров. Именно ситуация равновесия может быть предметом устойчивых договоров между партнерами (ни у одного не будет мотивов к нарушению договора). Кроме того, ситуации равновесия являются выгодными для каждого партнера [5, 12, 13].

Каждый из двух участников имеет следующие возможности для выбора своей линии поведения – партнер «А» может выбрать любую из стратегий A_1, \dots, A_m , партнер «В» может выбрать любую из стратегий B_1, \dots, B_n . При этом всякий раз их совместный выбор оценивается вполне определенно: если партнер «А» выбрал i -ю стратегию A_i , а партнер «В» – k -ю стратегию B_k , то выигрыш «А» равен некоторому значению a_{ik} , а выигрыш «В» некоторому другому значению b_{ik} .

Последовательно перебирая все стратегии партнера «А» и все стратегии партнера «В», формируем две матрицы соответствующие их выигрышам – платежные матрицы.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ik} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mk} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где A – платежная матрица игрока «А»;

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1k} & \dots & b_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & \dots & b_{ik} & \dots & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & \dots & b_{mk} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где B – платежная матрица игрока «В».

При выборе партнером «А» i -й стратегии, а партнером «В» – k -й стратегии их выигрыши находятся в платежных матрицах на пересечении i -х строк и k -х столбцов: в матрице A элемент a_{ik} , а в матрице B – элемент b_{ik} .

Если в игре ситуации равновесия нет, то, оставаясь в условиях стратегий, имеющих у игроков, мы сталкиваемся с неразрешимой задачей. Поэтому при возникновении подобных случаев естественно ставить вопрос о таком расширении первоначального понятия стратегии, чтобы среди ситуаций, составленных из новых, обобщенных стратегий. Находились в том или ином смысле, равновесные. Если такие обобщенные стратегии существуют, то их часто удается представить в виде определенных комбинаций исходных стратегий. А чтобы отличать прежние стратегии от новых, первые называют чистыми, а вторые – смешанными стратегиями.

Весьма плодотворным является представление смешанной стратегии как случайного выбора игроком его чистых стратегий, при котором случайные выборы различных игроков независимы в совокупности, а выигрыш каждого из них определяется как математическое ожидание случайного выигрыша.

В чистых биматричных играх ситуация равновесия существует далеко не всегда. В таких случаях можно воспользоваться переходом к смешанному расширению игры. При этом партнеры могут чередовать свои (чистые) стратегии с определенными частотами: партнер «А» стратегии A_1, \dots, A_m , с частотами p_1, \dots, p_m , где $p_1 \geq 0, \dots, p_m \geq 0, \sum_{i=1}^m p_i = 1$, а партнер «В» стратегии B_1, \dots, B_n с частотами q_1, \dots, q_n , где $q_1 \geq 0, \dots, q_n \geq 0, \sum_{i=1}^n q_i = 1$. В смешанных стратегиях равновесная ситуация существует всегда.

При смешанных стратегиях в биматричных играх возникают средние выигрыши партнеров «А» и «В», вычисляемые по следующим правилам:

$$H_A = \sum_{i,k} a_{ik} p_i q_k \quad (3)$$

$$H_B = \sum_{i,k} b_{ik} p_i q_k \quad (4)$$

Стратегия $\{P^*, Q^*\}$ называется ситуацией равновесия в смешанных стратегиях биматричной игры, если для любых P и Q выполняются неравенства

$$H_A(P, Q^*) \leq H_A(P^*, Q^*), H_B(P^*, Q) \leq H_B(P^*, Q^*). \quad (5)$$

Выражения (2) можно прояснить так: стратегия $\{P^*, Q^*\}$ является равновесной, если отклонение от нее одного из партнеров при условии, что другой сохраняет свой выбор, приводит к тому, что выигрыш отклонившегося игрока не может увеличиться (а скорее только уменьшится). Тем самым, получается, что при равновесной ситуации отклонение от нее невыгодно самим обоим партнерам.

Рассмотрим ситуацию, когда у каждого из партнеров имеется ровно две стратегии, $m=n=2$. В 2×2 – биматричной игре платежные матрицы имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

вероятности – $p_1 = p$, $p_2 = 1 - p$, $q_1 = q$, $q_2 = 1 - q$, а средние выигрыши вычисляются по формулам

$$H_A(p, q) = a_{11}pq + a_{12}p(1 - q) + a_{21}(1 - p)q + a_{22}(1 - p)(1 - q), \quad (8)$$

$$H_B(p, q) = b_{11}pq + b_{12}p(1 - q) + b_{21}(1 - p)q + b_{22}(1 - p)(1 - q) \quad (9)$$

где $0 \leq p \leq 1$, $0 \leq q \leq 1$.

В биматричной игре, чтобы пара (p, q) определяла равновесную стратегию, необходимо и достаточно одновременное выполнение следующих неравенств

$$(p - 1)(Cq - \alpha) \geq 0,$$

$$p(Cq - \alpha) \geq 0,$$

$$(q - 1)(Dp - \beta) \geq 0,$$

$$q(Dp - \beta) \geq 0,$$

$$0 \leq p \leq 1,$$

$$0 \leq q \leq 1,$$

где $C = a_{11} - a_{12} - a_{21} + a_{22}$, $\alpha = a_{22} - a_{12}$, $D = b_{11} - b_{12} - b_{21} + b_{22}$, $\beta = b_{22} - b_{21}$.

Числа C и D могут быть как положительными, так и отрицательными. При условии, что C и D не равны нулю, то есть $C \cdot D \neq 0$. Тогда точка равновесия определяется парой $p = \beta/D$, $q = \alpha/C$.

Эти формулы являются весьма примечательными: в равновесной ситуации выбор партнера «А» полностью определяется элементами платежной матрицы партнера «В»,

$$p = (b_{22} - b_{21}) / (b_{11} - b_{12} - b_{21} + b_{22}), \quad (10)$$

и не зависит от элементов его собственной платежной матрицы, а выбор партнера «В» в равновесной ситуации полностью определяется элементами платежной матрицы партнера «А», и также не зависит от элементов его собственной платежной матрицы.

$$q = (a_{22} - a_{12}) / (a_{11} - a_{12} - a_{21} + a_{22}), \quad (11)$$

Равновесная ситуация для каждого из партнеров определяется не столько стремлением увеличить собственный выигрыш, сколько желанием держать под контролем выигрыш партнера. Если заменить в биматричной игре партнеру «А» матрицу выплат, а партнеру «В» матрицу выплат оставить прежней, то игрок «А» никак не изменит своего равновесного поведения, в то время как партнер «В» изменит свою стратегию на новую. В биматричной игре мы встречаемся с антагонизмом поведения, а не антагонизмом интересов.

Выводы

1. Для выбора стратегий использования привлеченных транспортных средств в пиковые периоды увеличения грузоперевозок целесообразно использовать математический аппарат биматричных игр;
2. При выборе баланса между автотранспортом сельхозпредприятий и привлеченными транспортными средствами, для получения оптимального решения необходимо использовать в биматричных играх равновесную стратегию.

Список литературы

- [1] Дидманидзе, О.Н. Автотранспортные процессы и системы. Учебное пособие. / К.В. Рыбаков, О.Н. Дидманидзе // - М.: УМЦ «ТРИАДА», 2004. – 128 с. – ISBN 5-9546-0004-Х.

- [2] *Дидманидзе, О.Н.* Выбор стратегий сбора и транспортировки техники на утилизацию / Н.В. Алдошин, О.Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал, – ISSN 1995-4646. - 2010, №5, с. 76...81.
- [3] *Дидманидзе, О.Н.* Специализированный подвижной состав автомобилей агропромышленного комплекса. Учебник. / О.Н. Дидманидзе, Ю.К. Есеновский-Лашков, В.Л. Пильщиков // -М. УМЦ «ТРИАДА», 2005.–200с.–ISBN5-9546-0025-2.
- [4] *Дидманидзе, О.Н.* Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учеб. Пособие для сельскохозяйственных вузов. / Г.Г. Маслов, О.Н. Дидманидзе, В.В. Цыбулевский // - М.: УМЦ «ТРИАДА», 2007. – 292 с.
- [5] *Морозов, В.В.* Основы теории игр / В.В. Морозов // – М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ, 2002. – 262 с.
- [6] *Алдошин, Н.В.* Выбор автомобилей для сельскохозяйственного производства / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов, Ц.Т. Батуев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – ISSN 0206-572X. - 2012, №2, с. 22...24.
- [7] *Алдошин, Н.В.* Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – ISSN 0206-572X. - 2012, №4, с. 26...27.
- [8] *Алдошин, Н.В.* Моделирование технологического процесса перевозок грузов / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. – ISSN 1728-7936. - Выпуск 2(53)/2012, с. 41...44.
- [9] *Алдошин, Н.В.* Технологическая приспособленность автомобилей к перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов// Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия.–ISSN 1728-7936.-Выпуск 3(54)/2012,с15-17.
- [10] *Алдошин, Н.В.* Оценка неустановившихся периодов работы при сборе и транспортировке техники на утилизацию / Н.В. Алдошин // Международный технико-экономический журнал, – ISSN 1995-4646. - 2010, №5, с. 81...86.
- [11] *Алдошин, Н.В.* Моделирование транспортирования техники на утилизацию / Н.В. Алдошин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – ISSN 0206-572X. - 2010, №4, с.23...24.
- [12] *Алдошин, Н.В.* Анализ транспортного обеспечения сбора и доставки техники на утилизацию / Н.В. Алдошин // Международный технико-экономический журнал. – ISSN 1995-4646. - 2010, №1, с. 75...79.
- [13] *Алдошин, Н.В.* Показатели эффективности транспортирования техники на утилизацию / Н.В. Алдошин, В.В. Кулдошина, Л.М. Джабраилов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – ISSN 0206-572X. - 2008, №5, с.34...35.

УДК 631.33

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ДИСКА ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН СОИ

JUSTIFICATION OF THE DISK ZONE PARAMETERS FOR SEEDING SOY SEEDS

Балашов Александр Владимирович¹, Зазуля Александр Николаевич¹,
Стрыгин Сергей Петрович¹, Капустин Василий Петрович²,
Хайруллина Сабина Гумаровна²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*

² *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

Alexander Balashov¹, Alexander Zazulia¹, Sergei Strygin¹,
Vasily Kapustin², Sabina Khairullina²

¹ *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*

² *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

Аннотация

В статье приведено, полученное в результате теоретических исследований, обоснование параметров диска высевающего аппарата, применяемого для посева сои гнездовым способом. Цель работы - повышение качества посева, точности высева, урожайности сои, за счет использования предлагаемого высевающего аппарата для посева гнездовым способом.

Ключевые слова: *соя, гнездовой способ посева, фаза западания, зона.*

Abstract

The article presents, obtained as a result of theoretical studies, the justification of the parameters of the disk of the sowing apparatus used for sowing soybean by the cluster method. The aim of the work is to improve the quality of sowing, the accuracy of sowing, the yield of soybean, through the use of the proposed sowing apparatus for sowing in a nesting way.

Key words: *soybean, nesting method of sowing, zapaing phase, zone.*

Гнездовой способ посева применяется для некоторых пропашных культур и состоит в том, что семена высеваются не сплошной строчкой, а гнездами на равных расстояниях друг от друга, по несколько семян в каждом. При этом способе экономнее расходуются семена, быстрее появляются всходы и облегчается уход за растениями механизированным способом.

Особенностью сеялок точного высева семян пропашных культур является секционное размещение рабочих органов с индивидуальным приводом к каждому высевающему аппарату, что обеспечивает хорошее копирование рельефа поля и равномерную по глубине заделку семян в почву. Изменяя передаточное отношение от оси приводных колес к высевающему аппарату, можно менять расстояние между семенами (гнездами) и число семян в гнезде. Механические аппараты с горизонтально расположенными дисками остаются одними из наиболее простых и надежных конструкций для точного

высева семян. При этом используемые диски с ячейками, адаптированными к высеваемым семенам, позволяют применять их для посева различных пропашных культур: кукурузы, подсолнечника, сахарной свеклы, сои и др.

Количество высеянных семян определяется числом ячеек на высевающем диске, а расстояние между семенами в гнезде определяется смещением ячеек.

Работа дисковых высевающих аппаратов точного посева состоит из трех фаз: западание семян в ячейки, удаление лишних семян от ячеек, выталкивание семян из ячейки (освобождение ячеек от семян).

Расчет линейных размеров необходимо проводить с учетом того, что в нее должно помещаться одно самое большое семя, но не должны помещаться два самых маленьких семян фракций [1]. Данное условие справедливо для семян сельскохозяйственной культуры, имеющей различные размеры по длине, ширине или толщине, т.е. не калиброваны и не дражированы.

Для круглой ячейки при заполнении ее семенем в вертикальном положении должно выполняться условие

$$2\delta_{\min} > l_1 = b_{\max} + k_1, \quad (1)$$

где δ_{\min} – минимальная толщина семени, мм; l_1 – длина ячейки, мм; b_{\max} – максимальная ширина семени, мм; k_1 – зазор между стенкой ячейки и семенем, мм.

Без учета положения семени в ячейках, необходимо исходить из объемов семян $2V_{c\min} > V > V_{c\max}$ или их средних размеров.

$$2\sqrt[3]{2l_{\min}b_{\min}\delta_{\min}} > \sqrt[3]{l_1b_1\delta_1} > \sqrt[3]{l_{\max}b_{\max}\delta_{\max}},$$

где V_c – объем семени; V , b_1 , δ_1 – объем, ширина, глубина ячейки.

При определении толщины диска (глубины ячейки) δ_1 для положения семени плашмя необходимо соблюдать условие

$$2\delta_{\min} > \delta_1 = b_{\max} + k_2, \quad (2)$$

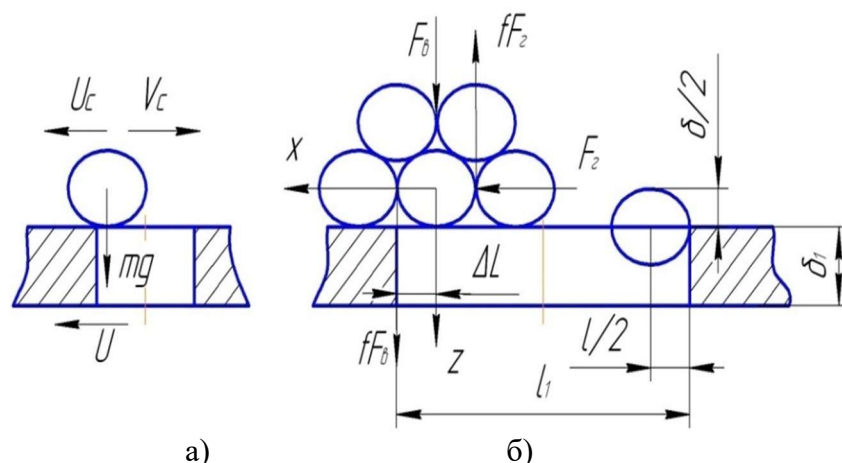
где k_2 – зазор между верхней плоскостью диска и зерном.

Другим фактором, влияющим на западание семян в ячейки, является перемещение их по поверхности высевающего диска. В зависимости от формы семян, их поверхности и влажности, можно ожидать скольжения их по рабочей поверхности или качения – скольжения. Увлекая семена, вращающийся диск сообщает нижнему слою скорость, отличную от своей, но не более ее.

Нижний слой семян увлекает вышележащий и т.д. В результате происходит передача движения от высевающего диска массе семян в аппарате.

Для изучения процесса западания семян в ячейки диска наибольший интерес представляет их относительная скорость V_c , а не абсолютная U_c , так как без относительного перемещения процесс западания не может быть выполнен.

Процесс западания семени эллипсоидной формы в продолговатую ячейку при единичном или небольшом их слое в банке происходит в тот момент, когда центр тяжести семени оказывается у края ячейки, рисунок 1 [2].



а) при единичном слое; б) при большом слое семян в банке

Рисунок 1. Схема процесса западания эллипсоидного семени в ячейку диска

Если высота слоя семян в банке значительна, что типично для дисковых высевальных аппаратов, то на семя, кроме силы тяжести mg , действуют силы вертикального F_0 и горизонтального давления F_2 , а также силы трения fF_2 (рисунок 1б). При таком взаимодействии сил момент западания семени начинается только после смещения его центра тяжести относительно края ячейки на некоторое расстояние ΔL . Для разных семян это значение различное. При этом центр тяжести должен быть расположен на оси симметрии семени.

После попадания в ячейку семени – оно перемещается в диске поверх которого имеются слои семян, воздействующие на уложенные в ячейки.

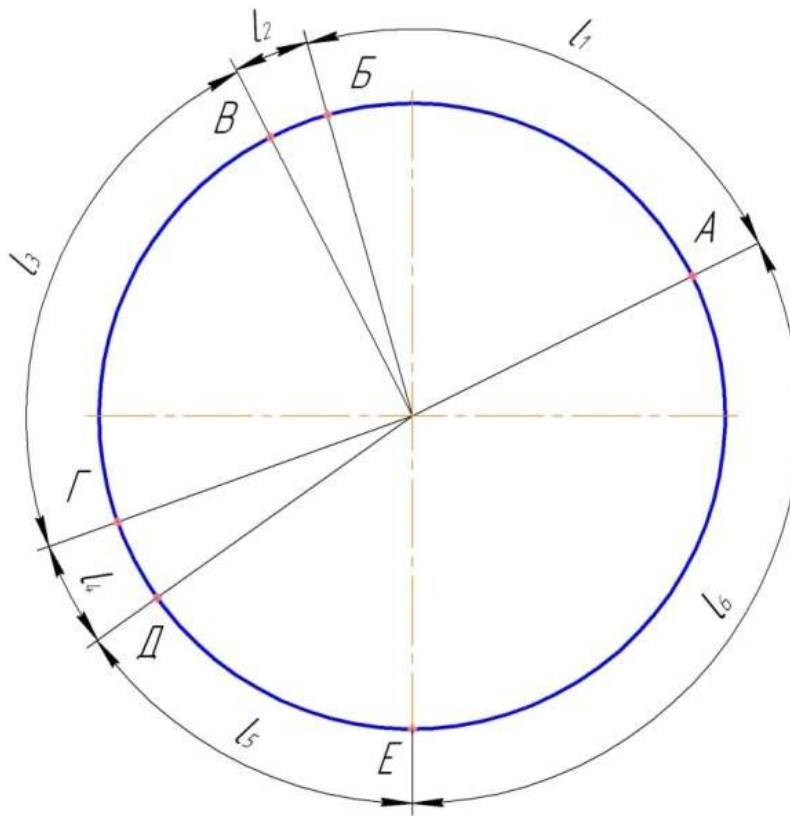
Поэтому их удаляют с помощью отражателей, расположенных над диском. Отражатели бывают двух типов: рычажные (используются в кукурузных и хлопковых сеялках) и роликовые (используются в свекловичных сеялках). Место установки отражателей над диском определяется из условия, чтобы попавшее в ячейку семя имело устойчивое положение, и отражатель не мог воздействовать на находящееся семя в ячейке. Предварительно можно утвердить, что дуга, по которой перемещается семя в ячейке должно быть равна:

$$L_g = R \cdot a, \quad (3)$$

где R – радиус диска по центрам ячеек, мм; a – угол на который поворачивается диск от начала западания семени в ячейку до отделения массы семян от ячейки.

При $a \approx 90^\circ = 1,57$ рад, диаметре диска 220 мм, длина дуги $L = 110 \cdot 1,57 = 172,7$ мм ≈ 173 мм, т.е. примерно $\frac{1}{4}$ часть длины развернутой окружности.

На рисунке 2 представлена схема высевального диска с рабочими зонами.



Зона 1 – АБ, Зона 2 – БВ, Зона 3 – ВГ, Зона 4 – ГД, Зона 5 – ДЕ, Зона 6 – ЕА

Рисунок 2. Схема расположения зон на диске

Первая зона - западание семян в ячейки высевающего диска, рисунок 2.

Частота вращения диска 15 и 20 мин⁻¹.

Требования, предъявляемые к первой зоне: заполнение ячейки должно быть по продолжительности не более 0,7-0,9 с¹; семя не должно повреждаться; занимать определенное положение в ячейке.

Так как по центрам ячеек выполняется канавка, то процесс заполнения ячеек состоит: из западания семени в канавку и ее ориентация; заполнение ячейки, принятие определенного (необходимого) положения и транспортировка до второй зоны.

Вторая зона - удаление слоя лишних семян.

Время воздействия на семена не должно превышать 0,5-0,7 с. В этой зоне семена, находящиеся над диском не должны травмироваться, занятое положение семени в ячейке не должно нарушаться, отбрасываться семена должны на расстояние равное не более половины ширины ящика.

Когда их уровень будет меньше половины бункера, семена не должны за счет скорости ударяться о стенки, так как может произойти травмирование.

Третья зона - перемещение семян в ячейке.

Время перемещения семян в этой зоне не должно превышать 0,7-0,9 с. При перемещении семени в ячейке не должно нарушаться занятое положение.

Четвертая зона - переориентация семян. Начало выпадения семени из ячейки. При выпадении семени из ячейки должно быть выполнено условие: семя должно располо-

житься между канавкой и корпусом высевающего аппарата и располагаться по длине. Время перемещения 0,15-0,20 с. Семена при этом не должны травмироваться.

Пятая зона - удаление семян из ячейки диска. Время процесса не более 0,5- 0,6 с. Семя в этот период должно располагаться в канавке и быть свободной для отделения от диска.

Шестая зона - вращение диска без семян со свободными ячейками. Все ячейки, находящиеся в этой зоне должны быть освобождены от семян. Время вращения диска в этой зоне не должно превышать 0,9-1,3 с.

Зона западания семян (АВ).

Взаимодействие поверхности диска с канавкой с семенами начинается при его начале вращения и заполненном бункере. При заполнении бункера семенами существует определенная вероятность, что часть семян западут в ячейку. Но большинство семян расположатся хаотически в канавке и ячейках. Сначала диск будет взаимодействовать с семенами на всей дуге АВ. В это время западание в ячейки семян может произойти не на всей длине дуги, так как времени на ориентацию семян недостаточно 0,9-1,3 с. По длине дуги l_1 , на семена действуют: 1) сила тяжести отдельных семян; 2) сила трения семян о поверхности диска; 3) сила трения между семенами.

Когда давление действует на семена со всех сторон, они не успевают полностью запасть в ячейку и канавку при относительной скорости, ниже критической. Это обуславливает своеобразное движение нижнего слоя семян – часть семян скользят на поверхности диска, другая катится и поворачивается, причем последний, иногда происходит с отрывом от поверхности диска [3].

Вполне естественно, что в этот момент постоянной скорости перемещения семян может не быть. В это время наибольшая ориентация семян может быть только около точки А. Семена в этой точке должны сориентироваться по длине канавки, а затем запасть в пустую ячейку на каком-то расстоянии от точки А.

При заполнении ящика и не вращающемся диске семена могут заполнять все или большинство ячеек на дуге АВ, причем сориентированных относительно канавки, тем более ячейки вертикально и поперек нее. Даже вероятность небольшая имеется, что семена отличающиеся размерами могут вообще не попасть в канавку, а находиться поверх ее в подпорном состоянии. Поэтому ориентация семян относительно канавки и ячейки начнется только после поворота диска на какой-то угол, так как при наполнении ящика и на не вращаемся диске – семена беспорядочно будут ложиться в канавку и ячейки. Поэтому ориентация семян может начинаться только в точке А, так как диск к этой точке подходит с пустыми ячейками и незаполненной канавкой.

Зона удаления слоя лишних семян с наружной поверхности диска (БВ).

Для удаления слоя лишних семян с поверхности диска используют роликовые отражатели цилиндрической формы длиной равной толщине диска.

При подборе материала учитывается воздействие его на семена: травмирование и разрушение поверхности, а также способность отбирать и перемещать семена без нарушения ориентации в ячейки диска.

Окружную скорость ролика можно определить по формуле

$$V_p = \frac{2\pi r n}{60} > V_{в.д.}, \quad (4)$$

где r – радиус ролика, м; $V_{в.д.}$ – окружная высевающего диска, м/с; n – частота вращения ролика, мин⁻¹.

Окружная скорость ролика с одной стороны должна быть больше окружной скорости ячеистого диска в 2-3 раза [1], но при этом расстояние перемещения семян (дальность полета) должно быть не больше половины ширины бункера.

С другой стороны сила удара поверхности ролика не должна травмировать семена, а также при встрече перемещающихся семян с массой семян, находящихся в бункере не должно также происходить их травмирование, т.е.:

$$V_{\text{яд}} < V_p < V_{\text{тр}} \text{ и } S_{nc} \leq \frac{B}{2} \text{ и } F_{\text{уд пр}} \text{ и } F_{\text{уд пр}} < F_{\text{пр}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{яд}}$ – окружная скорость ячеистого диска, м/с; V_p – окружная скорость ролика, м/с; $V_{\text{тр}}$ – окружная скорость ролика при которой происходит травмирование семян, м/с; $F_{\text{уд пр}}$ – сила удара поверхности ролика о семена, Н; $F_{\text{уд с}}$ – сила удара семян о семена, Н; $F_{\text{пр}}$ – прочность поверхности семян, Н.

$$S_p = \frac{\pi r^2 a}{360} - \frac{r^2 \sin a}{2}, \quad (6)$$

где r – радиус ролика, м; a – центральный угол работающей части ролика.

Масса нитей подверженных деформации определяется по формуле

$$m = S_p h^2 \rho_{\text{ш}} K_n, \quad (7)$$

где h – высота щетины; $h = \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{6} \right) D_p$; $\rho_{\text{ш}}$ – плотность материала щетки, кг/м³; K_n – коэффициент наполнения щетки в зоне деформации. Для капрона $\rho_{\text{ш}} = 1200$ кг/м³; $K_n = 0,018 \dots 0,020$. Центробежная сила ролика определяется по выражению

$$P_{\text{ц}} = \frac{m_p V_p^2}{r}, \quad (8)$$

где m_p – масса ролика, кг; V_p – окружная скорость ролика, м/с; r – радиус ролика, м.

Мощность на привод ролика определяется по формуле

$$N_p = K_3 P_{\text{ц}} V_p f, \quad (9)$$

где K – коэффициент запаса мощности; K_3 – 1,8-2,2, учитывающий потери на деформацию нитей, потери в подшипниках, неравномерность слоя семян. f – коэффициент трения скольжения нитей по поверхности семян.

Длина дуги зоны БВ должна составлять: $l_{\text{БВ}} < D_p/2$.

Зона перемещения семян в ячейках диска дуги ВГ.

При вращении диска в этой зоне ориентация семян, уложенных в ячейках не должна нарушаться.

Зона переориентации семян в ячейках диска дуги ГД.

В зоне ГД должно происходить начало выпадения семян из ячейки под действием силы тяжести и ориентация их в канавку, готовность к выпадению из ячейки высевающего аппарата. Поэтому важным фактором здесь является зазор между корпусом высевающего аппарата и диском. Значение этого зазора должно быть таким, чтобы семена при выпадении из ячейки свободно могли переместиться из ячейки и попасть в канавку в необходимом направлении для отделения от диска. Поэтому данный зазор должен быть меньше длины семени, чтобы предотвратить при выпадении из ячейки его «кувыркание». При меньшем зазоре может произойти заклинивание, травмирование семени, нарушение выпадения семени из ячейки и отделения от диска.

Зона отделения семян от диска ДЕ.

В зоне ДЕ сориентированные семена должны полностью выпадать из диска и направляться под собственным весом в сошник и попасть бороздку. Эта зона ответственная за равномерный высеv семян в гнездах в соответствии с агротехническими требованиями, предъявляемые к посеву.

Зона ЕА вращения диска без семени со свободными ячейками.

Определение количества ячеек на диске и их размеров.

При разработке дискового высевающего аппарата для посева сахарной свеклы использовались диски с количеством ячеек более 60. Позднее при исследованиях высевающего аппарата уже использовались от 12 до 28 ячеек [4]. Для посева капсулированных семян кукурузы количество ячеек определялось в зависимости от диаметра диска и диаметра капсулы, т.е. с учетом прочности диска [5-7].

Поэтому хорошего обоснования количеству ячеек располагавшихся на диске нет.

Если допустим на диске расположим одну ячейку, то диск должен вращаться с большой угловой скоростью, чтобы обеспечить требуемое расстояние между соседними семенами l_c . Но загрузка ячейки возможна только при оптимальной скорости диска $V_{окр}$, так как время западания семени в ячейку и выхода из нее ограничено. Если же на диске расположить большое количество ячеек, то условия загрузки будут выполнены, но разгрузка будет происходить медленнее, что отразится на траектории движения семени в сошнике, а, следовательно, и на расстоянии между семенами в рядке (гнезде). Таким образом, количество ячеек должно определяться с учетом скорости вращения диска, а также максимальной скорости движения посевного агрегата.

Исходными данными для технологического расчета высевающих аппаратов гнездовой сеялки является число зерен посеянных на 1 га и схема размещения семян (гнезд) в соответствии с агротехническими требованиями, предъявляемых для различных сельскохозяйственных культур [2].

Число ячеек можно определить по формуле:

$$Z_{я} = \frac{60Q'}{n}, \quad (10)$$

где Q' – секундная подача, ед/с; n – частота вращения диска, мин⁻¹.

С учетом количества семян в гнезде, значения расстояния между гнездами, скорости агрегата и частоты вращения высевающего диска формулы (10) примет вид:

$$Z_{я} = \frac{60V_M Z_c}{nl_c}, \quad (11)$$

где V_M – скорость машины, м/с; Z_c – число семян в гнезде, шт.; l_c – расстояние между гнездами, м.

Причем скорость агрегата не должна превышать максимального значения

$$V_{Mmax} \leq \frac{V_{max} \pi d_d}{il_{я} Z_{я} (1 - \eta)} \leq 2,5 - 3,5 \text{ (м/с)}. \quad (12)$$

Число семян в гнезде Z_c и расстояние между гнездами l_c задается агротехническими требованиями. Для предварительных расчетов количества ячеек можно подсчитать по упрощенной формуле:

$$Z_{я} = \frac{\pi d_d}{l_{я}}, \quad (13)$$

где d_d – диаметр диска высевающего аппарата, м; l_y – расстояние между ячейками, расположенных по окружности диска, диаметром d_d (задается агротехническими требованиями).

Размеры ячейки для размещения сеялки определяются с учетом двух основных условий – западания их в ячейку и размещение в ней. Эти условия были определены В.П. Горячкиным при перемещении семян по решетке [8].

Длина ячейки из условия западания:

$$L \geq V_{кр} \sqrt{\frac{2r}{g}} + r, \quad (14)$$

где L – длина ячейки, м; $V_{кр}$ – критическая скорость семени, м/с; r – радиус семени, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Длина ячейки из условия размещения [63]:

$$L = a_{max} + k; \quad L < 2c_{min} \quad (15)$$

где a_{max} и c_{min} – максимальная длина и минимальная толщина семени соответственно, м; k – зазор между стенкой ячейки и семенем, м.

Для диска с проточкой длину ячейки предлагается определять по формуле

$$L = D - 2h = 2D - d + \sqrt{d^2 - t^2} - \sqrt{D^2 - t^2}, \quad (16)$$

где L – длина ячейки с учетом размеров проточки, мм; D – диаметр ячейки, мм; h – смещение семени в проточке, мм; d – размер семени, мм; t – ширина проточки.

Приведенную формулу можно использовать при определении размерных параметров ячеек высевающих дисков с проточкой прямоугольной формы, шириной до 2 мм и размеров семян не более 5 мм эллипсоидной формы.

Предлагается гипотеза, если по центру ряда отверстий, расположенных на диске выполнить канавку (проточку не прямоугольной, а овальной, сферической формы), то семя расположится вдоль этой канавки и процесс западания в ячейку улучшится.

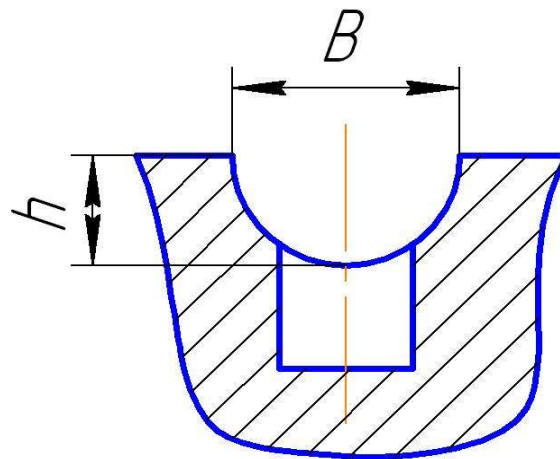


Рисунок 3. Схема ячейки высевающего диска с канавкой

Канавка B должна быть шириной меньше длины семени сои.

h – глубина должна быть равна или меньше $\frac{1}{2}$ толщины (ширины) семени фасоли. $h \leq 0,5$ в из-за расположения центра тяжести.

Рассмотренные отдельными авторами элементы теории различных технологических процессов не связаны в единую цель, где конечные условия одного рабочего процесса становятся начальными для последующего и т.д. Все накопленные знания пока не позволяют перейти к обоснованному инженерному расчету всех рабочих органов, операций и точного высева в целом. Для этого, с одной стороны, необходимы систематизация и обобщения, а с другой – дальнейшая разработка вопросов теории и расчета [5].

Список литературы

- [1] Бузенков Г.М., Ма А.С. Машины для посева сельскохозяйственных культур. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
- [2] Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
- [3] Балашов А.В., Стрыгин С.П., Синельников А.А., Капустин В.П., Хайруллина С.Г. Определение физико-механических свойств семян сои / Наука в Центральной России. 2017. – № 2. – С. 5-12.
- [4] Репетов А.Н., Джезкевич В.Е. Соя и свекла из одного лукошка // Сельский механизатор, 2003. – № 2. – С.12-13.
- [5] Тырнов Ю.А., Балашов А.В., Белогорский В.П., Стрыгин С.П. Высевающий аппарат для капсулированных семян кукурузы // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – Новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XV международной научно-практической конференции (20-21 сентября 2011 года, г. Тамбов). – С. 127-128.
- [6] Тырнов Ю.А., Балашов А.В., Белогорский В.П., Стрыгин С.П. Диск для капсулированных семян // Сельский механизатор, 2012. – №4. – С. 9.
- [7] Тырнов Ю.А., Балашов А.В., Белогорский В.П., Стрыгин С.П. Конструктивные параметры высевающего диска сеялки для посева капсулированных семян // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №1. – С. 5-6.
- [8] Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. – М.: Колос, 1965, т. 1. – 620 с., т. 2 – 459 с., т. 3 – 384 с.

УДК 656.027.4

НОВЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ НАНО-МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

NEW POLYMER CONSTRUCTION COMPOSITION NANO-MATERIAL FOR RESTORATION OF WEARED PARTS

Бутин Антон Владимирович

ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Anton Butin

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье приведены теоретические исследования и обоснован выбор наполнителей для перспективного полимерного композиционного наноматериала. Выполнено предпланирование активного эксперимента, проведены классические эксперименты и определены интервалы варьирования независимых факторов. Реализован активный эксперимент по композиционному плану В₂. Дана регрессионная модель зависимости прочности экспериментальных образцов от концентрации наполнителей и получен оптимальный состав наноконпозиции.

Ключевые слова: *восстановление, фреттинг-коррозия, полимерный композиционный наноматериал, корпусная деталь, посадочное отверстие.*

Abstract

The article presents theoretical studies and justifies the choice of fillers for a promising polymer composite nanomaterial. An active experiment was pre-planned, classical experiments were carried out, and intervals of variation of independent factors were determined. Implemented an active experiment on the composition plan B₂. A regression model is given for the dependence of the strength of experimental samples on the concentration of fillers and the optimal composition of the nanocomposite is obtained.

Keywords: *restoration, fretting corrosion, polymer composite nanomaterial, body part, mounting hole.*

Введение

Основным направлением для снижения затрат на ремонт техники является восстановление изношенных деталей. В таких странах, как США, Великобритания, Япония доля восстановленных деталей преобладает, вследствие того, что их ресурс до 5 раз превышает новые. По данным ГОСНИТИ расходы на закупку новых запасных частей при ремонте автотракторной техники могут достигать до 75 %. Максимальный износ 75% деталей составляет 0,3 мм, но только 25% деталей подлежат окончательной выбраковке. Себестоимость восстановления оставшихся деталей составляет 10...80% от стоимости изготовления.

Использование полимеров при ремонте узлов и агрегатов автотракторной техники

способствует снижению материалоемкости деталей и тем самым снизить затраты на их производство. Применение полимеров при сборке деталей позволяет увеличить допуск на изготовление корпусных деталей.

Это способствует снижению затрат на их производство, исключает напряженное состояние деталей при запрессовке и их деформации, которые возникают при посадке с большим натягом, позволяет избежать образование фреттинг-коррозии на посадочных отверстиях корпусных деталей.

Таким образом существенно возрастает ресурс корпусных деталей.

Разработка полимерных композиционных наноматериалов (ПКНМ) является новым перспективным направлением ремонтного производства автотракторной техники и соответствует ключевым сегментам «Технет» сквозной технологии «Новые материалы» рынка «Autonet» Национальной технологической инициативы. При введении в полимерную матрицу наночастиц наполнителей существенно изменяются потребительские свойства материала. Планируется разработать новый состав ПКНМ на основе эластомера Ф-40С, применение которого позволит повысить долговечность корпусных деталей, надежность узлов и агрегатов, конкурентоспособность отечественной продукции машиностроения и значительно сократить расходы на ремонт машин и оборудования.

Долговечность полимерного покрытия определяется толщиной: с уменьшением толщины покрытия увеличивается его долговечность [1]. Таким образом определение допустимой толщины покрытия ставится в первоочередную задачу при разработке технологии восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях агрегатов и узлов.

Эффективность эксплуатационных свойств материала и технологии восстановления определяется максимально допускаемой толщиной полимерного покрытия, т.к. это способствует восстанавливать посадочные отверстия корпусных деталей с предельными значениями износа.

Посадочные отверстия корпусных деталей подвергаются знакопеременным нагрузкам, то есть эксплуатируется в тяжелых условиях. Эти нагрузки по амплитуде и направлению, условию трения, нагрев деталей и другие факторы оказывает влияние на ресурс и работоспособность деталей.

Одним из факторов, который определяет температурный режим посадочного отверстия корпусной детали, является теплоотвод от сопрягаемых деталей. ПКНМ являются теплоизоляторами. Уменьшение теплоотвода в сопрягаемых деталях уменьшается с увеличением толщины ПКНМ [2].

Полимерное покрытие из ПКНМ наносится слоями. Все слои перед нанесением последующего просушивают в течение 3...5 минут для наибольшего испарения растворителя. Однако при термообработке покрытия образуется пористость по причине испарения паров имеющегося растворителя. Следовательно, пористость, что в свою очередь является дефектом, зависит от толщины покрытия.

Полученные результаты

С целью определения деформационно-прочностных свойств ПКНМ был проведен предварительный эксперимент. Объектами исследований служили:

- пленки из ПКНМ;
- покрытия из ПКНМ.

ПКНМ представляет собой композицию на основе эластомера Ф-40С и нанопорошки оксида алюминия и меди (ТУ 1791-003-36280340-2008).

Лак Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – раствор композиции модифицированной фенольной смолы в органическом растворителе и каучука [3].

Для определения оптимального состава был проведен активный эксперимент по симметричному композиционному плану В₂, в котором за функцию отклика Y приняты разрушающее напряжение σ , МПа, в свою очередь независимыми факторами послужили концентрации алюминиевых (X₁, массовых частиц) и медных (X₂, массовых частиц) наноразмерных частиц.

Результаты активного эксперимента и матрица планирования представлена в таблице 1.

Таблица 1. Матрица плана В₂ и результаты активного эксперимента

№ п/п	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}	\hat{Y}	S_g^2
1	-1	-1	9,62	9,61	9,42	9,55	9,53	0,0127
2	+1	-1	10,35	10,24	10,31	10,3	10,3	0,0031
3	-1	+1	9,77	9,64	9,69	9,7	9,7	0,0043
4	+1	+1	11,0	10,95	10,84	10,93	10,95	0,0067
5	-1	0	10,26	10,3	10,04	10,2	10,22	0,0196
6	+1	0	11,2	11,31	11,24	11,25	11,23	0,0031
7	0	-1	12,21	12,1	12,14	12,15	12,17	0,0026
8	0	+1	12,52	12,45	12,35	12,46	12,5	0,0029

В таблице 2 представлены координаты точек для построения двумерного сечения поверхности отклика. Были получены уравнения кривых равного значения критерия оптимизации, по которым построено двумерное сечение поверхности отклика.

Таблица 2. Результаты расчета координат основных точек двумерного сечения поверхности отклика

Значение отклика Y	Значение фактора X ₁	Значение фактора X ₂
12,93	0	0
12,9	0	$\pm 0,2227$
12,9	$\pm 1,1812$	0
12,8	0	$\pm 0,4635$
12,8	$\pm 2,459$	0
12,7	0	$\pm 0,6165$
12,7	$\pm 3,2707$	0
12,6	0	$\pm 0,7385$
12,6	$\pm 3,9178$	0
12,5	0	$\pm 0,843$
12,5	$\pm 4,4721$	0
12,4	0	$\pm 0,9359$
12,4	$\pm 4,965$	0

На основе анализа двумерного сечения определяли область оптимума критерия оптимизации [4-5]. Наибольшая прочность составила у пленок ПКНМ 12,89 Мпа. Состав: 100 масс.-ч. эластомера Ф-40С, 16 масс.-ч. алюминиевых и 1,8 масс.-ч медных наноразмерных частиц.

Заключение

На основании проведенных исследований была получена регрессионная модель зависимости концентрации алюминиевых и медных наноразмерных частиц от прочности пленок ПКНМ на основе эластомера Ф-40С, а также определен состав ПКНМ.

Список литературы

[1] Берлин А.А. Основы адгезии полимеров //Берлин А.А., Басин В.Е.;- М.:Химия,1974.-390с.

[2] Бочаров А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками: дис. канд. техн. наук // Бочаров А. В.– Мичуринск, 2009.–150 с.

[3] Курчаткин В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис. док. техн. наук. // Курчаткин В. В.–М.,1989.– 407с.

[4] Ли Р. И. Основы научных исследований /Учебное пособие.Липецк: Изд-во ЛГТУ,2013-190с.

[5] Li R.I., Butin A.V.,Kuznetsov M.M. A mathematical model of the stress state of a shaft-bearing adhesive bond under radial loading // Polymer science. Series D. №3. Road Town: Pleiades Publishing Ltd., 2014. p. 208-212.

УДК 629.113

**ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
ВЫПРЯМИТЕЛЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИОННОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ**

**THE CHOICE OF WORKING FLUID FOR GIDRODIFFERENTIAL
RECTIFIER POINT INERTIA AUTOMATIC TRANSMISSION**

Гребеньков Дмитрий Васильевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Dmitry Grebenkov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяющие подобрать оптимальную по своим характеристикам рабочую жидкость для обеспечения максимального значения КПД и надежной работы гидромашин, используемых в качестве муфт свободного хода в гидродифференциальном выпрямителе момента инерционной передачи.

Ключевые слова: гидродифференциальный выпрямитель момента; рабочая жидкость; гидромашин; вязкость; сжимаемость; утечки.

Abstract

The article presents the results of theoretical and experimental researches, allowing to choose the optimal characteristics of his work I feel a liquid to ensure maximum value, efficiency and reliable operation of hydraulic machines that are used as clutches in hydrodefluorination rectifier moment of inertia of the transmission.

Key words: gidrodifferential rectifier moment; working fluid; hydraulic machine; viscosity; compressibility; leakage.

Использование в трансмиссиях мобильных машин (ММ) автоматических передач способствует увеличению их производительности по причине более эффективного расходования мощности силовой установки, а также повышению эксплуатационных качеств и топливной экономичности. Инерционно-импульсные передачи для силовых приводов ММ представляют наибольший интерес из числа известных механических автоматических передач, так как обладают следующими преимуществами: бесступенчатое и автоматическое изменение частоты вращения и крутящего момента, подаваемого к двигателям ММ в широком диапазоне при высоком КПД; возможность защиты от перегрузок энергетической установки; удобство и простота управления [1, 2].

Вследствие этого, прослеживается постоянный интерес к применению инерционного трансформатора вращающего момента (ИТВМ) в автоматических приводах ММ. Потенциальные возможности таких передач, изначально заложенные физической сущностью происходящих процессов в ИТВМ, и малый опыт их применения в автомобилестроении диктует актуальность и важность данной проблемы в перспективе, как с практической, так и с научной точки зрения [3, 4].

В настоящее время ИТВМ не получили массового применения в автомобилестроении по причине малой надёжности выпрямителя инерционного момента, состоящего из двух механизмов свободного хода (МСХ), в которых быстро изнашиваются и разрушаются тела заклинивания. С целью повышения надёжности ИТВМ разработан оригинальный гидродифференциальный выпрямитель момента (ГВМ) в конструкции, которого в качестве МСХ используются шестеренные гидромашины, а телом заклинивания является гидравлическая жидкость.

Специфика работы шестеренного насоса в качестве МСХ требует обеспечения постоянного присутствия рабочей жидкости во всасывающей и нагнетательной полостях для возможности нагружения прямым импульсом или «запирания» обратным клапаном при различных углах поворота ведущего вала инерционной передачи. К тому же, гидравлический привод должен характеризоваться механической жесткостью по отношению к нагрузке. Этот фактор возможно обеспечить герметичностью гидроагрегата и высоким значением модуля упругости рабочей жидкости. Главным образом на механическую жесткость гидроМСХ влияет герметичность и определяется как наличием, так и величиной внутренних зазоров в гидронасосе.

Внутренние утечки рабочей жидкости $Q_{ут}$ – основная характеристика гидромашины с точки зрения ее использования в роли гидроМСХ в гидродифференциальном выпрямителе момента инерционной передачи. Объясняется это тем, что при «запирании» обратным клапаном вал шестеренного насоса продолжает вращаться с небольшой скоростью. Так как, крутящий момент на валу гидроМСХ достигает больших значений (в стоповом режиме он в несколько раз больше максимального момента двигателя), то даже при малой скорости вращения мощность, используемая на дросселирование рабочей жидкости через внутренние зазоры в гидроМСХ, заметно снижает КПД ГВМ и всей передачи в целом [5].

Телом заклинивания в гидроМСХ является рабочая жидкость, поэтому к ней следует предъявлять строгие требования. Рассмотрим основные свойства жидкостей и наметим оптимальные критерии для выбора рабочей жидкости.

Экспериментально установлено, что утечки рабочей жидкости через зазоры гидравлических машин изменяются практически прямо пропорционально средней скорости течения жидкости в зазоре согласно чему, выражение для определения утечек представим в виде [6, 7].

$$Q_{ут} = v_{ср} S b, \quad (1)$$

где b – ширина зубчатого колеса, т. е. длина зазора в направлении, перпендикулярном движению потока жидкости; S – величина зазора; $v_{ср}$ – средняя скорость течения жидкости в зазоре

$$v_{ср} = \frac{S^2 \Delta p}{12 \mu l}, \quad (2)$$

где μ – вязкость жидкости; l – длина зазора в направлении движения жидкости; Δp – перепад давления в напорном узле гидромашины

$$\Delta p = \frac{\rho v_{ср}^2}{2}, \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости.

Согласно выражениям (1) и (2), чтобы снизить величину внутренних утечек рабочей жидкости в гидроМСХ и, как следствие, повысить КПД ГВМ, необходимо в качестве

рабочей жидкости использовать гидравлическое масло с наибольшей вязкостью и наименьшей плотностью.

Вязкость рабочей жидкости является важнейшей характеристикой при расчете и проектировании объёмных гидравлических машин и их применения в качестве гидроМСХ. От вязкости жидкости зависят объёмные потери в гидромашине, а также возможность сохранять работоспособность гидропривода при высоких и низких температурах.

Вязкость рабочей жидкости зависит от величины давления и температуры, а также от строения углеводородов и химического состава. На всевозможных стадиях рабочего цикла гидроМСХ, к вязкости рабочей жидкости предъявляются разнообразные требования. В процессе заклинивания вязкость должна быть наименьшей, что требуется для мгновенного закрытия обратного клапана ГВМ. Иначе клапану под воздействием пружины не удастся справиться с сопротивлением вязкой жидкости и поэтому он закроется с опозданием под действием обратного тока жидкости, в момент начала вращения вала гидромашин в направлении, обратном холостому прокручиванию. При этом, в момент закрытия клапана, кинетическая энергия вращающихся масс, связанных с валом гидромашин, будет практически мгновенно поглощаться сжимаемой жидкостью, а также упруго-скручивающимися деталями привода гидроМСХ, вызывая многократное превышение максимального давления в гидросистеме и максимальных напряжений в механическом приводе. Значит, чтобы избежать ударное включение гидроМСХ, вязкость должна быть минимальной [8].

При рабочем ходе, для уменьшения мощности, потерянной с утечками $N_{ут}$ в гидромашине, вязкость жидкости, напротив, должна быть высокой [9, 10].

$$N_{ут} = \frac{M_T Q_{ут}}{V}, \quad (4)$$

где M_T – тормозной момент на валу гидромашин.

Это объясняется уменьшением объёмного КПД и увеличением утечек $Q_{ут}$ рабочей жидкости в гидромашине при снижении вязкости последней.

Так как в качестве базового узла гидроМСХ применяется шестеренный насос, то при какой угодно высокой рабочей температуре, вязкость гидравлической жидкости не может быть меньше $80 \text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 1).

Для большинства известных жидкостей вязкость зависит от величины давления, увеличиваясь с повышением последнего, причем данная зависимость будет различной для разных температур.

Вязкость минеральных масел изменяется при увеличении или уменьшении давления в гидросистеме практически линейно в диапазоне небольших давлений (от 0 до 3 – 4 МПа).

В расчетах, используемых на практике для определения зависимости вязкости рабочей жидкости, применяемой в гидропередачах, от давления (от 0 до 5 МПа) можно воспользоваться эмпирическим уравнением

$$\mu_p = (1 + 0,003p)\mu, \quad (5)$$

где μ_p и μ – вязкость жидкости соответственно при давлении p и атмосферном; p – давление в гидросистеме.

При расчете величины утечки рабочей жидкости через конструктивные зазоры гидроМСХ следует учитывать изменение вязкости при изменении величины давления, так как данный фактор в некоторых случаях может полностью компенсировать увеличение утечек, обусловленных увеличением под давлением конструктивных зазоров.

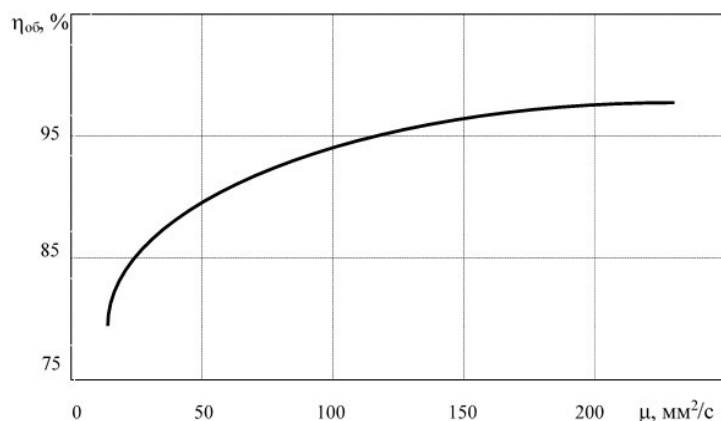


Рисунок 1. Зависимость объёмного КПД гидроМСХ от вязкости масла

Для рабочих жидкостей, изготовленных на нефтяной основе, вязкостно-температурная зависимость в диапазоне от $+50^{\circ}\text{C}$ до температуры начала застывания имеет следующий эмпирический вид [11]

$$\mu_{\text{ж}} = \mu_{50} \exp\left(\frac{A}{T_{\text{ж}}^a}\right), \quad (6)$$

где $\mu_{\text{ж}}$ – среднее значение кинематической вязкости при температуре $T_{\text{ж}}$ (К); μ_{50} – кинематическая вязкость жидкости при $+50^{\circ}\text{C}$; A и a – коэффициенты аппроксимирующих кривых.

Анализируя выражение (3) и данные таблицы становится очевидно, что при температуре $T_{\text{ж}} = 50^{\circ}\text{C}$ применение в гидродифференциальном выпрямителе момента приведенных гидравлических масел наибольшее падение объёмного КПД гидроМСХ, вызванное большими утечками в качающем узле из-за низкой вязкости рабочей жидкости, будет наблюдаться при использовании ВМГЗ, а наименьшее – при МГ-30. С другой стороны, при повышении вязкости рабочей жидкости, увеличивается гидравлическое сопротивление всасывающей магистрали и обратного клапана, что так же отрицательным образом сказывается на работоспособности ГВМ.

Таблица 1. Данные для расчета вязкости гидравлических масел

Рабочая жидкость	ВМГЗ	АМГ-10	МГ-20	МГ-30
$A \cdot 10^{-8}$	10,98	10,82	40	94
a	3,06	3,06	3,77	3,91
$\mu_{50}, \text{мм}^2/\text{с}$	10	11	21	28

Сжимаемость – важное свойство рабочей жидкости, так как влияет на КПД гидромашин. Увеличение рабочего давления лимитирует не механическая прочность гидромашин и не герметичность, а сжимаемость жидкости. В настоящее время имеются рабочие жидкости, обеспечивающие нормальное функционирование объемной гидропередачи при давлении до 75 МПа. Это позволяет значительно сократить габаритные размеры гидропередачи и снизить металлоемкость конструкции. Сжимаемость харак-

теризуется коэффициентом относительного объёмного сжатия β , под которым понимается относительное изменение объёма жидкости, приходящееся на единицу изменения давления

$$\beta = \frac{\Delta V}{\Delta p V}, \quad (7)$$

где V – объём жидкости; Δp и ΔV – изменение давления и объёма жидкости соответственно.

Величина, обратная коэффициенту относительного объёмного сжатия β , называется объёмным модулем упругости жидкости $E = 1/\beta$ при всестороннем сжатии.

В зависимости от типа жидкости, давления и температуры, коэффициент сжимаемости β и объёмный модуль упругости E будут изменяться в широких пределах. С повышением температуры коэффициент сжимаемости увеличивается, а объёмный модуль упругости уменьшается.

Коэффициент сжимаемости жидкостей β с ростом давления уменьшается, особенно при низких значениях давления, а объёмный модуль упругости повышается (рис. 2). При изменении давления от 0 до 100 МПа коэффициент β уменьшается при нормальной температуре: для минеральных масел на 30 – 40 %, а для синтетических жидкостей на 60 – 70 % от своей первоначальной величины. При дальнейшем повышении давления снижение коэффициента сжимаемости β происходит незначительно, и при давлении 250 – 300 МПа практически стабилизируется.

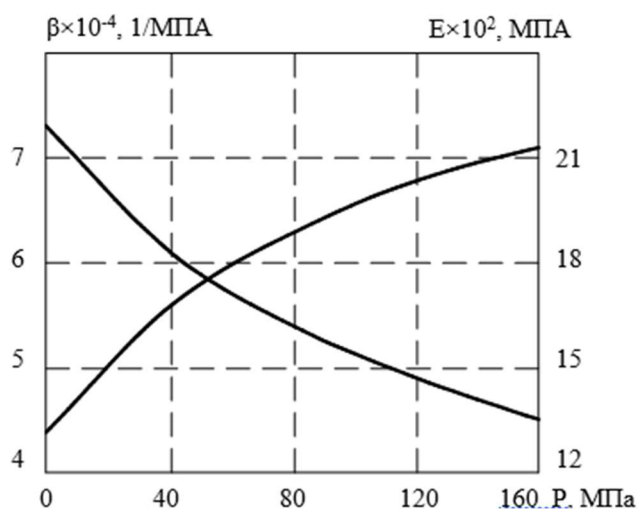


Рисунок 2. Характеристики рабочей жидкости

Сжимаемость жидкостей, которые могут применяться в гидросистеме ГВМ, должна быть минимальна, так как на сжатие с повышением давления затрачивается работа, которая уже не восстановится при понижении давления. Кроме того, сжимаемость негативно сказывается на объёмной характеристике насоса и режимах работы гидросистемы, а именно, может привести к ее автоколебаниям [12].

Таким образом, выбор рабочей жидкости для ГВМ инерционной передачи необходимо осуществлять с учетом обеспечения последней максимально возможного значения объёмного КПД шестеренного насоса и минимального гидравлического сопротив-

ления магистрали с учетом интервала изменений рабочей температуры в гидросистеме выпрямителя момента инерционной передачи.

Список литературы

- [1] *Гребеньков Д. В.* Исследование влияния параметров износа на КПД инерционного гидродифференциального трансформатора вращающего момента // Вестник машиностроения. 2016. №4. С. 18 – 22.
- [2] *Гребеньков Д. В.* Расчет характеристик инерционного трансформатора вращающего момента // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2018. №1(35). С. 77–82
- [3] *Гребеньков Д.В.* Подбор объёмных насосов для гидросистемы инерционного гидродифференциального трансформатора вращающего момента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. №4. С. 426 – 431.
- [4] *Гребеньков Д.В., А.Ю. Мельников.* К вопросу создания мощного пропашного трактора // Вестник современных исследований. 2018. №5 – 1 (20). С. 416 – 417.
- [5] *Гребеньков Д. В.* Прогнозирование ресурса инерционного гидродифференциального выпрямителя момента мобильной машины // Вестник машиностроения. 2013. №2. С. 33 – 36.
- [6] *Баженов С. П., Гребеньков Д. В.* Объёмные утечки в гидравлических механизмах свободного хода // Успехи современного естествознания. 2003. №4. С. 74.
- [7] *Гребеньков Д.В.* Экспериментальное исследование гидродифференциального выпрямителя момента инерционной автоматической передачи // Вестник современных исследований. 2018. №9.1 (24). С. 142 – 145.
- [8] *Гребеньков Д. В.* Метод прогнозирования технического ресурса инерционной гидродифференциальной автоматической передачи мобильных машин: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 167 с.
- [9] *Гребеньков Д. В.* Гидродифференциальный выпрямитель момента инерционной автоматической передачи мобильных машин // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2017. №2 (32). С. 25 – 30.
- [10] *Баженов С. П., Гребеньков Д. В.* Обоснование параметров гидросистемы выпрямителя момента инерционной бесступенчатой автоматической передачи // Современные наукоемкие технологии. 2004. №1. С. 46.
- [11] *Li R.I., Butin A.V., Ivanov S.P., Mashin D. V.* A promising polymer composite material for increasing the efficiency of recovery of basic parts of automotive engineering // Polymer Science. Series D. 2014. Т. 7. № 3. С. 233–237.
- [12] *Перегудов, Н.Е.* Исследование уплотняющего воздействия гусеничного движителя сельскохозяйственного трактора на почву и разработка метода его оценки: дис. ... канд. техн. наук. Мичуринск., 2016. 172 с.

УДК 656.027.4

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТАНА В ГАЗОМОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

WAYS TO IMPROVE COOLING SYSTEMS WHEN METHANE IS USED IN GAS ENGINES

Дидманидзе Отари Назирович¹, Хакимов Рамиль Тагирович²,
Большаков Николай Александрович¹

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева
(РГАУ-МСХА, Россия, г. Москва)

² ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
(СПбГАУ, Россия, г. Санкт-Петербург)

Otari Didmanidze¹, Ramil' Khakimov², Nikolay Bol'shakov¹

¹ Russian State Agrarian University, Moscow, Russia

² Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russia

Аннотация

В работе представлены сведения технологии алюминиевой пайки Nocolok которая дала возможность создавать радиаторы любого размера и формы с целью повышения эффективности в процессе эксплуатации. Анализируя работоспособность охлаждающей системы газового двигателя необходимо выявить взаимосвязь потенциальных свойств данной системы, конструктивных особенностей, внешних факторов и эксплуатационных измерителей температурно-динамических характеристик. Данная структура представлена виде схемы, где наглядно проиллюстрирована взаимосвязь конструкции агрегата (газового двигателя) с теплообменным аппаратом, а также влияние на него показателей работоспособности отдельных конструктивных элементов и дорожно-климатических факторов. Результаты исследований были получены в лабораторные по испытанию радиаторов которые проводились на большой аэродинамической трубе лаборатории ОНИЛТА имени В.В. Буркова в ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Ключевые слова: газовый двигатель, радиатор, система охлаждения, испытания, энергоэффективность.

Abstract

The robot presents information technology aluminum brazing Nocolok which made it possible to create radiators of any size and shape in order to improve efficiency during operation. Analyzing the performance of the cooling system of the gas engine, it is necessary to identify the relationship of the potential properties of the system, design features, external factors and performance meters of temperature and dynamic characteristics. This structure is presented in the form of a scheme, which clearly illustrates the relationship of the design of the unit (gas engine) with the heat exchanger, as well as the impact on it of performance indicators of individual structural elements and road climatic factors. The research results were obtained in a laboratory test of the radiators which were conducted at a large wind tunnel of the laboratory of ANILTA named after V. V. Burkova in FSBEI of Spbgau.

Key words: gas engine, radiator, cooling system, testing, energy efficiency.

Система охлаждения за последнее десятилетие с точки зрения конструкции и применяемых материалов не сильно продвинулись вперед за исключением технологии пайки и сборки. Но на данном этапе этого и не требуется: конструкция механической части системы охлаждения всех устраивает, вернее, удовлетворяет, поскольку позволяет справиться со всеми возложенными на нее задачами.

Технология алюминиевой пайки Nocolok дала возможность создавать радиаторы любого размера и формы, кроме того, в отличие от сборных конструкций, которые присутствовали на рынке раньше, у цельнопаяных радиаторов долгий срок службы, и они не теряют эффективности в процессе эксплуатации. Форма трубок охлаждения также устоялась – плоскоовальное сечение интереснее как с точки зрения аэродинамики, так и с точки зрения гидравлики: потери меньше. В зависимости от технических требований можно сделать радиатор толще/тоньше, больше/меньше – для этого теперь не требуется особых усилий. Если раньше в России и странах Таможенного союза большую долю в автмаркете занимала импортная продукция вроде BEHR и NISSENS, то теперь компания LUZAR, например, выпускает целый спектр компонентов систем охлаждения, причем перспективная часть продукции сертифицирована по TUV и, соответственно, включена в глобальную европейскую базу по автокомпонентам TecDoc. В целях анализа работоспособности охлаждающей системы газового двигателя необходимо выявить взаимосвязь потенциальных свойств данной системы, конструктивных особенностей, внешних факторов и эксплуатационных измерителей температурно-динамических характеристик. Данная структура представлена на рис. 1, где наглядно проиллюстрирована взаимосвязь конструкции агрегата (газового двигателя) с теплообменным аппаратом (ТА) и влияние на него показателей работоспособности отдельных конструктивных элементов и дорожно-климатических факторов.

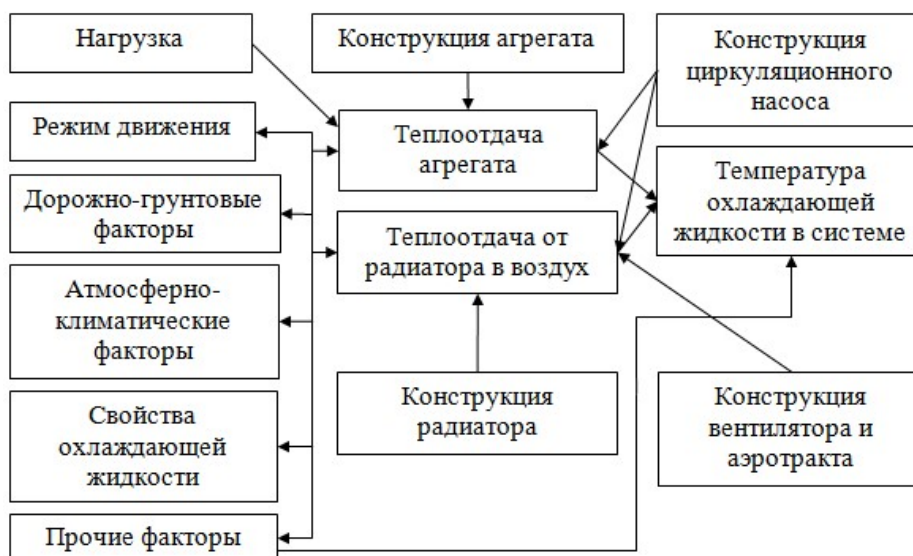


Рисунок 1. Структурная схема взаимосвязи потенциальных свойств системы охлаждения, внешних факторов и эксплуатационных измерителей температурно-динамической характеристики [1].

Для реализации поставленной цели также необходимо учитывать воздействие дорожных и климатических факторов на критерии температурно-динамических свойств,

данная блок-схема представлена на рисунке 2, где показано взаимодействие основных дорожно-климатических факторов и температурно-динамических свойств окружающей среды влияющие на теплофизические показатели автомобильных радиаторов [2].

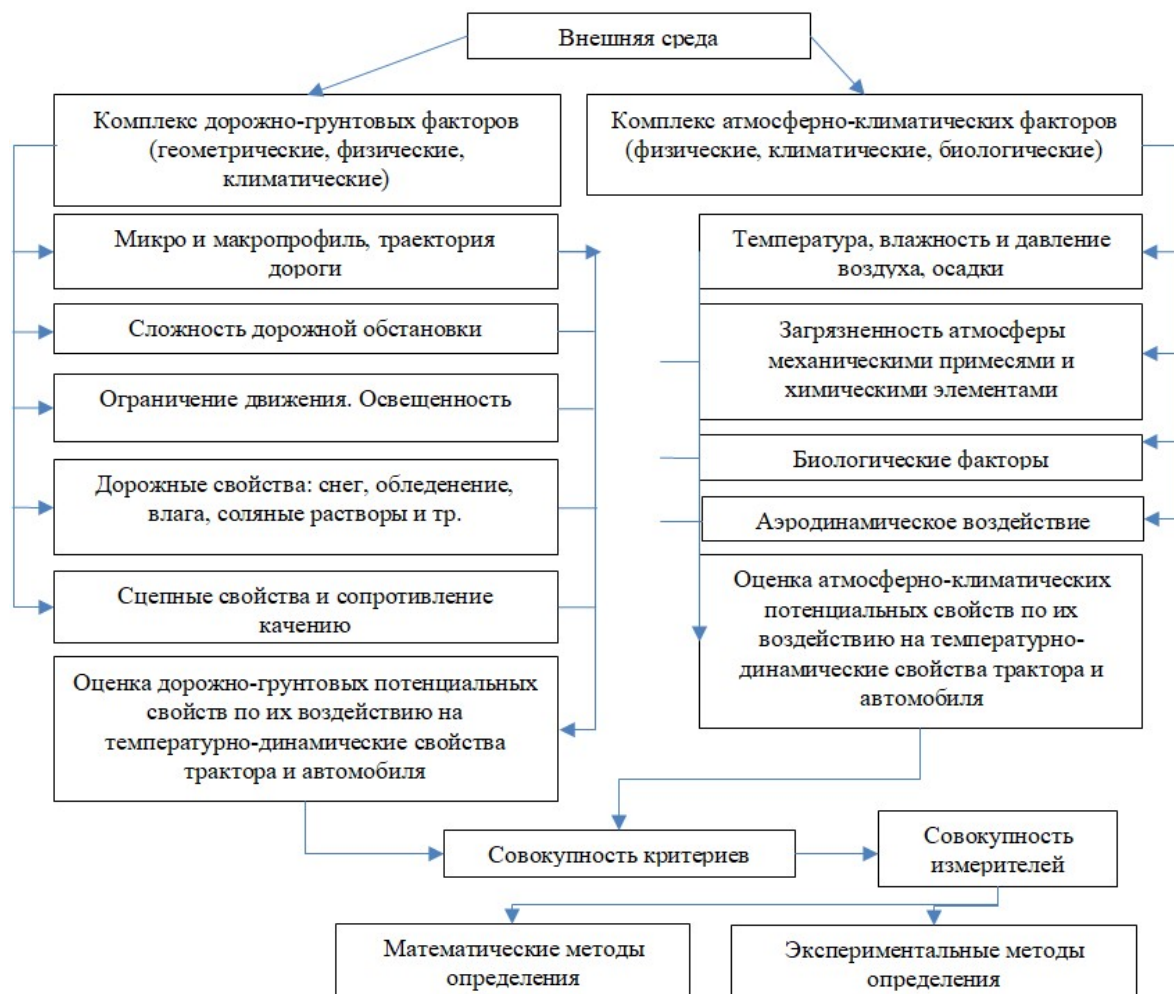


Рисунок 2. Воздействие дорожных и климатических факторов на критерии температурно-динамических свойств

Как уже было отмечено выше, для обеспечения нормальной работы соответствующих функциональных систем следует обеспечить определённый температурный режим всех узлов как трансмиссии, так и двигателя [3, 4, 5]. Это приводит к тому, что к контурам системы охлаждения двигателя добавляются дополнительные контуры охлаждения агрегатов силовой передачи, контуры охлаждения сервисных и вспомогательных устройств. Современные тенденции развития автотракторной техники не рассматривают увеличение габаритных размеров, поэтому необходима более плотная компоновка контуров систем охлаждения с оптимизацией габаритных размеров и массовых показателей ее элементов [6].

В целях оптимизации работы охлаждающей системы газомоторной автотракторной техники предлагается использовать структурную схему источников теплоты и контуров охлаждения транспортного средства (ТС) с классической компоновкой агрегатов, которая представлена на рис. 3.

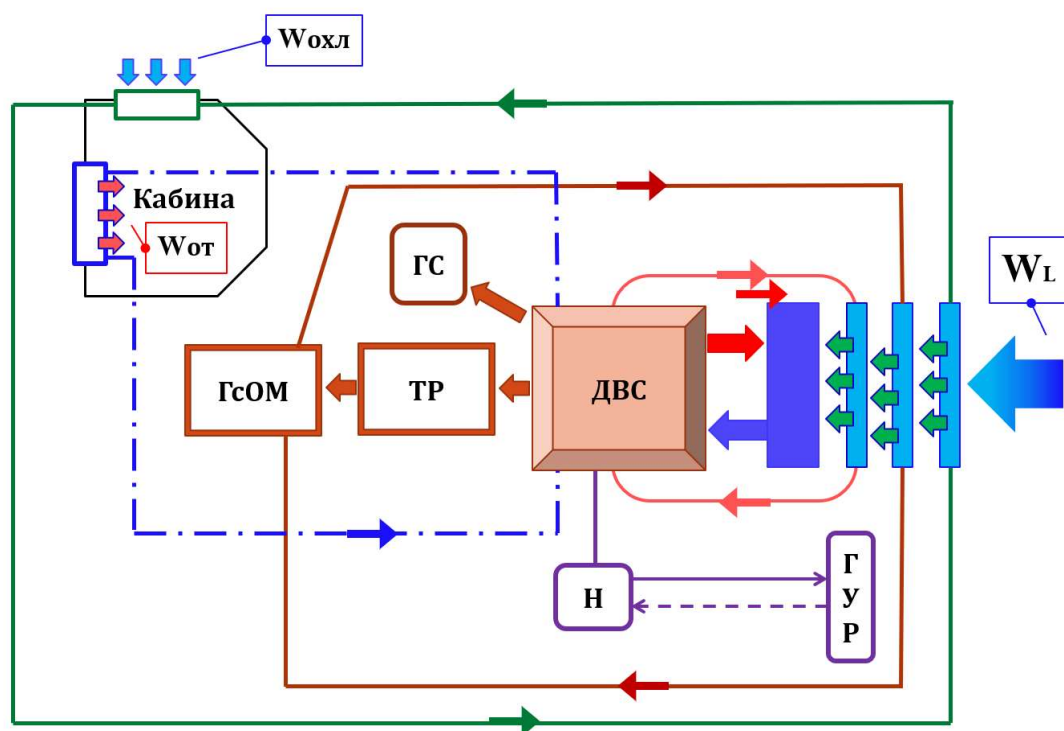


Рисунок 3. Структурная схема блочной системы охлаждения:
 ДВС – двигатель; ТР – трансмиссия; ГС – гидростатическая трансмиссия;
 ГсОМ - гидростатический отбор мощности

Из рис. 3 следует, что современная автотракторная техника представляет собой сложный многоконтурный источник теплоты, в котором проблематично оценить тепловое влияние функциональных систем друг на друга. Различают два подхода в направлении повышения эффективности вышеуказанных систем [7]:

а) разработка принципиально новых компоновок систем охлаждения, высокоэффективных теплообменников и создание комплексного радиаторного блока для многоконтурной системы охлаждения;

б) анализ и выработка рекомендаций по повышению эффективности известных компоновок систем охлаждения.

Первый подход подразумевает существенные изменения в конструкции автотракторной техники на этапе ее проектирования и конструирования.

Реализация второго подхода возможна на конечных этапах конструирования, а также при эксплуатации.

Для реализации указанной цели предлагаем математическую модель тепловых процессов в теплообменнике при анализе работы блочной системы охлаждения в процессе эксплуатации ТС [8].

Температура рабочей среды (охлаждающей жидкости, смазочного масла и др.) или рабочих поверхностей деталей и механизмов является наиболее естественным критерием, широко применяемым при различного рода испытаниях и исследованиях. Критическая температура воздуха позволяет прогнозировать природно-климатические условия, в которых при эксплуатации автомобиля исключен перегрев функциональной системы.

Для оценки снижения эффективности теплообменников, работающих в составе

блочной системы, воспользуемся следующим выражением:

$$E_{дв} = A_{дв} + Q_{вс} + Q_{окр} + Q_{вн}, \quad (1)$$

где $A_{дв}$ - полезно совершаемая работа; $Q_{вс}$ - количество теплоты, затрачиваемой на привод вспомогательных узлов двигателя; $Q_{окр}$ - количество теплоты, отводимое от двигателя в окружающее пространство; $Q_{вн}$ - количество теплоты, затрачиваемое на прогрев двигателя до рабочей температуры.

Полное уравнение энергетического баланса ТС выглядит следующим образом:

$$E_{дв} = Q_{вс} + Q_{окр.дв} + Q_{вн.дв} + Q_{окр.а} + Q_{вн.а} + Q_{м.а} + A_{а}, \quad (2)$$

где $Q_{окр.а}$ - количество теплоты, затрачиваемое на прогрев смазочного и рабочего масла агрегатов; $Q_{вн.а}$ - количество теплоты, затрачиваемое на прогрев агрегатов машины до рабочей температуры; $Q_{м.а}$ - количество теплоты эквивалентное работе, затрачиваемой на привод вспомогательных узлов двигателя; $L_{а}$ - полезно совершаемая работа агрегатов трактора.

Эффективность ТА с учетом неравномерности распределения воздушного потока будет иметь следующий вид [9, 11]:

$$\varepsilon = \left\{ 1 - e^{-b} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{D_n(1)}{(n-1)!} \right\} \cdot \frac{W_L}{W_w}, \quad (3)$$

где $D_n(y)$ - коэффициенты, определяемые по рекуррентным формулам; N_{tu} - число единиц переноса теплоты.

Результаты полученные для оценки эффективности ТА позволяют определить в ограниченном виде с учетом следующих параметров N_{tu} (0...0,65) и W_L/W_w (0...0,3), а также значениями неравномерности распределения воздушного потока.

Относительно уменьшение эффективности работы ТА определяют по формуле:

$$\frac{Q_p - Q_p^H}{Q_p} = \Phi \cdot \delta^2, \quad (4)$$

где Q_p^H - теплоотдача радиатора, соответственно при равномерном распределении потока воздуха перед фронтом радиатора и неравномерном; Φ – функция элементарных частей теплообменника с равномерным потоком теплоносителя, и приведенная в виде графических зависимостей; δ - показатель неравномерности.

Неравномерность распределения воздушного потока можно оценить с помощью коэффициента неравномерности, который имеет следующий вид:

$$K_C = \frac{V_L^{\max} - V_L^{\min}}{V_L^{cp}}. \quad (5)$$

Данная методика характерна для определенных по конструкции ТА, при этом требуются значительные вычисления, теоретические знания в области гидравлики и теплотехники, для построения более точных теплотехнических характеристик необходимо проводить тесовые испытания в лабораторных условиях. Для этого необходимо выбрать критерии, один из них, это критерий чувствительности теплоотдачи радиатора, который даст возможность показать общую эффективность ТА.

Определить данный коэффициент чувствительности можно по следующему выражению [9]:

$$\Phi = \frac{4 \cdot \int_{V_0}^{V_0+x} f(V) dV - x \cdot [f(V_0 - x) + 3f(V_0 + x)]}{x \cdot [f(V_0 + x) - f(V_0 - x)]}. \quad (6)$$

где $f(V)$ - функция теплопередачи радиатора от скорости воздуха; χ - значимый диапазон разброса локальной скорости воздуха, $\chi \approx 0$.

Оценка адекватности разработанной математической модели производилась по корреляционному отношению и критерию Фишера [10].

В целях подтверждения адекватности математической модели выполнили соответствующие расчеты и испытания экспериментального образца радиатора системы охлаждения автомобиля.

В процессе испытаний радиатора блочной компоновки системы охлаждения газомоторной автотракторной техники получили локальные скорости воздуха в точках замера по всей площади исследуемого радиатора, которые представлены на рис. 4.

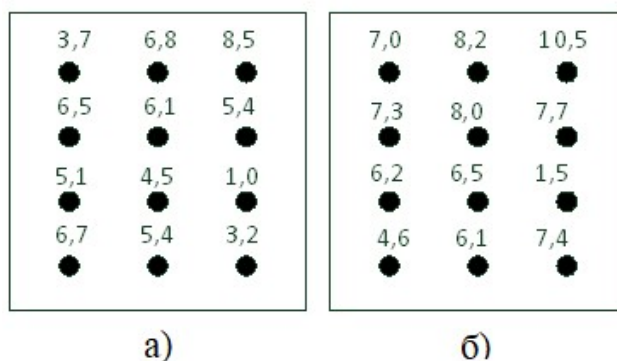


Рисунок 4. Значение локальных скоростей воздуха в точках замера ($n_{\text{дв}} = 3000$ об/мин); а) на второй передаче; б) на третьей передаче.

Лабораторные испытания радиаторов проводились на большой аэродинамической трубе лаборатории ОНИЛТА имени В.В. Буркова в ФГБОУ ВО СПбГАУ по методике, описанной выше.

Режимы движения теплоносителей при исследованиях блочного радиатора составляли: скорость воздуха $V_L = 1 \dots 12$ м/с, расход воды $W_w = 0,04 \dots 2,0$ л/с. Начальный температурный напор $\Delta t_{\text{нач}} = 60$ °С.

В результате обработки результатов испытаний были получены зависимости, которые представлены на рис. 5 и 6

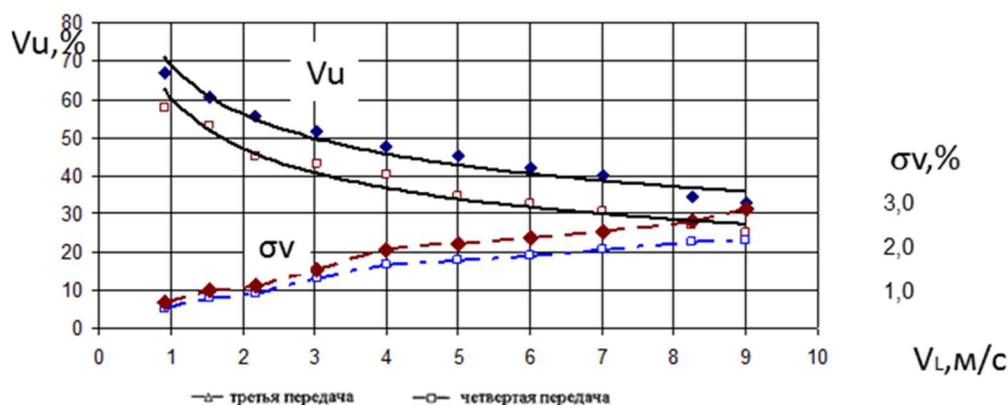


Рисунок 5. Зависимость показателей неравномерности (V_u), (σ) от средней скорости воздуха в системе охлаждения транспортного средства

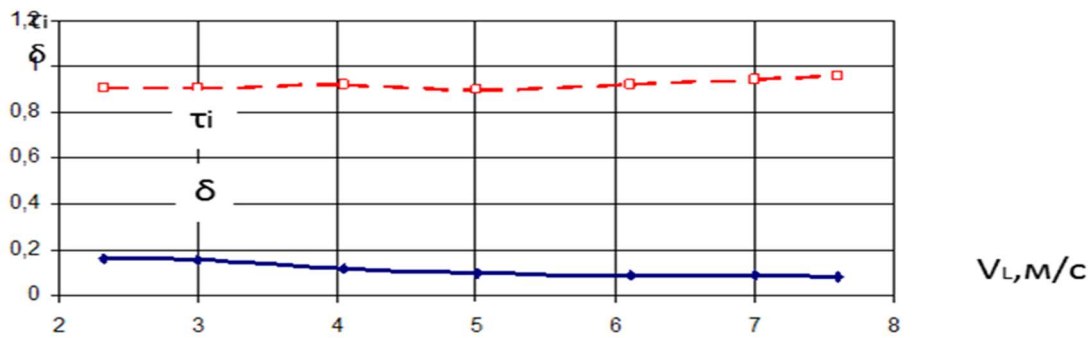


Рисунок 6. Зависимость коэффициента энергетической эффективности (τ_i) и относительного снижения теплоотдачи радиатора (δ) транспортного средства от средней скорости воздушного потока при движении на третьей передаче

Выводы

1. Рабочие системы современных энергонасыщенных ТС испытывают большие механические и тепловые нагрузки, которая требует их утилизацию в окружающую среду. Для оценки эффективности параметров ТА необходимо знать температурно-динамические качества, излучаемые транспортными средствами.

2. В качестве критерия оценки температурно-динамических качеств следует использовать ($t_{кр}$) и ($\Delta t_{нач}$) для наиболее нагруженной и критичной к тепловому режиму функциональной системе.

3. Современное ТС необходимо рассматривать как многоконтурный источник излучения теплоты, у которого - 35...40% теплоты, полученной при сгорании топлива, используется на совершение полезной работы. В силовых и вспомогательных агрегатах существуют потери мощности, которые также, увеличивают теплонапряженность.

4. Функционирование теплообменника по отношению с другими теплообменными системами требует исследования качества потоков теплоносителей. Одним из таких качеств это неравномерность распределения температуры и скорости воздушного потока перед фронтом теплообменника. Для более точных показателей эффективности необходимо построение математических моделей тепловых процессов в радиаторе с возможностью учета неравномерности воздушного потока.

Список литературы

- [1] Афанасьев А.С., Хакимов Р.Т., Загорский С.М. Влияние режимов использования дизеля на дымность отработавших газов. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 2 (28). С. 56-58.
- [2] Боровиков А.В., Хакимов Р.Т. Совершенствование внутрицилиндровых процессов автомобильного газового двигателя с высоким турбонаддувом обедненной смеси. Транспортное дело России. 2008. № 4. С. 39-40.
- [3] Дидманидзе О.Н., Афанасьев А.С., Хакимов Р.Т. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей. Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 50-55.

- [4] *Дидманидзе О.Н., Карев А.М.* Метод получения водорода электролизом воды Москва, 2017.
- [5] *Дидманидзе О.Н.* Энергетические установки автомобиля нового поколения / О.Н. Дидманидзе, С.А.Иванов, С.В.Козлов // Приводная техника. 2014. № 4. С. 36-53.
- [6] *Дидманидзе О.Н., Афанасьев А.С., Хакимов Р.Т., Бисенов К.А.* Научные основы ресурсосбережения в газовых двигателях. В сборнике: Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации Материалы Всемирного Конгресса инженеров и ученых. 2017. С. 221-227.
- [7] *Дидманидзе О.Н., Хакимов Р.Т., Неговора А.В.* Оптимизация параметров системы питания газового двигателя с использованием сжиженного метана. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (46). С. 93-100.
- [8] *Хакимов Р.Т., Дидманидзе О.Н.* Исследования газоструйного впрыска природного газа в камеру сгорания с постоянным объемом. Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 36. С. 195-200.
- [9] *Хакимов Р.Т.* Обзор работ по снижению энергозатрат и шума систем охлаждения автотранспортных средств. В сборнике: НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ АПК В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. 2016. С. 469-472.
- [10] *Шашков А.Г.* Волновые явления теплопроводности: системно-структурный подход / А.Г.Шашков, В.А.Бубнов, С.Ю.Яновский; 2-е изд., доп. М.: Едиториал УРСС, 2004. 296 с.
- [11] *Khakimov R., Shirokov S., Zykin A., Vetrova E.* Strategic assessment aspect of vehicles' technical condition influence upon the ecosystem in regions / R. Khakimov, S. Shirokov, A. Zykin, E. Vetrova. // Transportation Research Procedia 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», SPbOTSIC-2016. 2017. P. 295-300.

УДК 629.341

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССТУПЕНЧАТЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИНЕРЦИОННЫХ ПЕРЕДАЧ НА ГОРОДСКИХ АВТОБУСАХ КАТЕГОРИИ М₃

THE RATIONALE FOR THE USE OF STEPLESS INERTIAL AUTOMATIC TRANSMISSION ON THE CITY BUSES OF M₃ CATEGORY

Дмитриев Семен Анатольевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Semen Dmitriev

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В данной статье рассмотрены условия работы городского автобуса и дано обоснование необходимости применения на них бесступенчатой автоматической трансмиссии. Проанализированы транс-миссии различных типов с точки зрения возможности их применения. Приведено описание бесступенчатой автоматической инерционной передачи, разработанной для городского автобуса ПАЗ-32053.

Ключевые слова: *инерционный трансформатор вращающего момента, гидродифференциальный выпрямитель момента, преобразователь момента, городской автобус.*

Abstract

This article provides information about working conditions of a city bus and gives an explanation of a necessity of using stepless inertial automatic transmission. We have analyzed different types of transmission from the point of view of the possibility of their application. The description of the stepless inertial automatic transmission which is designed for the bus PAZ-32053 is provided.

Key words: *inertial torque converter, hydrodifferential torque rectifier, torque transformer, city bus.*

Транспортная инфраструктура относится к одному из важных аспектов, влияющих на устойчивость функционирования города и его способность противостоять возможным критическим ситуациям [1].

Автобусные перевозки являются одним из основных видов пассажирских перевозок в транспортной системе городов. Интенсивное дорожное движение и компактная обслуживаемая территория приводят к значительному числу пересечений транспортных и пешеходных потоков. Это обстоятельство накладывает определенные особенности на работу городских автобусов. Одной из них является необходимость в частых остановках для посадки и высадки пассажиров, а также перед светофорными объектами и пешеходными переходами. Вследствие этого, а также неизбежного наличия изменений рельефа местности, возникает потребность в непрерывном регулировании скоростного и силового факторов. При использовании на городском автобусе ступенчатой трансмиссии возникает необходимость в постоянном манипулировании педалью сцепления и рычагом переключения передач [2]. В настоящее время значительное число моделей городских

автобусов категории М₃ (в частности от производителей ПАЗ, КАВЗ, МАЗ, ВAW, Niger и др.) оснащены механическими ступенчатыми коробками передач.

Переключение передач происходит через каждые 15 ... 30 с и занимает от 5 до 15 % времени движения. Данные манипуляции педалью сцепления и рычагом переключения передач отвлекают внимание и вызывают быстрое утомление организма, что приводит к еще большему снижению внимания. В свою очередь, это повышает вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий. При этом двигатель автобуса работает на неоптимальных неустановившихся режимах, следствием чего является ухудшение топливной экономичности с одновременным увеличением выбросов вредных веществ в отработавших газах. Также данные режимы работы вызывают повышение динамических нагрузок в элементах трансмиссии и снижение ее надежности и долговечности. Что в свою очередь влияет на эффективность технической эксплуатации.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения числа передач ступенчатой трансмиссии до 6 ... 8. Управление такими коробками передач становится чрезвычайно сложным и требует обязательного наличия системы электронного автоматического управления, что приводит к усложнению конструкции и удорожанию автобуса.

Устранить указанные недостатки возможно при использовании автоматического бесступенчатого регулирования силового и скоростного факторов. Применение подобных передач в трансмиссии автобуса позволяет улучшить не только технико-экономические, но и социальные (упрощение управления автобусом, улучшение условий работы водителя, повышение безопасности движения и т. д.) показатели.

В трансмиссиях современных городских автобусов наиболее распространены гидромеханические автоматизированные коробки передач. При этом вращающий момент бесступенчато автоматически регулируется гидродинамическим трансформатором в определенном узком диапазоне (в пределах 2,5 ... 3,5) и ступенчато изменяется в широком диапазоне посредством дополнительной механической коробки передач с электрогидравлической системой автоматического переключения, имеющей от трех до шести ступеней.

Использование трансмиссий данного типа позволяет значительно улучшить комфортабельность, тягово-динамические качества и проходимость автобуса. Однако работа гидротрансформаторов основана на двойном преобразовании энергии из одного вида в другой в процессе трансформации вращающего момента двигателя. По этой причине им свойственны существенные неустраняемые недостатки: низкий коэффициент полезного действия (КПД); малый диапазон трансформации момента, приводящий к необходимости использования дополнительной ступенчатой коробки передач с электрогидравлической системой автоматического управления сложной конструкции; требуются системы питания и охлаждения рабочей жидкости, и т. п.

Другие типы бесступенчатых передач (гидрообъемные, электромеханические, механические фрикционные и др.) не нашли применения в трансмиссиях современных автобусов по причине еще меньшего КПД; высокой сложности, особенно в отношении системы автоматического регулирования; большей массы и значительной стоимости. В настоящее время наблюдается повышение интереса к использованию различных вариантов гибридных силовых установок, выполненных по параллельной, последовательной и параллельно-последовательной схемам. Но и они не получили широкого распространения и используются крайне ограничено по указанным выше причинам.

Перечисленных недостатков лишены механические инерционные бесступенчатые автоматические гидродифференциальные трансформаторы вращающего момента (ИГТВМ). Силовой диапазон регулирования ИГТВМ достигает 7 ... 12, кинематический

изменяется от 0 до 1 [3]. При этом силовой поток передается только механическим путем, поэтому подобные передачи обладают коэффициентом полезного действия в рабочей зоне в пределах 0,9 ... 0,95, что примерно соответствует КПД механической ступенчатой коробки передач. ИГТВМ обладает внутренним саморегулированием и способен автоматически переходить с работы на режиме трансформации момента на режим динамической муфты (прямой передачи). Гидросистема передачи имеет простую конструкцию и нуждается только в реверсирующем устройстве.

Принципиальная схема ИГТВМ представлена на рисунке 1. Она включает в себя два основных узла: инерционный преобразователь момента и выпрямитель инерционного момента, в качестве которого используется дифференциальный ряд, опорными звеньями которого поочередно становятся центральные шестерни.

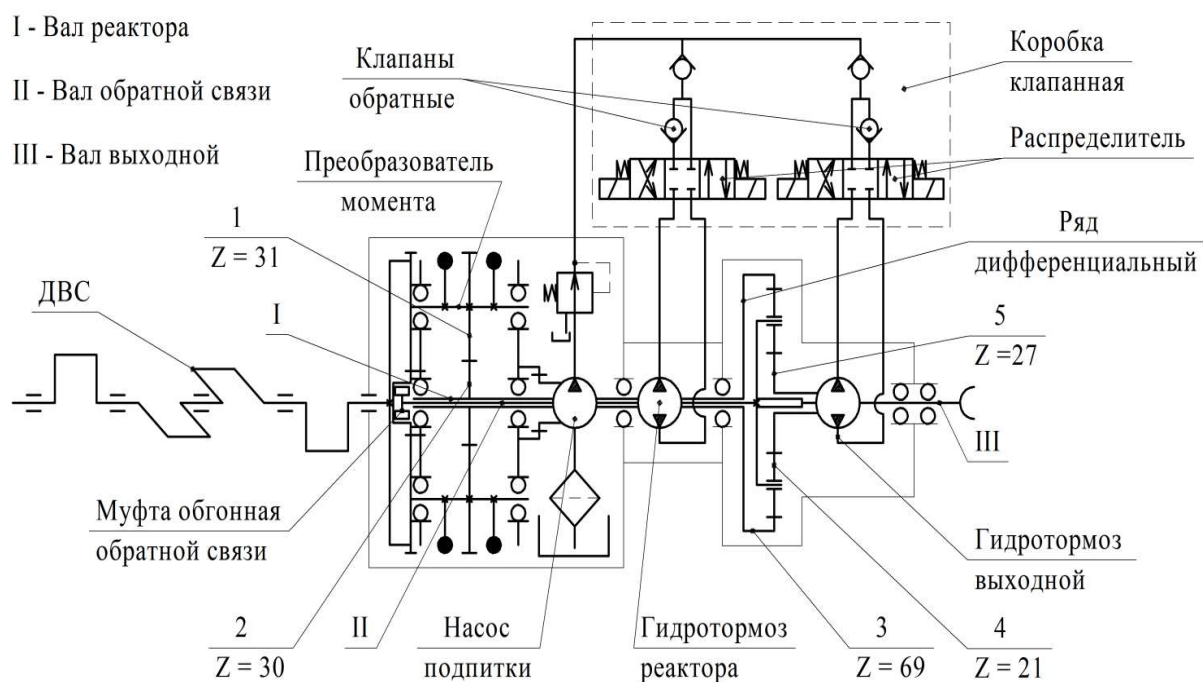


Рисунок 1. Принципиальная схема ИГТВМ городского автобуса

Торможение опорных элементов осуществляется объемными гидромашинами, имеющими замкнутые контуры циркуляции с обратными клапанами противоположного действия [4]. Для обеспечения бесперебойной работы и отсутствия эффекта кавитации контуры циркуляции каждого гидротормоза подключены к насосу подпитки посредством обратных клапанов. Для заполнения контуров и удаления воздуха в верхней части каждого из них располагается перепускное отверстие, снабженное заглушкой. Реверсирование вращения выходного вала передачи осуществляется переключением обратных клапанов посредством двух гидрораспределителей. Для повышения эффективности торможения двигателем и запуска двигателя с помощью буксировки использован механизм обратной связи. Он состоит из обгонной муфты, соединенной с водилом преобразователя момента и связанной с выходным валом ИГТВМ посредством торсиона.

Бесступенчатые автоматические передачи инерционного типа обладают следующими положительными качествами:

1) ИГТВМ обеспечивает бесступенчатое автоматическое изменение вращающего момента на выходном валу в зависимости от внешних сопротивлений на ведущих колесах [5];

2) Внутренний автоматизм передачи обеспечивает работу без разрыва потока мощности, что позволяет улучшить динамические качества, тяговые показатели и проходимость автобуса;

3) Обеспечена возможность автоматического перехода и устойчивой работы на режиме динамической муфты (прямой передачи);

4) Передача обладает высокой фильтрующей способностью для разночастотных колебаний нагрузки, способностью гашения крутильных колебаний двигателя, трансмиссии и ходовой части, что повышает долговечность и срок службы этих узлов и автобуса в целом;

5) Большой силовой диапазон регулирования ИГТВМ позволяет отказаться от применения дополнительных механических ступенчатых коробок передач, тем самым упростив конструкцию и повысив общий КПД трансмиссии;

6) При рациональном конструктивном исполнении габариты и вес ИГТВМ находятся в пределах серийных ступенчатых сцеплений и коробок передач;

Бесступенчатая автоматическая передача инерционного типа, разработанная для городского автобуса ПАЗ-32053 [2, 6], представлена на рисунке 2.

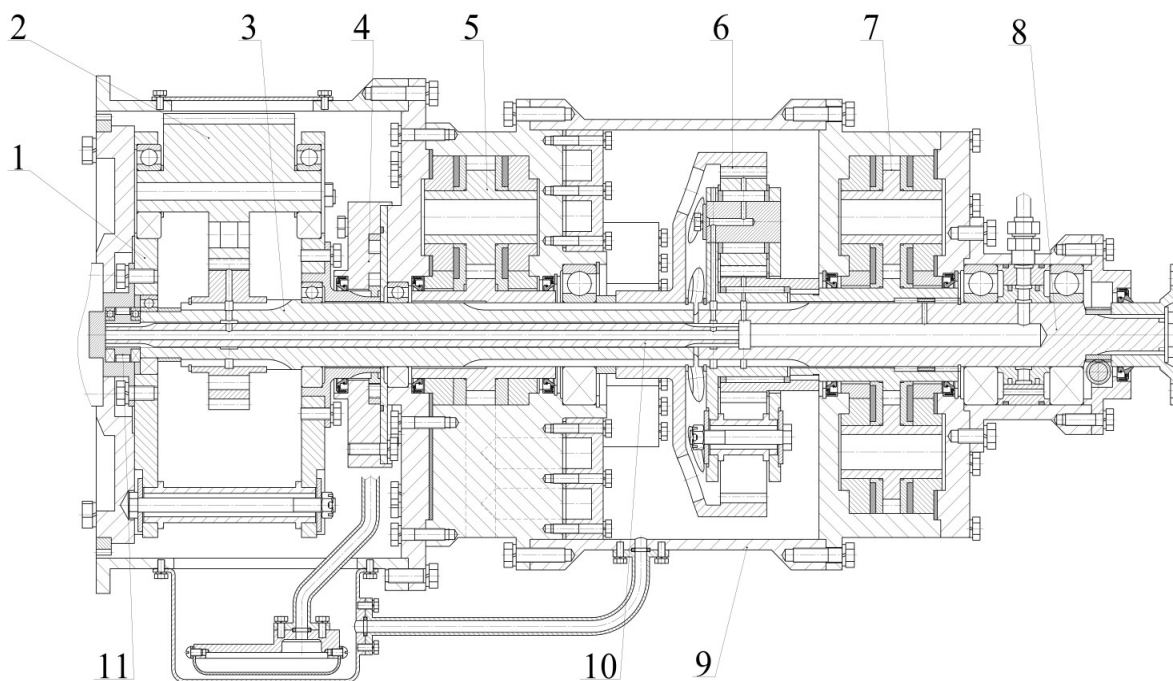


Рисунок 2. Конструкция ИГТВМ городского автобуса

ИГТВМ содержит импульсный механизм в виде водила 1, соединенного с неуравновешенными сателлитами 2, реактор 3, установленный на двух опорах, размещенных в корпусе 9. Насос подпитки 4 связан с ведущим звеном ИМ. Объемный гидротормоз 5, установленный на реакторе 3, соединен с коронным колесом дифференциального ряда 6, имеющего уравновешенные сателлиты. Объемный гидротормоз 7, установленный на ведомом валу 8, связан с солнечным колесом дифференциального ряда 6, водило которого

соединено с ведомым валом 8. Ведомый вал 8 связан с водилом 1 посредством обгонной муфты 11 и вала обратной связи 10 [6].

Применение бесступенчатых автоматических трансмиссий особенно перспективно на городских автобусах, что обусловлено спецификой условий их эксплуатации. Передачи инерционного типа (ИГТВМ) позволят обеспечить оптимальную компоновку автобуса, минимизировать потери в трансмиссии и повысить тягово-скоростные характеристики машины. Как следствие, повысится проходимость, улучшится топливная экономичность и снизится количество токсичных веществ, выбрасываемых с отработавшими газами.

Список литературы

- [1] *Дмитриев С.А., Ковырялова О.А.* Оценка устойчивости города Липецка к бедствиям с использованием инструментария кампании ООН «Мой город готовится!» // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – № 1 (9). – С. 487-489.
- [2] *Баженов С.П., Дмитриев С.А.* Инерционная гидродифференциальная автоматическая передача для городского автобуса // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 14-17.
- [3] *Дмитриев С.А., Баженов С.П.* Конструирование инерционного автоматического гидродифференциального трансформатора вращающего момента транспортного средства // Грузовик. – 2012. – № 2. – С. 2-6.
- [4] *Гребеньков Д.В.* Подбор объёмных насосов для гидросистемы инерционного гидродифференциального трансформатора вращающего момента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 426-431.
- [5] *Гребеньков Д.В.* Расчет характеристик инерционного трансформатора вращающего момента // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2018. – № 1 (35). – С. 77-82.
- [6] Инерционный трансформатор вращающего момента: пат. 119426 Рос. Федерация: МПК F16Н 47/04 / *С.П. Баженов, П.С. Баженов, С.А. Дмитриев, С.И. Курзяков, А.А. Пещеров*; заявитель и патентообладатель ООО Липецкий опытно-экспериментальный завод «ГИДРОМАШ». – № 2012113591/11; заявл. 06.04.2012;опубл.20.08.2012, Бюл. № 23– 2с.

УДК621.075.32

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

ON THE DETERMINATION OF ROUGHNESS GALVANIC COMPOSITE COATING

Жачкин Сергей Юрьевич¹, Пеньков Никита Алексеевич²

¹ Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

² Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», Воронеж, Россия

Sergey Zhachkin¹, Nikita Penkov²

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy», Voronezh, Russia

Аннотация

В статье приведен анализ существующих методов определения шероховатости покрытий.

Ключевые слова: матрица наклепа, толщина покрытия, внутренние напряжения.

Abstract

The article analyzes the existing methods for determining the roughness of coatings.

Key words: hardening matrix, coating thickness, internal stresses.

В процессе осаждения электролитических покрытий происходит изменение микрогеометрии восстанавливаемой поверхности. При этом возможно как сглаживание шероховатости поверхности (например, для никелирования), так и её увеличение (в случае цинкования). В этой связи вопрос определения шероховатости, как одного из наиболее важных эксплуатационных показателей наносимых гальванических покрытий, приобретает особую актуальность.

Методы контроля шероховатости можно условно разделить на две категории. К первой относятся качественные методы, позволяющие лишь принципиально ответить на вопрос о допустимости эксплуатации детали с покрытием, имеющим определенную шероховатость. Ко второй категории можно отнести методы, допускающие получение количественных данных о микрогеометрии поверхности [1, 7, 10]. Для восстановления деталей сельхозмашин, безусловно, практический интерес представляет вторая категория методов. Это связано с необходимостью восстановления изношенных узлов и агрегатов путем нанесения покрытий определенной толщины, зависящей от степени износа детали, а также обеспечения заданного коэффициента трения между соприкасающимися поверхностями контактируемых деталей.

При определении шероховатости используются так называемые эталоны шероховатости, которые допускают получение числовых выражений качества поверхностей де-

талей путем зрительного и осязательного сравнений. Однако для гальванических покрытий заданной толщины с точностью нанесения порядка микрометра такая методика неприемлема.

Испытание с помощью микроскопа в отраженном свете позволяет определить шероховатость поверхности покрытия путем фокусирования микроскопа на впадины и вершины профиля. Шероховатость в этом случае определяется как разница между максимальными отклонениями высот установки микроскопа.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили методы ощупывания. Приборы, работающие по такому принципу (профилографы, профилометры), ощупывают поверхность механическим щупом в двух измерениях. Колебания игольчатого щупа после оптического увеличения или электронного усиления (индукционный принцип действия) являются мерой шероховатости. Вследствие малого радиуса закругления острия игольчатого щупа (порядка 5 мкм) уже при нагрузках на щуп от 10^{-4} кгс создают настолько высокие давления за счет малой площади контакта с контролируемой поверхностью, что в процессе измерения на поверхности могут образоваться остаточные деформации. После преобразования полученной информации микроконтроллером, можно получить на выходе диаграмму профиля. Подобные диаграммы совместно с количественной характеристикой поверхности дают ряд качественных показателей полученного покрытия. Кроме того, профилографы-профилометры позволяют определять дефекты получаемых поверхностей.

Для минимизации систематических ошибок в определении шероховатости покрытия протяженность участка, на котором производится измерение, должна быть на несколько порядков больше максимального перепада высот в вертикальной плоскости. Обычно пределы измерения шероховатости лежат между 0,1 и 1000 мкм.

Получение гальванических композитных покрытий осуществляется методом гальваноконтактного осаждения (ГКО). Данный метод является финишным при восстановлении деталей, поэтому к нему предъявляются особые требования.

Исследовался вновь разработанный технологический процесс получения размерных хромовых покрытий с заранее прогнозируемым показателем шероховатости наносимого композитного материала. В осажденном слое при этом были получены сжимающие остаточные напряжения.

Покрытия осаждались в стандартном электролите хромирования, содержащем 200 - 250 г/л CrO_3 и 2,0 - 2,5 г/л H_2SO_4 , нашедшем наиболее широкое применение на машиностроительных предприятиях.

Для проведения экспериментальных исследований электролит приготавливался из реактивов «ХЧ» и «ЧДА» на дистиллированной воде по методике, описанной в [2, 9]. Плотность электролита измеряли ареометром, кислотность рН-метромилливольтметром модели рН – 121.

Температура электролита поддерживалась с точностью 1 К при помощи термометра ТПП – 11 ГОСТ 13717 – 74 и контролировалась термометром ТН – 5 ГОСТ 400 – 80 с ценой деления шкалы 0,2 К.

В связи с тем, что площадь хромирования восстанавливаемых деталей весьма разнообразна (до 40 дм^2), а величина наносимого покрытия 250 – 300 мкм, то максимальная плотность тока для исследований была выбрана 350 А/ дм^2 .

На основании исследований по определению шероховатости покрытий, полученных методом ГКО, получено уравнение регрессии [2, 4]. Оно показывает зависимость величины шероховатости восстановленной детали от основных факторов нанесения покрытия: плотности тока – i , температуры электролита – t , давления инструмента на обрабатываемую поверхность – p .

$$R_a=0,0532+0,001i-0,0004t-0,0042p.$$

Из представленной зависимости можно видеть, кроме того, что наиболее существенное влияние на шероховатость оказывает плотность тока. Это объясняется следующим образом. Плотность тока непосредственно влияет на скорость осаждения покрытий. Чем скорость выше, тем быстрее осуществляется наращивание кристаллов хрома вокруг центров кристаллизации. В этом случае величина шероховатости возрастает. Давление инструмента при этом снижает величину шероховатости. Это объясняется ростом величины прижима инструмента к обрабатываемой поверхности и, как следствие, увеличением плотности упаковки кристаллов хрома за счет разрушения образовавшихся электролитических дендритов [3, 8]. Данный эффект создает матрицу наклепа в покрытии, являющуюся причиной напряжений сжатия в слое хромовой матрицы.

Таблица 1. Зависимость шероховатости покрытия от основных параметров осаждения

№ эксперимента	R_a	i	t	p
1	0,027	20	68	2,5
2	0,039	15	68	1,5
3	0,041	15	58	2,5
4	0,024	15	68	2,5
5	0,054	20	58	1,5
6	0,046	20	68	1,5
7	0,043	20	58	2,5
8	0,047	15	58	1,5

Матрица наклепа представляет собой пластически деформированный слой гальванического хрома. В роли наполнителя, создающего наклеп, выступают частицы инструментального материала. Твердость внедряемых частиц значительно превышает твердость гальванических осадков гексагонального хрома. Это делает возможным равномерное распределение наполнителя по толщине наносимого слоя композитного покрытия. Такое распределение дает возможность подбора интегрального показателя получаемых осадков – внутреннего напряжения сжатия, которое служит мерой защищенности покрытия от растрескивания при различных видах нагружения. Кроме того, деформация осаждаемого слоя хрома положительно влияет на величину шероховатости получаемых осадков. Давление инструмента в процессе обработки составляет величину порядка 2 МПа, которой достаточно для сглаживания микронеровностей получающихся гальванических покрытий.

В ходе проведения экспериментальных исследований было выявлено, что при плотности тока до 230 А/дм² удавалось получить покрытия со сжимающими, остаточными

напряжениями. Далее при увеличении плотности тока остаточные напряжения переходят в растягивающие с одновременным увеличением их по абсолютной величине, а при плотности тока в 300 А/дм^2 они стабилизируются.

Этот процесс, по всей видимости, объясняется тем, что при увеличении плотности тока возрастает скорость осаждения покрытия, а, следовательно, растет и толщина элементарного слоя хрома, осаждаемого между двумя последовательными ходами инструмента. При определенном давлении и заданной плотности тока наступает такая толщина элементарного слоя, при превышении которой не происходит полного упругопластического деформирования осаждаемого слоя. В результате чего в слое хрома не создаются сжимающие остаточные напряжения.

С увеличением температуры электролита от 50 до 80°C остаточные напряжения из растягивающих, уменьшаясь по абсолютной величине, переходят в сжимающие. Для хромовых покрытий, осаждаемых обычным методом, увеличение температуры электролита ведет к уменьшению остаточных напряжений растяжения. Этот процесс объясняется следующим образом: с увеличением температуры электролита уменьшается скорость осаждения гальванического хрома и, следовательно, уменьшается толщина элементарного слоя хрома, осаждаемого между двумя последовательными ходами инструмента. Следовательно, каждый слой осаждаемого покрытия претерпевает большую деформацию, что приводит к возникновению сжимающих остаточных напряжений в покрытии.

При постоянном давлении увеличивается глубина проникновения упругопластической деформации, что приводит к возникновению в каждом элементарном слое сжимающих остаточных напряжений, которые, суммируясь, дают общую картину сжимающих остаточных напряжений в покрытии, восстановленном методом ГКО.

Как показали практические испытания, увеличением давления инструмента на обрабатываемую поверхность удается получать, а затем и увеличивать, напряжения сжатия. Дальнейшие исследования в этой области показали, что при превышении давления свыше $3,5 \text{ МПа}$ на покрытии наблюдаются вспучивания и шелушения, что вызывается, скорее всего, переупрочнением покрытия и повышенной концентрацией частиц инструментального материала в покрытии. Пониженное давление инструмента (ниже $0,5 \text{ МПа}$) создает ситуацию, при которой не происходит полного пластического деформирования растущих слоев осадка, а также возрастает значение шероховатости поверхности получаемого композитного материала. В этом случае осаждаются покрытия с растягивающими остаточными напряжениями, для которых характерна развитая сетка трещин по поверхности осадка.

Металлографические исследования поверхности и поперечного шлифа, проведенные в ходе экспериментальных исследований выявили два основных типа микроструктуры:

- 1 - полосатая беспористая структура на поперечном шлифе и отсутствие трещин на поверхности;
- 2 - пористая структура с трещинами по сечению и на поверхности, с широкими односторонними рисками-трещинами.

Третий тип микроструктуры не исследовался и не рассматривался как значимый, т.к. он характеризуется наличием крупных дендритов и шелушением покрытия. Подобные покрытия при эксплуатации сельскохозяйственной техники не применяются и считаются

ся браком. Как показали исследования, проводимые в ходе нанесения хромовых покрытий на детали типа тел вращения хромированием, при плотности тока до 220 А/дм^2 формируются структуры первого типа, но с увеличением плотности тока это условие становится все более нестабильно и, начиная с плотности тока 300 А/дм^2 , формируются структуры второго типа.

Увеличение температуры электролита при плотности тока 200 А/дм^2 и давлении инструмента $2,0 \text{ МПа}$ ведет к увеличению дефектности покрытия. Это объясняется тем, что увеличение температуры электролита ведет к уменьшению скорости осаждения хрома, уменьшению толщины элементарного слоя покрытия, осаждаемого между двумя последовательными ходами инструмента по одной геометрической точки поверхности. Вследствие вышесказанного увеличивается глубина пластической деформации элементарного слоя покрытия, что приводит к различным дефектам, вызванным переупрочнением покрытия, а именно их шелушению и вспучиванию. При уменьшении температуры электролита с 80° С до 60° С формируются осадки со структурой первого типа. Однако при температуре 50° С осаждаются покрытия со структурой второго типа, для которых характерны растягивающие остаточные напряжения.

Регулировкой давления инструмента удалось достичь следующих результатов. При давлении инструмента на восстанавливаемую поверхность $0,5 \text{ МПа}$ получаются осадки второго типа. Но при увеличении давления до $1,0 \text{ МПа}$ удалось получить переход осадков из второго типа в первый. При дальнейшем увеличении давления инструмента свыше $3,0 \text{ МПа}$ наблюдается шелушение покрытия, вызываемого его переупрочнением и избыточным внедрением частиц инструмента в наносимое покрытие.

Таким образом, технология ГКО позволяет снизить величину шероховатости получаемых гальванических покрытий, за счет механического контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Использование профилографов-профилометров для определения величины шероховатости герметичного хрома, полученного методом ГКО, позволяет делать не только качественное, но и количественное заключение о возможности эксплуатации восстановленных узлов и агрегатов прецизионных пар при высоких давлениях рабочей жидкости в агрессивных условиях окружающей среды.

Список литературы

- [1] Вячеславов П.М. Методы испытаний электролитических покрытий. Библиотечка гальванотехника.– Машиностроение, 1977. – 89 с.
- [2] Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – 134 с.
- [3] Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Сидоркин О.А., Нелысов С.В., Беленцов В.Г. Напряжения в композитных материалах, используемых при ремонте деталей машин. – М.: Труды ГОСНИТИ. – Т. 124 – Ч. 2 – 2016. – С. 52 – 57.
- [4] Адлер Ю.П., Маркова Е.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука. – 1976. – 280 с.

УДК 621.793.74: 624.078.6

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРНИРОВ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

INCREASE DURABILITY OF HINGES OF MACHINES USING PLASMA SPRAYING OF COMPOSITE MATERIALS

Жачкин Сергей Юрьевич¹, Трифонов Григорий Игоревич^{1,2},
Пеньков Никита Алексеевич²

¹ Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

Sergey Zhachkin¹, Gregory Trifonov^{1,2}, Nikita Penkov²

¹ Voronezh state technical University, Voronezh, Russia

² Military Educational Scientific Center Air Force «Air Force academy name of Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Voronezh, Russia

Аннотация

Наиболее распространенной причиной эксплуатационных отказов и поломок в большинстве случаев является износ и повреждение рабочих поверхностей деталей. В связи с этим, вопросы повышения надежности деталей сельскохозяйственных машин, в частности землеройных установок, с одновременным уменьшением расхода металла на их производство и повышение износостойкости приобретают все большую актуальность. В данной работе рассмотрено применение технологии плазменного напыления композитных материалов с целью повышения износостойкости рабочих органов землеройных машин.

Ключевые слова: плазменное напыление, шарнир, износостойкость, деталь, поверхность.

Abstract

The most common cause of operational failures and breakdowns in most cases is wear and damage to the working surfaces of parts. In this regard, the issues of improving the reliability of agricultural machinery parts, in particular earthmoving plants, while reducing the consumption of metal for their production and increasing wear resistance are becoming increasingly important. In this paper we consider the use of plasma deposition technology of composite materials to improve the wear resistance of the working bodies of earthmoving machines.

Key words: plasma spraying, hinge, wear resistance, part, surface.

Введение

Проблема трения и изнашивания в настоящее время является одной из наиболее важных при эксплуатации машин. Вместе с тем более 80% всех отказов машин связано с износом их деталей при трении. В России на ремонте изделий вследствие износа их рабочих поверхностей задействовано в несколько раз больше производственных мощностей, чем на их изготовление [1,2].

Одним из эффективных направлений решения проблемы износа поверхностей деталей является нанесение защитных износостойких покрытий газотермическими методами, в т.ч. плазменным напылением.

При плазменном напылении на первом месте стоит изучение явлений износа поверхности, так как в основе данного процесса лежат сложные физические и химические процессы, происходящие в поверхностном слое контактирующих тел.

В данной работе изучение приведенных явлений осуществлялось на детали-представителе – шарнире, который используется в машине бурильно-шнековой МБШ 303. Проанализированы эксплуатационные условия работы шарнира, а также видов нагрузок, приходящихся на его рабочую поверхность, определены основные виды износа, которому подвергается рабочая поверхность детали.

Цель работы

Целью данной работы является анализ шарниров равных угловых скоростей у землеройных машин, используемых в сельском хозяйстве. На основе проведенного анализа разработать кинематику плазменного напыления, учитывая сложность геометрии напыляемой детали. Также смоделировать уравнения для дальнейшего расчета скорости напыляемых частиц и их температуры в плазменной струе.

Кроме того, на основе проведенных исследований геометрии поверхностей разработать систему уравнений по описанию кинематики напыления основной детали землеройной машины – шнека.

Анализ и материалы исследования

В качестве детали-представителя для проведения исследований по усовершенствованию расчетных методов оценки износа был выбран шарнир равных угловых скоростей (ШРУС), который используется в машине бурильно-шнековой МБШ 303. Данная машина предназначена для бурения с промывкой и сухим способом, также может быть использована при строительстве для установки столбов и свай.

Шарнир равных угловых скоростей обеспечивает передачу крутящего момента при углах поворота до 90 градусов относительно оси.

Данное устройство относится к области машиностроения, авиастроения и станкостроения, а также используется в приводах машин и механизмов сельхозмашин для передачи вращающих моментов в условиях, когда оси соединяемых валов расположены со значительным угловым смещением, а круговые частоты ведущего и ведомого звеньев механизма должны совпадать [3].

Необходимость создания конструкции ШРУСа впервые возникла в автомобильной промышленности. При передаче крутящего момента на ведущие колёса, которые постоянно изменяют своё положение, возникали серьёзные потери мощности и другие отрицательные последствия:

- 1) Шарнирные механизмы быстро приходили в негодность.
- 2) Крутящий момент передавался неравномерно.
- 3) Сильная дополнительная вибрация.

С помощью ШРУСа крутящий момент на управляемые колёса передаётся без потерь мощности и других недостатков.

Наиболее распространённый сегодня шариковый ШРУС. Он состоит из шести шариков, внешнего и внутреннего колец с прорезями под шарики, которые соединяются с

приводным валом шлицевым соединением, и сепаратора, удерживающего шарики.

Из-за высоких удельных нагрузок данный тип шарнира требует специальной смазки и крайне чувствителен к загрязнению и попаданию воды. При больших углах поворота максимальный передаваемый шарниром допустимая нагрузка меньше, поэтому при работе шарнира рекомендуется избегать больших нагрузок.

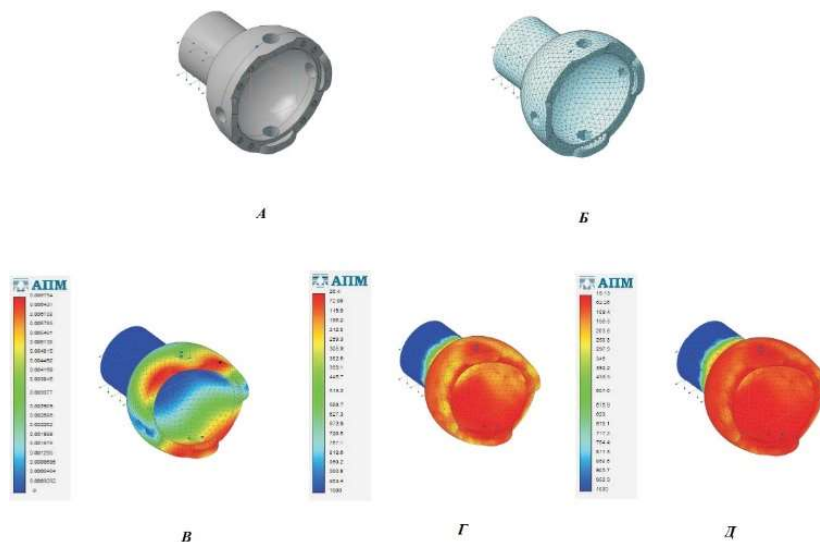
Шарниры равных угловых скоростей всегда герметизируются пыльник или иным способом, так как расположение шарнира способствует попаданию в него разного рода пыли и частиц, которые быстро выводят его из строя.

При анализе всех типов шарниров равных угловых скоростей были выявлены возможные причины их повреждений [3]:

- 1) Сильная вибрация и удары в общей системе агрегатов.
- 2) Чрезмерное напряжение.
- 3) Увеличения или уменьшения рабочей дистанции.
- 4) Преждевременный износ.
- 5) Неудовлетворительно выполненное удаление воздуха из шарнира.
- 6) Применения неподходящих смазок.
- 7) Использование бракованного металла или нарушение технологий при производстве устройства.

Исследования и полученные результаты

После проведения научно-аналитической работы и патентного поиска была разработана новая конструкция шарнира равных угловых скоростей. Поэтому в качестве исследуемой поверхности для дальнейшего проведения математического моделирования выступает внутренняя сферическая поверхность полумуфты новой конструкции шарнира равных угловых скоростей, которая представлена на рис. 1 (а).



а – модель полумуфты; б – конечно-элементная сетка; в – суммарное линейное перемещение; г – коэффициент запаса по прочности; д – коэффициент запаса по текучести

Рисунок 1. 3D- модель сферической полумуфты шарнира равных угловых скоростей В работе [4] смоделированы условия обеспечения заданной толщины и шага волни-

стости покрытия в виде системы уравнений, описывающих кинематические режимы напыления:

$$v = \sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + \rho^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$$

$$z = \frac{\varphi\beta}{\sqrt{1 + \left(\sin\varphi \frac{d\rho}{dz} + \rho \cos\varphi \frac{d\varphi}{dz}\right)^2}}, \quad (1)$$

$$\rho = \rho(\varphi, z)$$

где v – скорость перемещения распылителя относительно напыляемой поверхности (м/с); ρ, φ, z – цилиндрические координаты; β – шаг спирали траектории перемещения центра пятна напыления по поверхности.

Первое уравнение системы (1) определяет скорость перемещения плазматрона, второе – перемещение центра пятна напыления по напыляемой поверхности, а третье – уравнение напыляемой поверхности.

Для определения кинематических режимов напыления внутренней сферической поверхности детали необходимо: произвести математическое моделирование уравнения сферической поверхности, которая будет подвергаться напылению.

Кинематические режимы плазменного напыления, а именно скорость вращения полумуфты $\frac{d\varphi}{dt}$, продольная скорость перемещения плазматрона $\frac{dz}{dt}$, радиальная скорость перемещения плазматрона $\frac{d\rho}{dt}$ и контурная скорость перемещения плазматрона S_k , в рассматриваемом случае внутренней сферической поверхности после моделирования процесса напыления и математических преобразований примут вид:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{\sqrt{(\operatorname{tg}\psi z)^2 + \beta^2}},$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{ns_k}{\sqrt{(1 + \operatorname{tg}\psi^2)}}, \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{ns}{\sqrt{(1 + \operatorname{tg}\psi^2)}},$$

$$s_k = sn.$$

где ψ – угол между касательной и образующей тела вращения в текущей точке и осью; β – шаг спирали траектории перемещения пятна напыления по напыляемой поверхности; n – число оборотов главного привода; s – обратная подача.

При этом стоит учесть, что число оборотов главного привода определяется выражением [4]:

$$n = \frac{60v}{\sqrt{(2\pi kz)^2 + s / (1 + \operatorname{tg}\psi^2)}}. \quad (3)$$

Опираясь на первое уравнение системы (1), а также геометрию сложнопрофильных винтовых поверхностей деталей [5], было разработано уравнение скорости движения плазматрона для напыления шнека землеройной машины:

$$v_e = \sqrt{\left(\frac{\pi \left(\sqrt{D^2 (1 + \operatorname{tg} \varphi_1)} - D_1^2 (1 + \operatorname{tg} \varphi_1) \right)}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2}, \quad (4)$$

где D – внешний диаметр винтовой линии (мм); φ_1 – угол крутизны подъема; α – угол выреза.

Скорость напыляемых частиц является предметом экспериментального изучения. В связи с этим предлагается аналитический и математический подходы по определению скорости напыляемых частиц.

Скорость порошка определяется [6]:

$$W_p = W \sqrt{\frac{3\rho_p C_x}{2\rho d_p} x}, \quad (5)$$

где ρ – плотность воздуха при соответствующей температуре (кг/м^3); ρ_p – плотность порошка (кг/м^3); d_p – размер порошка (мм); x – расстояние от среза сопла (мм); C_x – коэффициент сопротивления.

Экспериментально установлено [7], что для частиц с неправильной, но округлой формой, без резких выступов коэффициент лобового сопротивления на стадии установившегося обтекания дозвуковым потоком определяется числом Рейнольдса.

Опираясь на экспериментальные работы [6,7] научным коллективом авторов была сформирована зависимость числа Рейнольдса и коэффициента сопротивления:

- 1) $\operatorname{Re} \leq 1$, то $C_x = \frac{24}{\operatorname{Re}}$;
- 2) $\operatorname{Re} = 1 \dots 1.99$, то $C_x = \frac{24}{\operatorname{Re}} \left(1 - \frac{3}{16} \operatorname{Re}\right)$;
- 3) $\operatorname{Re} = 2 \dots 30$, то $C_x = \frac{24,4}{\operatorname{Re}^{0,793}}$;
- 4) $\operatorname{Re} = 31 \dots 500$, то $C_x = \left(\frac{24}{\operatorname{Re}}\right) + \frac{4}{\operatorname{Re}^{0,33}}$;
- 5) $\operatorname{Re} = 501 \dots + \infty$, то $C_x = \left(\frac{24}{\operatorname{Re}}\right) + \frac{24,4}{\operatorname{Re}^{0,793}}$.

Температура напыляемых частиц находилась из уравнения теплообмена частиц порошка с газом. Проведя математическое моделирование процесса нагрева композитного порошка для плазменного напыления ПГ-СРЗ, было получено уравнение температуры напыляемых частиц:

$$T_p = T - e^{-\frac{6 Nu \lambda}{\rho_p d_p^2 C_p} \tau + const}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности (Вт/мК); C_p – теплоемкость порошка; τ – время движения частиц (сек). Стоит учитывать, что $\tau = \frac{2x}{W_p}$, а Nu – число Нуссельта при обтекании шара, при этом $Nu = 2 + 0.03 \operatorname{Pr}^{0.33} \operatorname{Re}^{0.51} + 0.35 \operatorname{Pr}^{0.35} \operatorname{Re}^{0.58}$ [8], где $\operatorname{Pr} = \frac{\nu C_p}{\lambda}$ (число Прандтля).

Выводы

Основываясь на уравнениях геометрической составляющей полумуфты и её габаритных размерах, были разработаны системы уравнений для поверхности напыления.

Опираясь на приведенные ранее зависимости кинематических режимов плазменного напыления, а также уравнения расчета скорости и температуры напыляемых частиц, были смоделированы системы уравнений, которые в перспективе позволят создать программный комплекс для управления процессом напыления сферических поверхностей деталей машин. Также смоделировано уравнение для расчета скорости движения плазмотрона относительно винтовой поверхности детали (шнека) для землеройной машины.

Список литературы

- [1] *Жачкин С.Ю.* Применение технологии плазменного напыления для повышения эксплуатационной надежности сельхозмашин / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, Г.И. Трифонов // Журнал «Наука в Центральной России ScienceinthecentralRussia» ФГБНУ ВНИИТИН. №4 (28). 2017. – С.131 – 136.
- [2] *Жачкин С.Ю.* Моделирование кинематики плазменного напыления на сложно-профильные поверхности / С.Ю. Жачкин, М.Н. Краснова, Н.А. Пеньков, Г.И. Трифонов // Труды ГОСНИТИ. – Т. 128. 2017. – С.133 – 139.
- [3] *Трифонов Г.И.* Шарниры равных угловых скоростей, их эксплуатация и износ / Г.И. Трифонов, С. Ю. Жачкин, А. В. Бакуменко // Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса. Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Вып. 19. 2016. – С 85 – 92.
- [4] *Пузряков А.Ф.* Теоретические основы технологии плазменного напыления // Учеб. Пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпози́тов». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Е. Баумана, 2008. – 360 с.
- [5] *Григорьев А.М.* Винтовые конвейеры // М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
- [6] *Кудинов В.В., Иванов В.М.* Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981. – 192 с.
- [7] *Барвинок В.А.* Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
- [8] *Кутателадзе С.С.* Основы теории теплообмена. Изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ КАЛИБРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ АВТОМОБИЛЕЙ

JUSTIFICATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE CUTTING TOOL FOR CALIBRATION OF OPENINGS WITH A POLYMERIC COVERING IN CASE DETAILS OF CARS

Киба Мария Романовна

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Marya Kiba

¹ Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье описан новый способ калибровки отверстий с полимерным покрытием при восстановлении корпусных деталей автомобилей полимерным материалом. Калибровку выполняют после полного отверждения полимерного покрытия, что исключает влияние усадки полимера на точностные характеристики восстановленного отверстия. Устройство для калибровки состоит из базирующей детали и калибра. По результатам теоретических исследований новый способ калибровки идентифицирован как строгание. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований усилия резания полимерных покрытий в зависимости от значений переднего угла режущего клина калибра-резца. В итоге выбраны оптимальные геометрические параметры калибра-резца: передний угол, задний угол и главный угол в плане, обеспечивающие высокое качество обработки полимерного покрытия.

Ключевые слова: *Корпусная деталь, отверстие, подшипник, полимер, покрытие, размер, калибровка, угол резания, резец.*

Abstract

In article the new way of calibration of openings with a polymeric covering at restoration of cars case details is described by polymeric material. Calibration is carried out after full hardening of a polymeric covering that excludes influence of shrinkage of polymer on precision characteristics of the restored opening. The device for calibration consists of the basing detail and caliber. By results of theoretical researches the new way of calibration is identified as planing. Results of the conducted pilot studies of effort of cutting of polymeric coverings depending on values of a forward corner of the cutting caliber cutter wedge are presented. As a result optimum geometrical parameters of caliber cutter are chosen: the forward angle, a back angle and the main angle in the plan providing high quality of processing of a polymeric covering.

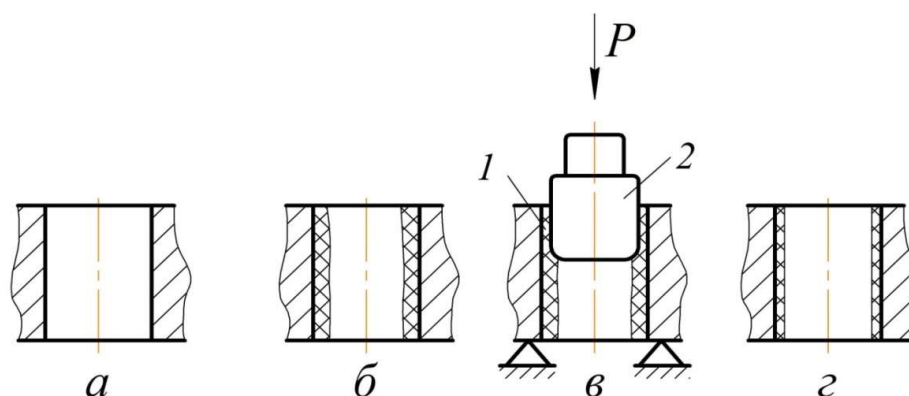
Key words: *Case detail, opening, bearing, polymer, covering, size, calibration, angle of cutting, cutter.*

Введение

Корпусные детали относятся к категории базисных и дорогих элементов конструкции автомобилей и тракторов, поэтому восстановление таких деталей значительно снижает стоимость ремонта техники [1...5]. В большинстве случаев выбраковку корпусных деталей осуществляют вследствие износа подшипниковых отверстий. Износ посадочных отверстий обусловлен фреттинг-коррозией [6]. Отверстия восстанавливают различными способами наплавки, электроконтактной приваркой стальной ленты, нанесением электролитических покрытий и др., однако эти способы требуют сложного оборудования, а поверхность отверстий после восстановления не обладает фреттингостойкостью. Технологии восстановления посадочных отверстий полимерами имеют такие достоинства как простота и низкая себестоимость технологии, а также они исключают возникновение фреттинг-коррозии и многократно увеличивают ресурс подшипниковых узлов [7...10].

После нанесения на изношенное отверстие полимерного покрытия, последнее калибруют под определенный размер.

Известен способ калибрования отверстий с полимерным покрытием, разработанный в ГОСНИТИ (рис. 1).



а – подготовленное отверстие; б – частично отвержденное покрытие из эпоксидного композита; в – калибрование; 1 – покрытие из эпоксидного композита; 2 – калибр; г – покрытие из эпоксидного композита после полного отверждения [11]

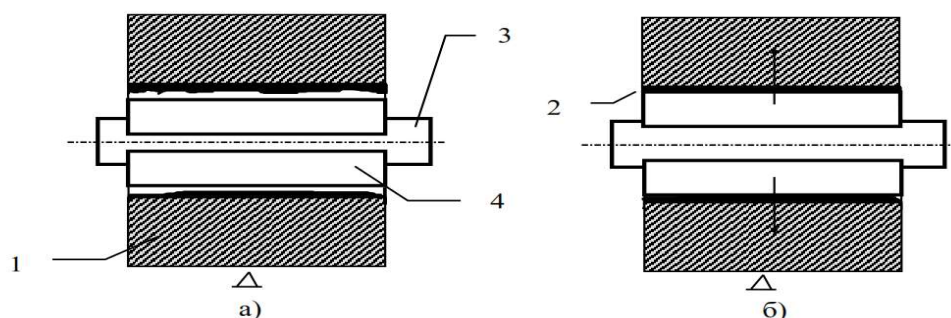
Рисунок 1. Способ формования полимерного покрытия в отверстии корпусной детали

При восстановлении выполняют операции: подготовка поверхности отверстия, приготовление эпоксидного состава, нанесение полимерного слоя толщиной 0,5 – 0,75 мм на поверхность отверстия, отверждение покрытия до пластичного состояния, формование покрытия в отверстии, выдержка до полного отверждения покрытия, контроль качества восстановления [11].

Котиным А. В. с сотрудниками разработан способ калибрования отверстий с полимерным покрытием (рис. 2.). Технология восстановления подшипниковых отверстий в корпусной детали включает операции: установка детали 1 на технологическую базу, зачистка и обезжиривание посадочных отверстий, нанесение полимерного покрытия, формование и отверждение покрытия 2. При формовании полимерного покрытия в отверстие устанавливают оправку 3, в которой кольца 4 предварительно сжаты. Далее

кольца раздвигают и происходит калибрование полимерного покрытия. По окончании отверждения покрытия кольца сжимают и оправку выводят из отверстия [12].

Описанные выше способы калибрования имеют общий недостаток – точностные характеристики отверстий с полимерным покрытием определяются усадкой отверждаемого полимера. Заданный размер отверстия получают формированием слоя композита, который должен находиться в пластичном состоянии. Степень полимеризации зависит от температуры отверждения. Этот параметр существенным образом влияет на качество формирования покрытия и его необходимо тщательно контролировать. Таким образом необходимо разработать способ калибрования, в котором степень полимеризации и усадка полимерного материала не будут влиять на качество и точностные характеристики отверстий с полимерным покрытием.



а) оправка с полукольцами в сжатом состоянии; б) калибрование разжимающимися полукольцами полимерного покрытия; 1 – корпусная деталь; 2 – полимерное покрытие; 3 – оправка; 4 – подвижные полукольца [12]

Рисунок 2. Способ формирования полимерного покрытия в отверстии корпусной детали

Цель исследований – разработать способ и оснастку для калибрования посадочных отверстий с полимерным покрытием при восстановлении корпусных деталей, которые исключают влияние усадки отверждаемого полимера на точностные характеристики восстановленных посадочных отверстий, провести экспериментальные исследования для определения оптимальных геометрических параметров режущего инструмента.

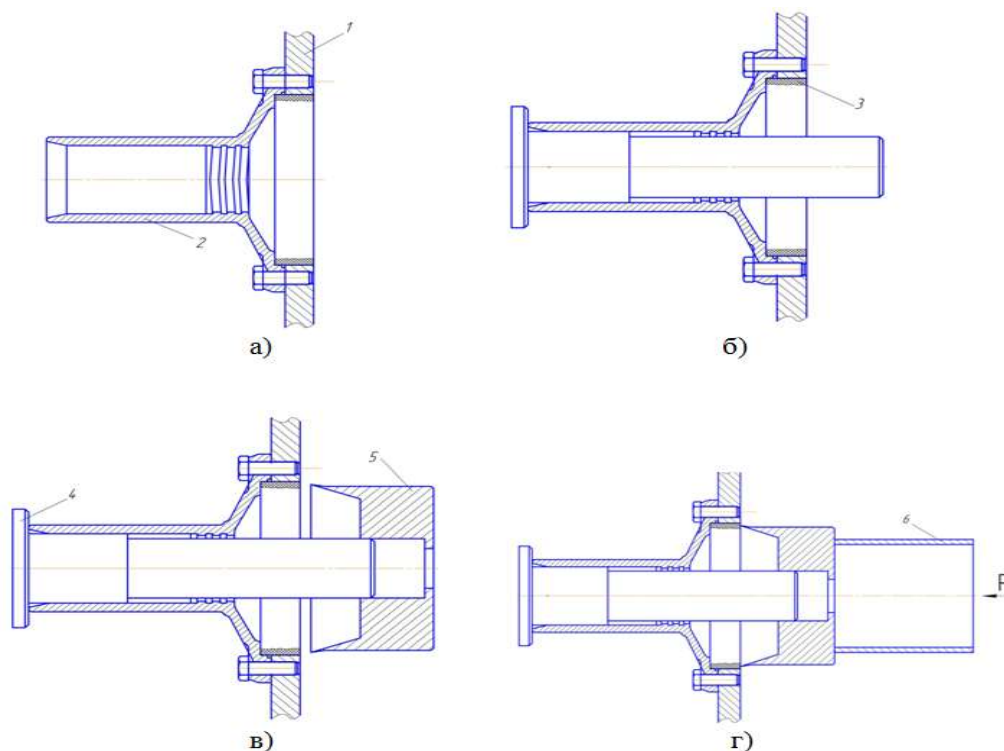
1. Результаты исследования

1.1. Способ калибрования посадочных отверстий с полимерным покрытием в корпусных деталях

Разработан оригинальный способ калибрования, который не имеет недостатков вышеописанных способов калибрования (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта №17-48-480268/18). Это достигается за счет того, что после полного отверждения покрытие подвергают механической обработке калибром.

Базирующая деталь выполнена как трехступенчатая ось цилиндрической формы. Первая ступень опорная с размером максимального диаметра. Следующая ступень имеет средний диаметр. Поверхность средней ступени служит для базирования по не изношенной поверхности отверстия сопрягаемой детали. Ступень наименьшего диаметра

выполняет функции хвостовика на который устанавливается калибр. В ходе калибровки последний перемещается по поверхности хвостовика и срезает излишки полимерного покрытия.



а – отверстия в корпусной детали и в крышке подшипника с нанесенным полимерным покрытием; б – установка базирующей детали в отверстие сопрягаемой детали; в – калибр на хвостовике базирующей детали; г - калибрование; 1 – корпусная деталь; 2 – крышка подшипника 3 – полимерное покрытие; 4 – базирующая деталь; 5 – калибр; 6 – монтажная труба

Рисунок 3. Последовательность калибрования отверстия с полимерным покрытием в корпусе коробки передач

Конструкция калибра включает режущую кромку и примыкающий к ней цилиндр. Наружная часть режущей кромки выполнена конической формы с оптимальным углом резания. Этот элемент представляет собой заднюю поверхность цилиндрического резца [13...16].

Внутренняя поверхность режущей кромки выполнена конической формы с оптимальным углом резания. Этот элемент представляет собой переднюю поверхность цилиндрического резца.

К режущей кромке примыкает цилиндр постоянного наружного диаметра. Цилиндр имеет три отверстия. Отверстием среднего диаметра калибр базируется и перемещается по хвостовику базирующей детали. Отверстие наименьшего диаметра служит для ограничения перемещения и упора в хвостовик базирующей детали. Оно выполнено сквозным и позволяет демонтировать калибр с хвостовика в случае их перекоса и заклинивания.

При большом объеме восстановления корпусных деталей, для увеличения производительности труда при калибровании, следует использовать прессовое оборудование [17].

В случае, когда износ имеет место по всей поверхности отверстия, следует применять технологическую базу присоединяемой детали (рис. 3).

В виду того, что между валом и сопрягаемым отверстием крышки подшипника имеется зазор, поверхность последней не изнашивается [18]. Крышку подшипника крепят посредством болтов в резьбовые отверстия корпусной детали. После нанесения полимерного покрытия на изношенную поверхность посадочных отверстий в крышке подшипника и корпусе покрытие отверждают при повышенной температуре (рис. 3, а). Далее базирующую деталь устанавливают в отверстие крышки подшипника, после чего корпусную деталь поворачивают так, чтобы базирующая деталь приняла вертикальное положение. В этом случае ступень среднего диаметра базирующей детали будет базироваться по поверхности не изношенного отверстия (рис. 3, б.). После этого, с противоположной стороны отверстия, устанавливают калибр на хвостовик базирующей детали (рис. 3, в). Затем на калибр торцом опирают монтажную трубу и ударами молотка по ее противоположному торцу перемещают калибр вдоль отверстия с полимерным покрытием до тех пор, пока торец хвостовика не упрется в торцевую стенку калибра. Перемещаясь, калибр срезает режущей кромкой излишки полимерного покрытия, и тем самым обеспечивает заданный размер восстановленного отверстия (рис. 3, г).

1.2. Идентификация способа калибрования отверстий с полимерным покрытием и обоснование геометрических параметров калибра

Полимерное покрытие при калибровании имеет прямолинейные образующие. Калибр при резании перемещается параллельно обрабатываемой поверхности, заглубляясь при этом в покрытие на заданное значение. Это типичные признаки строгания. Поэтому для обоснования геометрических параметров режущей кромки калибра воспользовались теорией резания полимеров и рекомендациями технической литературы по строгальным резцам.

Основу нанокompозита составляет эластомер Ф-40. При оптимальных геометрических параметрах режущей кромки калибра будет получена непрерывная сливная стружка и соответственно высокое качество полимерного покрытия после обработки. Калибрование допускается вручную или с использованием гидравлического пресса. Так как скорость резания при калибровании не значительна (не более 0,01 м/с), а излишки полимерного слоя удаляются за один проход, увеличением температуры в зоне резания можно пренебречь.

Для любого обрабатываемого материала существует критический передний угол резца, при котором радиальная составляющая силы резания равна нулю. Обработка материала с таким углом обеспечивает наиболее высокую точность размеров отверстия и наименьшую шероховатость ее поверхности. Поэтому для достижения вышеупомянутых показателей следует экспериментально установить критический передний угол режущей кромки калибра обработки.

В ходе строгания металла когда резец врезается в обрабатываемый материал возникают удар и деформация резца. По этой причине не используют хрупкие инструментальные материалы. Ударная нагрузка, при внедрении режущей кромки в упругий эластомер, не существенна и ею можно пренебречь. Так как режущая кромка плавно переходит в цилиндрическую форму корпуса калибра, деформация резца исключена.

Чем больше передний угол γ , тем меньше сила резания, поэтому для исследований выбрали значения переднего угла режущей кромки $\gamma = 50; 60$ и 70° . Максимальное значение переднего угла в 70° ограничено снижением прочности режущей кромки. В виду того, что калибрование полимерного покрытия проводится за один проход, выбрали геометрические параметры чистового строгального резца. Для чистовых строгальных широких резцов значение главного угла в плане составляет $\varphi = 0$. Задний угол α уменьшает воздействие упругого восстановления материала после прохождения резца.

Задний угол α строгальных резцов составляет $6... 14^\circ$. Для режущей кромки калибра выбрали значение заднего угла $\alpha = 10^\circ$. В результате для исследований выбрали следующие геометрические параметры режущей кромки калибра: передний угол $\gamma = 50; 60$ и 70° , задний угол $\alpha = 10^\circ$, главный угол в плане $\varphi = 0$.

Экспериментальные исследования показали, что при увеличении переднего угла режущей кромки усилие резания F уменьшается по линейной зависимости (рис. 4). Максимальное усилие резания $F = 1,117$ кН показал резец с передним углом $\gamma = 50^\circ$. Усилие резания снизилось до $F = 0,871$ кН, т.е. уменьшилось в 1,28 раза, при обработке резцом с передним углом $\gamma = 60^\circ$. Наименьшее значение усилия резания $F = 0,375$ кН получено при калибровании резцом с передним углом $\gamma = 70^\circ$. В сравнении с резцом с передним углом $\gamma = 60^\circ$ усилие резания уменьшилось в 2,32 раза, с углом $\gamma = 50^\circ$ – в 2,98 раза.

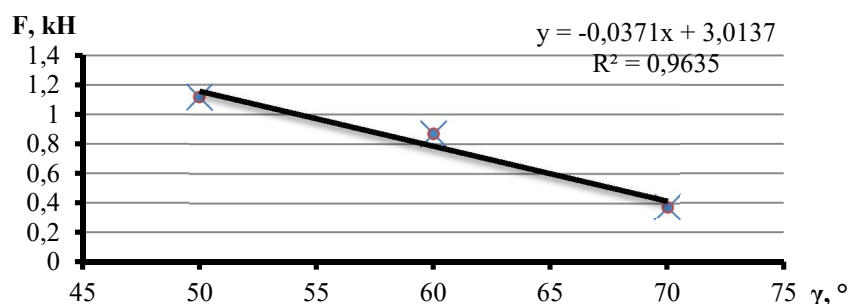


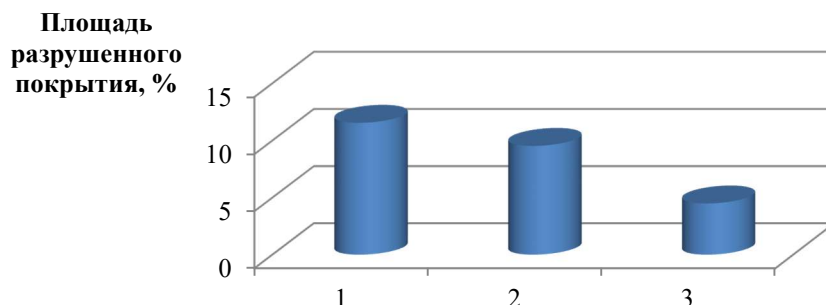
Рисунок 4. Зависимость усилия резания F нанокompозита эластомера Ф-40 от переднего угла калибра-резца γ

После калибрования резцом $\gamma = 50^\circ$ площадь разрушенного покрытия нанокompозита эластомера Ф-40 составила 11,55 % (рис. 5). При калибровании покрытия нанокompозита эластомера Ф-40 резцом с углом $\gamma = 60^\circ$ этот показатель снизился в 1,21 раза и составил 9,53 %. Наименьшее повреждение покрытия в 4,49 % имеет место при калибровании резцом, имеющим передний угол $\gamma = 70^\circ$. В сравнении с резцами, имеющими передние углы резания $\gamma = 50$ и 60° повреждение снизилось в 2,57 и 2,12 раза соответственно.

После калибрования резцом с углом $\gamma = 50^\circ$ отверстие с покрытием нанокompозита эластомера Ф-40 показало отклонение от круглости в 15 мкм. При калибровании резцом с углом $\gamma = 60^\circ$ этот показатель снизился в 1,875 раза и составил 8 мкм. Отклонение от круглости отверстия с с покрытием нанокompозита эластомера Ф-40 после ка-

либрования резцом с углом $\gamma = 70^\circ$ уменьшилось до 5 мкм, т.е. в сравнении с углами $\gamma = 50$ и 60° – в 3 и 1,6 раза.

Таким образом экспериментально определены оптимальные геометрические параметры режущей кромки калибра: передний угол $\gamma = 70^\circ$, задний угол $\alpha = 10^\circ$, которые обеспечивают высокое качество и точность покрытия: площадь разрушенного покрытия нанокompозита эластомера Ф-40 после калибрования составляет 4,32 % а отклонение от круглости не превышает 5 мкм.



1- передний угол $\gamma = 50^\circ$; 2- передний угол $\gamma = 60^\circ$; 3- передний угол $\gamma = 70^\circ$

Рисунок 5. Площадь разрушенного покрытия нанокompозита эластомера Ф-40 после калибрования

По результатам исследований разработана технология восстановления посадочных подшипниковых отверстий в корпусных деталях автомобилей нанокompозитом эластомера Ф-40. Технология восстановления содержит следующие операции: очистка посадочных отверстий; измерение посадочных отверстий для определения износа; обезжиривание посадочных отверстий; нанесение раствора нанокompозита эластомера Ф-40 на посадочные отверстия в корпусной детали; термическая обработка нанесенных полимерных покрытий; калибрование покрытия нанокompозита эластомера Ф-40 под заданный размер и форму; контроль качества полимерных покрытий в корпусной детали.

Список литературы

- [1] Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования //Строительные и дорожные машины. –2014.– №10.–с.16-21.
- [2] Кононенко А.С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис. докт. техн. наук. – М., 2012, – 405 с.
- [3] Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий. //Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – с. 130 – 134.
- [4] Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием

- наноматериалов. // Международный технико-экономический журнал. –2015. –№ 1–с89-94
- [5] *Ли Р.И.* Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2017. – 224 с.
- [6] *Курчаткин В.В.* Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис. докт. техн. наук. – М.,1989,–407с.
- [7] *Ли Р.И.* Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники – Липецк: ЛГТУ, 2014. – 379 с.
- [8] *Ли Р.И., Киба М.Р.* Технология производства металлополимерных подшипников качения. // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – №1. – с. 29 – 33.
- [9] *Ли Р.И., Мироненко А.В.* Восстановление корпусных деталей автомобильной техники полимер-полимерной композицией. // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – №4(55). – с. 9 – 15.
- [10] *Ли Р.И., Псарев Д.Н., Мироненко А.В., Киба М.Р.* Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин. // Клеи. Герметики, Технологии. – 2017. – № 5. – с. 34 – 37.
- [11] *Кричевский М.Е.* Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 143 с.
- [12] *Котин А.В.* Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применение не жестких компенсаторов износа: дис. докт. техн. наук. –Саранск, 1998. –358с.
- [13] *Li R.I., Kirsanov F.A., Kiba M.R.* Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts. // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 3. – pp. 312 – 316.
- [14] *Штучный Б. П.* Механическая обработка пластмасс: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
- [15] *Яцерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И.* Основы резания материалов и режущий инструмент. – Мн.: Выш. Школа, 1981. – 560 с.
- [16] *Попов С.А.* Заточка режущего инструмента: Учебное пособие. – М.: Высш. школа, 1970. – 320 с.
- [17] *Победин, А.В., Полянчиков Ю.Н., Косов О.Д., Тескер Е.И.* Технология автомобиле – и тракторостроения. – М.: Академия, 2009. – 352 с.
- [18] *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов. –М.: Машиностроение,1975. – 344 с.

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПРИ
ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF SPRAYING COATINGS WITH COLD GAS DY-
NAMIC METHOD OF RESTORING PARTS AUTOTRACTOR TECHNICS**

Курсанов Филипп Александрович

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Filipp Kirsanov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье проанализированы основные причины выбраковки корпусных деталей автотракторной техники, современные газотермические способы восстановления посадочных отверстий и перспективы применения метода холодного газодинамического напыления порошков.

Ключевые слова: *восстановление, напыление, посадочное отверстие, покрытие.*

Abstract

The article analyzes the main reasons for the culling of hull parts of automotive equipment, modern gas-thermal methods for restoring the holes and the prospects for using the method of cold gas-dynamic spraying of powders.

Key words: *restoring, spraying, landing hole, coating.*

Центральной задачей в современном развитии автотракторной техники является повышение надежности узлов и деталей. Условия работы поверхности деталей становятся все более жесткими за счет повышения скорости действия машин и механизмов, увеличения их производительности и размеров. В связи с этим возникает необходимость применения специальных мер, повышающих коррозионную стойкость, износостойкость, жаропрочность, и других важных свойств поверхности материалов. Эта задача может быть успешно решена применением наплавки и напыления как способов поверхностного упрочнения материалов.

Наиболее дорогостоящими базисными деталями в конструкции автотракторной техники являются корпусные детали. Восстановление таких деталей позволяет существенно снизить затраты на ремонт техники, сократить ее простои и повысить коэффициент технического использования.

Ресурс корпусных деталей автотракторной техники во многом определяется состоянием посадочных отверстий под опоры. Одной из основных причин отказа подшипникового узла является фреттинг-коррозия, возникающая под действием знакопеременных нагрузок и микроперемещений в месте контакта наружного кольца подшипника в корпусной детали. Износ посадочного места вызывает вибрации, перекосы валов, что приводит к снижению ресурса не только сопрягаемых деталей, но и многих других контактных поверхностей деталей узла, таких как шлицы и зубчатые колеса [1...8].

Большой научный и практический интерес к методам нанесения покрытий, модификации поверхности и порошкового напыления – химических, электрохимических (гальванических), термохимических (цементация, азотирование, цианирование), физических (лазерная и электроннолучевая порошковая наплавка), газопламенный, плазменный, детоционный, обусловлен их широкими возможностями как по виду напыляемых веществ, так и возможности обработки деталей автотракторной техники различного типоразмера и геометрии.

Все газотермические способы напыления являются высокотемпературными, имеющими температуру истекающей струи порядка несколько тысяч градусов, что накладывает ограничения на области применения данных способов. При движении напыляемого порошка в высокотемпературной струе происходят значительные изменения его свойств (окисление, фазовые переходы, разложения), что в ряде случаев является причиной невозможности нанесения покрытия с определенными, наперед заданными свойствами [2 - 4].

На данный момент перспективным является способ холодного газодинамического напыления (ХГН) покрытий. Сравнение основных параметров двухфазного потока, при которых реализуется метод ХГН, с параметрами, присущими традиционным методам напыления, показывает, что они существенно различаются.

Отсутствие высоких температур, фазовых превращений, образования новых соединений, окисления материала характерных для известных способов напыления, позволяет сделать вывод, что в данном случае реализуется холодное напыление, т.е. частицы пластически деформируемых металлов закрепляются при температурах существенно ниже температуры их плавления. Что позволяет существенно расширить возможности способов нанесения покрытий порошковыми материалами и обеспечивает ряд важных преимуществ метода холодного газодинамического напыления перед известными газотермическими способами. Характерной особенностью для таких покрытий является низкая пористость, что связано с сильной деформацией частиц в процессе нанесения покрытия [5].

Основные технологические требования для процесса осаждения нерасплавленных металлических частиц методом холодного газодинамического напыления следующие:

- температура ускоряющего потока газа должна быть ниже температуры плавления материала частиц;
- размер частиц должен находиться в пределах 1...50 мкм;
- скорость частиц должна быть в диапазоне 300...1200 м/с в зависимости от материала и размера частиц.

Основными технологическими параметрами ХГН, влияющими на свойства и структуру покрытия, являются расстояние от сопла до напыляемой поверхности, температура потока воздуха, расход порошка, скорость перемещения сопла относительно поверхности образца.

В соответствии с физическими и теплофизическими закономерностями формирования покрытий при ХГН можно выделить основные технологические зависимости, влияющие на процесс напыления:

- увеличение температуры потока воздуха приводит к росту скорости частиц, увеличивая степень их деформации;

- увеличение скорости перемещения сопла относительно поверхности не влияет на энергию частиц, но в то же время уменьшает время воздействия теплового потока на металл покрытия;

- увеличение расстояния до напыляемой поверхности приводит к снижению скорости частиц, уменьшая при этом влияние нагретого воздуха на свойства покрытия.

На процесс осаждения металлических частиц газодинамическим способом значительное влияние оказывает величина угла между вектором скорости частиц и плоскостью преграды. Причем, большие значения импульса частиц способствуют их закреплению при осаждении под углами, близкими к нормали к поверхности, и препятствуют этому при значительном отклонении от нормали. При практическом применении метода газодинамического напыления в разных режимах возможна реализация зависимостей различного вида, но всегда отклонение оси потока от нормали к поверхности преграды более чем на 30-40° приводит к значительному снижению эффективности осаждения частиц [5].

Рассмотрим, что происходит при ударе частицы о преграду под углом. Процесс деформации и закрепления частицы, связанный с составляющей скорости, перпендикулярной к поверхности, способствует увеличению площади контакта и прочности сцепления, а процесс деформации, связанный с тангенциальной составляющей скорости, направлен на смещение частицы относительно зоны контакта.

При этом снижение прочности кристаллической решетки вследствие выделения теплоты в области, примыкающей к зоне контакта, может привести к сдвиговой деформации вдоль поверхности участка с пониженной прочностью. В зависимости от соотношения нормальной и тангенциальной составляющих скорости, прочности материала и ее температурной зависимости возможны разные результаты взаимодействия.

Если составляющая вектора скорости частицы, перпендикулярная к поверхности преграды, усиливает взаимодействие, способствуя увеличению степени деформации частицы и преграды, то тангенциальная составляющая скорости, направленная параллельно поверхности преграды, вызывает появление в зоне контакта сдвиговых напряжений и деформаций, приводящие к отрыву или разрыву частицы. Соотношение этих составляющих скорости влияет на закрепление частицы на преграде. Поскольку изменение угла между вектором скорости частиц и нормалью к поверхности может приводить к изменениям эффективности их осаждения, то представляет практический интерес изучение этой зависимости [5].

Процесс взаимодействия частиц с восстанавливаемой деталью может быть условно разделен на три стадии. Первая стадия - это разгон и разогрев частиц. Вторая – адгезионная стадия, непосредственное взаимодействие частиц с восстанавливаемой деталью. Третья - когезионная стадия, наращивание покрытия до необходимой толщины и закрепление частиц на поверхности сформированной предыдущими частицами.

Последовательные удары частиц по закрепившимся на поверхности частицам металла дополнительно деформируют их, уплотняя тем самым покрытие, уменьшая его пористость, увеличивая зоны контакта соседних частиц. Анализ процесса формирования покрытий и их структуры показывает, что можно выделить несколько основных механизмов, ответственных за сцепление частиц с подложкой и друг с другом.

Порошки, применяемые при ХГН могут отличаться по форме и методу изготовления, а также зависят от фирмы-производителя. Следует отметить, что от свойств по-

рошка и от свойств напыляемой поверхности, зависит когезия и адгезия покрытия. Одной из важных характеристик является влажность, связанная с сыпучестью порошка. Поэтому необходима операция сушки, улучшающая сыпучесть порошка, снижая тем самым количество связанной и адсорбированной влаги, органических загрязнений. Для сушки металлических порошков в сушильных шкафах температура должна составлять 120-150°C, а время обработки 2-5 ч.

Для получения высококачественного покрытия необходимо проводить предварительную подготовку поверхности восстанавливаемой детали к напылению. Наибольшее распространение на производстве получила пескоструйная обработка. При этом в качестве абразивного материала используются песок, корунд, карборунд. Предварительная пескоструйная подготовка поверхности увеличивает шероховатость, которая препятствует развитию касательных напряжений на границе покрытие - восстанавливаемая деталь [5].

Значительное влияние оказывают вспомогательные приспособления для получения качественного равномерного покрытия на поверхности восстанавливаемой детали. В практике известны следующие схемы восстановления деталей автотракторной техники при ХГН: неподвижное сопло-движущаяся деталь, неподвижная деталь-движущееся сопло и смешанный, когда по одной или нескольким координатным осям движется восстанавливаемая деталь, а по остальным - сопло.

На данный момент существует проблема остаточных напряжений сжатия или растяжения при восстановлении деталей методом ХГН, возникающая при получении относительно толстых покрытий (от 500-1000 мкм и выше), это объясняется тем, что при ударе сжимаются в направлении перпендикулярно поверхности и одновременно растягиваются вдоль поверхности. Величина и знак данных напряжений зависят от толщины покрытия, а также от материалов покрытия и подложки.

Для регулирования остаточных напряжений и адгезии полученных покрытий существуют следующие технологические приемы: согласование температурных коэффициентов линейного расширения; изменением дистанции напыления, скорости перемещения сопла и восстанавливаемой детали относительно друг друга, отклонением газовой струи поперечным потоком газа, применением специальной конструкции, где потоки частиц и газа разделяются уже в сопле; введение пластичных материалов в напыляемый материал; использование подслоев; армирование покрытия волокнами или проволоками [1-8].

Одним из важных элементов технологии восстановления деталей автотракторной техники методом ХГН является контроль качества полученных покрытий. Все основные методы контроля подразделяются на два вида неразрушающие (контроль внешнего вида, измерение шероховатости и толщины, полученных покрытий, определение износоустойчивости, пористости и некоторые способы оценки прочности сцепления) и разрушающие.

Номенклатура и регулярность контролируемых показателей устанавливаются в технической документации на восстанавливаемую деталь.

Список литературы

- [1] *Кирсанов Ф.А.* Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис. канд. техн. наук / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015. – 181 с.
- [2] *Ли Р. И.* Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники. - Липецк, ЛГТУ, 2014. – 379 с.
- [3] *Хасуи А. , Моригаки О.* Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
- [4] *Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П.* Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. - Мн.: УП «Технопринт», 2000. – 268 с.
- [5] *Фомин В.М., Алхимов А.П., Клинков С.В.* Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. – М: Физматлит, 2010. – 540с.
- [6] *R. I. Li, F. A. Kirsanov, M. R. Kiba.* Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts. . ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 3, pp. 312-316.
- [7] *Кирсанов Ф.А., Анюхин В.В.* Способы восстановления корпусных деталей автотракторной техники // Тенденции развития современной науки: сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: В 2-х ч. Ч.2. –Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 708с. – с. 479 - 481.
- [8] *Кирсанов Ф.А., Ли Р.И.* Технологические аспекты повышения эффективности восстановления корпусных деталей автотракторной техники эластомерами // Труды ГОСНИТИ. - М.: Изд-во ГОСНИТИ, 2014. - Т. 114. – С. 100-103.

УДК 621.822.6.004.67: 678.344.329

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

INFLUENCE OF CARBON NANOTUBES ON STRUCTURE AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS

Кононенко Александр Сергеевич¹, Псарев Дмитрий Николаевич²,
Рожнов Андрей Борисович²

¹ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

² *Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия*

Alexander Kononenko¹, Dmitriy Psarev², Andrey Rozhnov²
¹ *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*
² *Michurinsk state agrarian university, Michurinsk, Russia*

Аннотация

В статье представлены преимущества применения углеродных нанотрубок в качестве наполнителя полимерных композиционных материалов (ПКМ). Рассмотрены условия формирования ПКМ с требуемой структурой и свойствами. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств полимерной композиции с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя. Представлены результаты исследования теплопроводности исследуемой композиции.

Ключевые слова: полимер, наполнитель, нанокомпозит, наночастица, теплопроводность, углеродные нанотрубки.

Abstract

In this article are shown an advantages of application of carbon nanotubes in quality of filler of the polymeric composite materials (PCM). Conditions of PCM formation with the required structure and properties are considered. The technique and results of pilot studies of physicomechanical properties of polymeric composition with carbon nanotubes as filler are given at the article. Results of a research of heat conductivity of the studied composition are presented.

Key words: beam, beam, wheel, track, bracket, front axle, tension, strength, margin of safety, yield strength, force, tractor.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-48-680702-р_a.

В современной промышленности, науке и технике значительную роль играют полимерные материалы. Это обусловлено их высокими потребительскими свойствами, такими как жесткость, прочность, ударная вязкость, электро- и теплопроводность. Первоначально полимерные материалы применялись как элементы декоративной отделки и неотчетственные малонагруженные конструкционные детали. В последние годы

существенно изменилась функция полимерных материалов во всех отраслях. Полимеры стали применять для изготовления конструктивно сложных деталей машин и оборудования. В то же время увеличилось производство корпусных деталей из полимерных материалов средних и крупных размеров, несущих значительные нагрузки.

Помимо положительных характеристик полимерные материалы обладают двумя существенными недостатками: низкая теплостойкость и низкая (по сравнению с марочными сталями) прочность. Создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) путем введения в состав полимера мелко- и нанодисперсных наполнителей, а также растворов полимеров в «жесткие» полимеры (создание полимер-полимерных композиций – ППК) позволяет устранить указанные выше недостатки и значительно улучшить потребительские свойства ПКМ, такие как статическая прочность, теплопроводность и устойчивость к циклическому нагружению [1].

В ходе исследований была разработана полимерная композиция, состоящая из анаэробного герметика АН-111 и углеродных нанотрубок «Таунит-М» (УНТ). Состав данной нанокomпозиции: УНТ – 4,5 масс.ч.; анаэробный герметик АН-111 – 100 масс.ч. [2].

Прочность клеевых соединений ненаполненного герметика и ПКМ на его основе оценивали по результатам исследований, которые проводились на образцах, представляющих собой клеевые соединения внутренних колец подшипников 205 с валами. Отверждение соединений проводили в течение 24 ч при температуре 20°C, при этом толщина клеевого соединения составляла 0,2 мм. Прочность соединений при аксиальном сдвиге составила 46,5 МПа, что в 1,98 раза (рис.1) превышает прочность соединений с ненаполненным полимером (23,5 МПа).

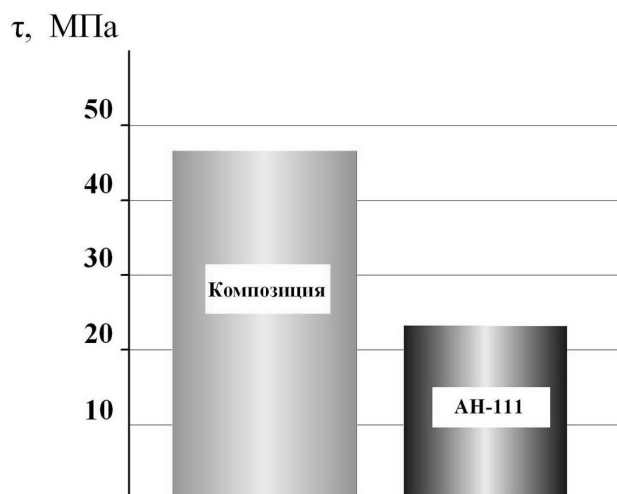


Рисунок 1. Прочность соединений с герметиком АН-111 и нанокomпозицией на его основе при аксиальном сдвиге

Исследования также показали, что у нанокomпозиций максимальная деформация составляет 19,8 %, что в 1,44 раза превышает аналогичный показатель для соединений с ненаполненным полимером (13,8 %). Удельная работа деформации у нанокomпозиции при этом увеличилась в 2,71 раза с 187,6 до 509,1 МДж/м³ (рис.2) [3...5].

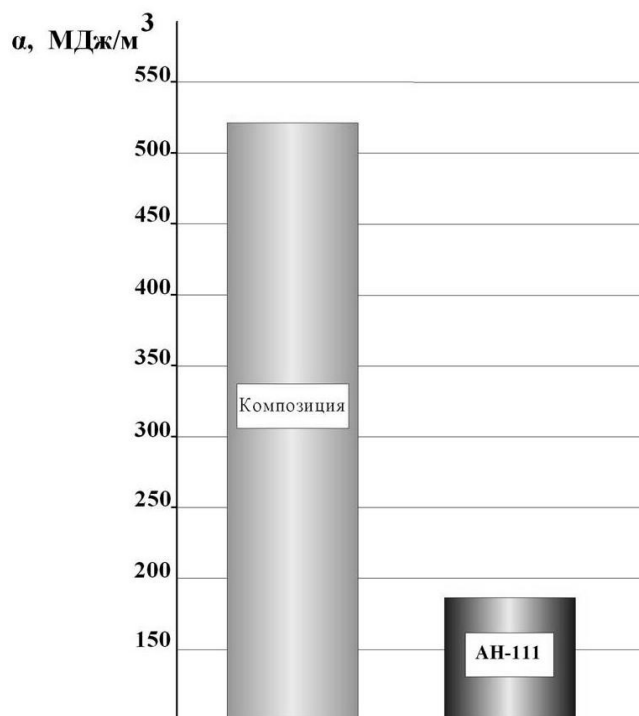


Рисунок 2. Удельная работа разрушения соединений с герметиком АН-111 и нанокomпозицией на его основе

Одним из важных параметров, характеризующим пригодность использования ПКМ для фиксации деталей в высоконагруженных узлах, является теплопроводность. Чем выше теплопроводность ПКМ, тем выше интенсивность теплоотвода от нагруженного узла, что позволяет избежать его перегрева и снизить температуру эксплуатации деталей.

Теплопроводность полимерного слоя (ПКМ с УНТ) определяли по обобщенному уравнению Нильсена:

$$K_{нк} = K_n \left(\frac{1 + AB}{1 - B\psi V_f} \right),$$

$$A = k_E - 1, \quad B = \frac{K_{nan} K_n - 1}{K_{nan} K_n + A}, \quad \psi = 1 + \left(\frac{1 - P_f}{P_f^2} \right) V_f, \quad (1)$$

где $K_{нк}$, K_n , K_{nan} – коэффициенты теплопроводности полимерной композиции, полимера (матрицы) и наполнителя соответственно; A , B и ψ – коэффициенты; k_E – коэффициент Эйнштейна, зависящий от формы и ориентации частиц наполнителя; V_f – объемная доля наполнителя; P_f – максимальная объемная доля частиц наполнителя при заданном типе упаковки [6].

Из формулы (1) следует, что теплопроводность ПКМ, наполненных углеродными нанотрубками, зависит от размеров и формы частиц наполнителя, плотности их упаковки, распределения их по размерам и концентрации (объемной доли).

Теплопроводность анаэробного герметика АН-111 и нанокomпозиции на его основе исследовали на установке, которая состоит из электронагревателя, передающего тепло клеевому соединению. Первоначально соединение находилось в состоянии теплового равновесия. С целью снижения погрешности измерений и упрощения эксперимента

подшипник разобрали, оставив только внутренне кольцо, соединенное с валом. Электронагреватель передавал тепло валу, через который осуществлялся постоянный тепловой поток клеевому шву и далее кольцу подшипника. Измерение температуры вала и кольца подшипника осуществляли инфракрасным пирометром Fluke-62.

Коэффициент теплопроводности материала рассчитывали по формуле

$$\lambda = \frac{q \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi l (t_{w1} - t_{w2})}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности испытуемого материала, Вт/(м · К); q – удельная мощность, Вт/м; l – длина вала, м; d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры клевого шва, м; t_{w1} , t_{w2} – средние температуры внутренней и наружной поверхности клевого шва, °С.

Результаты исследований приведены на рисунке 3. Коэффициент теплопроводности анаэробного герметика АН-111 составляет $\lambda_{\text{н}} = 0,84 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. При введении наполнителя коэффициент теплопроводности композиции на основе герметика АН-111 увеличился до $\lambda_{\text{к}} = 12,46 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, что в 14,9 раза превышает коэффициент теплопроводности ненаполненного состава АН-111.

Для оценки пригодности обобщенного уравнения Нильсена проведен теоретический расчет коэффициента теплопроводности композиции на основе герметика АН-111, который составил $\lambda_{\text{кр}} = 12,13 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Расхождение с экспериментальным значением составило 2,6 %, что свидетельствует о высокой сходимости расчетных значений с экспериментальными и пригодности использования обобщенного уравнения Нильсена при расчетах коэффициента теплопроводности композиций на основе анаэробных герметиков, наполненных углеродными нанотрубками.

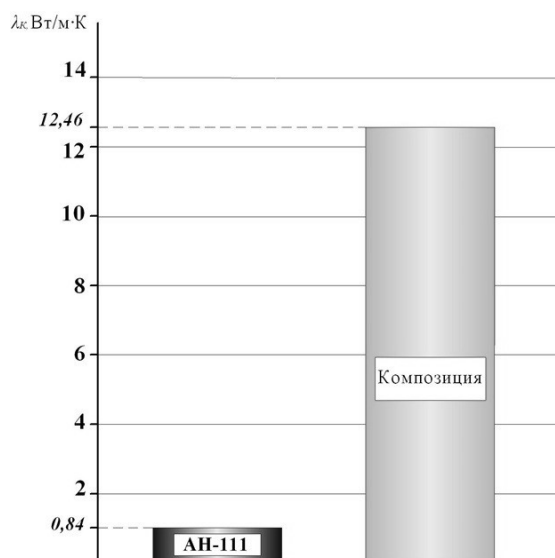


Рисунок 3. Теплопроводность анаэробного герметика АН-111 и нанокomпозиции на его основе

Таким образом, разработанная нанокomпозиция имеет более высокие значения прочности, удельной работы разрушения и теплопроводности, чем ненаполненный анаэробный герметик АН-111. Это позволит использовать данную композицию в нагруженных узлах, исключить их перегрев и снизить температурные деформации деталей.

Список литературы

- [1] *Бочаров А. В.* Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Бочаров А. В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.
- [2] Композиция для склеивания металлических изделий [Текст]: Патент на изобретение №2526991 РФ Заявл. 05.02.2013 / Ли Р.И., Бутин А.В., Рожнов А.Б., Сафонов В.Н. // Оpubл. 27.08.2014. – Бюл. №24
- [3] *Рожнов А. Б.* Перспективный полимерный композиционный наноматериал для фиксации деталей подшипникового узла в трансмиссии автотракторной техники [Текст] / Рожнов А.Б., Ли Р.И. // Сборник научных трудов по материалам ежегодных конференций: Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Том 3, выпуск 1 (4).
- [4] *Рожнов А.Б.* Исследование деформационно-прочностных свойств полимерной нанокomпозиции на основе анаэробного герметика АН-111 [Текст] / Рожнов А.Б., Ли Р.И., Хатунцев В.В. // Вестник МичГАУ. – 2014. – № 6.
- [5] *Кононенко А.С.* Адгезионная прочность составов холодного отверждения и нанокomпозиций на их основе [Текст] / А.С. Кононенко, К.Г. Дмитраков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 11. С. 10–14.
- [6] *Бочаров А. В.* Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Бочаров А. В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.

УДК 621.892 (075)

**МОТОРНЫЕ МАСЛА - НЕОТЪЕМЛЕМАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**MOTOR OIL IS AN INTEGRAL PART OF THE OPERATION OF
AUTOMOTIVE VEHICLES**

Константинова Ирина Станиславовна¹, Тарабрина Татьяна Андреевна²

¹ Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

² Липецкий колледж транспорта и дорожного хозяйства, Липецк, Россия

Irina Konstantinova¹, Tatiana Tarabrina²

¹ Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

² Lipetsk College of Transport and Road Facilities

Аннотация

В данной статье представлено сравнение различных марок автомобильного эксплуатационного материала - моторного масла.

Ключевые слова: моторные масла, двигатель, автотракторная техника.

Abstract

This article presents a comparison of different brands of automotive operating material - engine oil.

Key words: engine oils, engine, automotive engineering.

На всех этапах эксплуатации автотракторной техники остается актуальным вопрос о необходимости использования качественных масел для смазки двигателей внутреннего сгорания различных видов.

В данной статье мы рассмотрели вопросы устройства системы смазки бензиновых двигателей внутреннего сгорания, какую роль в их использовании играют масла; приведена классификация масел по международной системе SAE, так же провели сравнительный анализ моторных масел различных производителей.

В процессе эксплуатации автотракторной техники все детали двигателя взаимодействуют друг с другом, вследствие чего между ними возникает трение. Что является вредным сопротивлением и негативно сказывается на работе всей системы в целом. Для уменьшения этого воздействия и была создана система смазки двигателя. Кроме того, смазочная система обеспечивает охлаждение деталей двигателя, удаляет продукты нагара и износа, защищает от коррозии.

В современных двигателях [1] используют комбинированную систему смазки, в которой смазывание особо нуждающихся деталей, таких, как например, шатунных подшипников, происходит под давлением. А других самотеком.

Система смазки включает в себя:

- Поддон картера двигателя;
- Масляный насос;
- Масляный фильтр;

- Масляный радиатор;
- Проводящие магистрали.

Поддон картера выполняет роль маслозаборника. В неработающем двигателе туда стекает практически все масло, лишь небольшое количество остается в фильтре и на деталях.

Также картер выполняет важную роль охлаждения масла, так как при циркуляции масло нагревается, отводя тепло от деталей двигателя. Это препятствует окислению смазочной жидкости и преждевременному старению.

В настоящее время существует два вида охлаждения масла:

- Открытая вентиляция, при которой газы, образовавшиеся в картере, через отверстия выходят в атмосферу.
- Закрытая вентиляция предусматривает нагревание газов обратно в цилиндры двигателя для сжигания.

Масляный насос необходим для подачи масла из поддона к деталям. Смазка остальных происходит самотеком: под воздействием сил, создаваемых вращающимися деталями мотора, масло разбрызгивается на мелкие капли, образуя масляную эмульсию, которая оседает на деталях. На современных двигателях в основном используют насосы шестеренного типа.

Масляный фильтр – состоит из металлического корпуса и элемента фильтрации. Необходим для очистки поступающего масла от продуктов нагара и износа.

Масляный радиатор предназначен для охлаждения масла, которое происходит с помощью потока специальной охлаждающей жидкости, поступающей из охлаждающей системы.

Принцип работы системы смазки

Двигатель смазывается циклически [1, 2]. После запуска, масло закачивается в систему масляным насосом.

Насос создает необходимое давление и подает масло в масляный фильтр, в котором оно очищается от механических примесей, далее оно по центральной магистрали попадает в масляные каналы блока цилиндров и подается к:

- Шатунным шейкам коленчатого вала;
- Коренным шейкам коленчатого вала;
- Опорам распределительного вала;
- Верхней опоре шатуна для смазки поршневого пальца.

К рабочей поверхности цилиндра масло поступает из отверстий в нижней опоре шатуна или от центральных форсунок.

Оказавшись в приводе газораспределительного механизма, масло попадает в головку блока цилиндров, где посредством разбрызгивания, смазывает:

- Коромысла;
- Толкатели клапанов;
- Всю систему головки блока цилиндров в целом.

Благодаря отверстиям в опоре шатуна масло оказывается на рабочей поверхности цилиндра и разбрызгивается на поверхность поршня и поршневые кольца.

Роль масла

Моторное масло [3] фактически является гидравлической жидкостью для всех узлов и механизмов двигателя.

Моторные масла работают в крайне тяжелых условиях – одна порция масла неоднократно подвергается перепадам тепловых и механических нагрузок, потому что условия смазки различных узлов и механизмов неодинаковы. Кроме того, моторное масло подвергается химическому воздействию кислорода, других газов, продуктов сгорания топлива, которое в малых количествах все равно попадает в топливо.

В таких условиях масло в течение длительного времени должно выполнять свои функции:

- Уменьшать трение между сопряженными деталями снижая износ и предотвращать задиры трущихся частей.
- Уплотнять зазоры между деталями цилиндропоршневой группы, не допуская или сводя к минимуму прорыв газов из камеры сгорания.
- Защищать детали от коррозии.
- Отводит тепло от трущихся поверхностей.
- Выносить продукты износа из зоны трения, замедляя образование отложений на поверхности частей двигателя.

Основными характеристиками моторных масел являются:

- **Вязкость.** Одна из важнейших характеристик. Моторные масла изменяют свою вязкость в зависимости от температуры. Чем выше его температура, тем вязкость ниже и, соответственно, наоборот. Для обеспечения холодного пуска двигателя, для того чтобы стартер провернул коленчатый вал и для того, чтобы масло было прокачено по системе при низких температурах, вязкость должна быть достаточно низкой. С другой стороны, чтобы при работе двигателя масло образовывало прочную пленку между трущимися деталями и обеспечивало необходимое давление в системе оно должно обладать достаточно высокими показателями вязкости. Индекс вязкости – показатель, который характеризует зависимость вязкости масла от изменения температуры. Это безразмерная величина. Чем выше индекс, тем более в широком температурном коридоре масло обеспечивает работоспособность двигателя.

- **Температура вспышки.** Характеризует наличие в масле легковоспламеняющихся фракций и связан с испаряемостью масла в процессе эксплуатации. У некачественных масел маловязкие фракции быстро испаряются и выгорают, что приводит к высокому расходу масла.

- **Температура застывания.** Это температура, при которой масло практически полностью теряет подвижность. Характеризует момент резкого увеличения вязкости при снижении температуры.

- **Щелочное число (TBN).** Показывает общую щелочность масла, включая вносимую моющими и диспергирующими присадками, которые обладают щелочными свойствами. Щелочное число характеризует способность нейтрализовать вредные кислоты, поступающие в процессе работы и противодействовать отложениям. Чем ниже TBN, тем меньше активных присадок осталось в масле, в процессе работы общее щелочное число снижается, нейтрализующие присадки срабатываются. Низкое щелочное число приводит к кислотной коррозии, загрязнению внутренних частей двигателя.

- **Кислотное число (TAN).** Является показателем, характеризующим наличие в моторном масле продуктов окисления. Чем меньше его показатель, тем лучше условия работы масла в двигателе и тем больше его остаточный ресурс. Повышение числа вызывает окисление масла, вызванного длительным временем эксплуатации или рабочей температурой.

Любое моторное масло состоит из основы – базового масла и комплекса специальных присадок.

Присадки отвечают за стабильность масляной пленки, вязкость масла, очистку деталей двигателя. Именно из-за комплекса присадок масла разных производителей обладают уникальными свойствами и характеристиками.

Масляная основа делится на:

- Минеральное
- Синтетическое
- Полусинтетическое

Минеральное масло изготавливается из нефти, наиболее просто в изготовлении и являются наиболее доступными по цене. Но обладают рядом существенных недостатков: угорают в процессе эксплуатации, имеют самую высокую вязкость, быстро окисляются и стареют.

Синтетическое – его основу составляют химические вещества, синтезирующие посредством химических процессов. Обладает рядом значительных достоинств: защищает и очищает двигатели, не густеет при низких температурах (в пределах указанных), сохраняет свои свойства под воздействие высоких температур.

Полусинтетическое имеет минеральную основу с большим количеством присадок. Является «компромиссом» между минеральным и синтетическим. Обладает похожими с синтетикой свойствами, но более доступно по ценовой категории.

Классификация масел

С целью упорядочения масел и облегчения процедуры их подбора для конкретного типа двигателя был разработан ряд международных стандартов. В настоящее время ведущие мировые производители используют следующие общепризнанные **классификации моторных масел**:

- SAE – Общество автомобильных инженеров;
- API – Американский институт нефти;
- ACEA – Ассоциация европейских производителей автомобилей
- ILSAC – Международный комитет по стандартизации и апробации моторных масел.

Классификация SAE разделяет все масла в зависимости от их **вязкостно-температурных свойств** на следующие классы:

- Летние – 20, 30, 40, 50, 60;
- Зимние – 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W;
- Всесезонные масла обозначаются сдвоенным номером, например, 0W-30, 5W-40.

Основной характеристикой зимних масел является низкотемпературная вязкость, которая определяется показателями проворачивания и прокачиваемости. Температурный предел прокачиваемости определяет минимальную температуру, при которой насос способен подавать масло к деталям двигателя, не допуская сухого трения между ними.

Для летних масел установлены минимальные и максимальные значения кинематической вязкости при 100 °С, а также показатели минимальной динамической вязкости при температуре 150 °С и скорости сдвига 10^6 с^{-1} .

Всесезонные масла должны удовлетворять требованиям, которые определены для соответствующих классов зимних и летних масел, входящих в обозначение.

Показатели масел по классификации SAE приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели масел по классификации SAE

Класс по SAE	Высокотемпературная вязкость			Низкотемпературная вязкость	
	Вязкость $\text{мм}^2/\text{с}$ при 100°С		Min вязкость $\text{мПа}/\text{с}$ при 150°С и скорости сдвига 10^8 с^{-1}	Проворачивание	прокачиваемость
	min	max		Max вязкость $\text{мПа} \cdot \text{с}$	
0W	3.8	-	-	6200 при -35 °С	60000 при -40 °С
5W	3.8	-	-	6600 при -30 °С	60000 при -35 °С
10W	4.1	-	-	7000 при -25 °С	60000 при -30 °С
15W	5.6	-	-	7000 при -20 °С	60000 при -25 °С
20W	5.6	-	-	9500 при -15 °С	60000 при -20 °С
25W	9.3	-	-	13000 при -10 °С	60000 при -15 °С
20	5.6	<9.3	2.6	-	-
30	9.3	<12.6	2.9	-	-
40	12.6	<16.3	3.5 (0W-40; 5W-40; 10W-40)	-	-
40	12.6	<16.3	3.7 (15W-40; 20W-40; 25W-40)	-	-
50	16.3	<21.9	3.7	-	-
60	21.9	26.1	3.7	-	-

Сравнительный анализ масел различных производителей

Сравним самые распространенные на российском рынке марки моторных масел.

- ZIC XQ LS 5W-30 4 л

После применения автомасел этого бренда внутри двигателя отсутствует нагар, даже при использовании моторных жидкостей дольше указанного производителем эксплуатационного периода. Если владелец машины забудет вовремя заменить масло — это не приведет к серьезной поломке мотора.

Здесь значительно уменьшено содержание золы, серы и фосфора. Ресурс мотора будет существенно продлен, а топливо будет расходоваться экономнее. Подходит для абсолютно всех сезонов.

Плюсы:

- Подходит даже для моторов с турбонаддувом;
- Делает работу двигателя надежной;
- Идеально для использования в любое время года.

Минусы:

- Желательно использовать качественный бензин;
- SHELL Helix HX8 Synthetic 5W-30 4 л.

Одна из лучших торговых марок, смазочные материалы обладают хорошим качеством, защищают привод от нагарообразования и износа. Синтетические смеси Shell не стоит применять в изношенных двигателях, лучше предпочесть минеральную продукцию этого бренда. Единственным минусом можно считать большой расход смеси на угар при предельном режиме эксплуатации.

Моторное масло SHELL Helix HX8 Synthetic 5W-30 4 л является полностью синтетическим, а также может активно использоваться для бензиновых и газовых двигателей. Также масло подходит для дизельных моторов без фильтров. Оно великолепно защищает и очищает важнейший компонент авто. На поверхности мотора больше не останется вредных отложений. Более того, существенно уменьшаются трения между деталями, что благоприятно сказывается на экономии топлива.

Плюсы:

- Применяется в самых разных двигателях.
- Экономит топливо, снижая его расход.
- Делает мотор более долговечным.

Минусы:

- Большое количество подделок.
- **Motul Specific dexos2 5W30 5 л**

Моторные смеси указанной марки имеют прекрасные характеристики при работе силового агрегата в высокотемпературном режиме. Автомасло обеспечивает защиту силового агрегата от износа, нагарообразования и коррозии. Свойства смазочных материалов Motul при эксплуатации постепенно изменяются, но к завершению эксплуатационного периода они не достигают критического значения. Масло обеспечивает минимальный показатель выработки на элементах привода.

Синтетическое масло для моторов Motul Specific dexos2 5W30 5 л идеально подходит для четырехтактных дизельных и бензиновых двигателей. Оно подходит практически для всех моторов. Также его рекомендуется использовать, имея внедорожники или двигатели с разделительным впрыском. Это продвинутое энергосберегающее масло класса API SN/FC обеспечивает высокий уровень в плане экологии, заставляя авто выбрасывать гораздо меньше вредных веществ в воздух.

Плюсы:

- Высочайшее качество.
- Подходит для самых разных моторов.
- Внимательный подход к экологичности.

Минусы:

- Довольно высокая цена.
- **TOTAL Quartz INEO ECS 5W30 4 л**

Продукция имеет прекрасные эксплуатационные характеристики и маленькую стоимость. При эксплуатации моторные смеси Total немного теряют свои свойства, но во время замены моторной жидкости параметры отработавшего масла соответствуют допустимым нормам. Преимуществами смесей есть минимальный расход на угар и хорошие моющие свойства.

Масло TOTAL Quartz INEO ECS 5W30 4 л отличается пониженным содержанием серы и фосфора, а также довольно низкой сульфатной зольностью. Благодаря этому выхлопные газы существенно очищаются, а топливо серьезно экономится. Данное масло можно заливать почти в любые двигатели - дизельные и бензиновые.

Плюсы:

- Мотор начинает работать тише.
- Продлевается срок службы двигателя.
- Серьезная экономия топлива.

Минусы:

- Редко можно найти в продаже.

Систему смазки можно назвать одним из главных узлов автомобиля или любого другого транспортного средства, при ее неисправности эксплуатация невозможна.

Использование качественного моторного масла необходимо для долгой службы силового агрегата любого представителя автотракторной техники. При выборе продукта следует опираться не только на требуемые характеристики, но и также условия эксплуатации. Необходимо четко соблюдать интервалы замены масла и следить за уровнем в регулярном использовании. Так как ненадлежащее обслуживание может привести к серьезным неисправностям и, как следствие, большим затратам на ремонт.

Список литературы

- [1] Шарипов В.М., Бирюков М.К., Дементьев Ю.В. Тракторы и автомобили: Учебник для студентов вузов обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение»; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с. : ил. ISBN 978-5-904270-13-1.
- [2] Силаев Г.В. Конструкция автомобилей и тракторов. Учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп.-Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана (г.Мытищи),2018–370с.
- [3] Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учеб. для вузов. Изд. 2-е.- М.: Наука-Пресс, 2004. - 421 с.

УДК 629.083

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PROTEUS ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИБОРА
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

**USE OF INFORMATION OPPORTUNITIES PROTEUS PROGRAM COMPLEX
FOR DEVICE DEVELOPMENT FOR INTEGRATED ENGINE DIAGNOSTICS
INTERNAL COMBUSTION**

Куверин Игорь Юрьевич, Денисов Александр Сергеевич
*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов, Россия*

Igor Kuverin, Alexander Denisov
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

Аннотация

Показаны перспективы использования микроконтроллеров при разработке приборов для диагностирования двигателей внутреннего сгорания. Приведены программы для программирования микроконтроллеров Atmel на языке C. Описаны конструктивные особенности микроконтроллера Atmega 644. Приведены особенности схемотехнического построения прибора для диагностирования двигателей внутреннего сгорания на базе микроконтроллера Atmega 644. Описана методика имитационного моделирования работы микроконтроллера ATmega 644 разработанного прибора для диагностирования двигателей внутреннего сгорания. Приведены результаты имитационном моделирования работы микроконтроллера Atmega 644 разработанного прибора для диагностирования двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *Двигатель внутреннего сгорания, микроконтроллер, PROTEUS, прибор, Atmega 644, Atmel.*

Abstract

The prospects of using microcontrollers in the development of devices for diagnosing internal combustion engines are shown. The program features for programming Atmel microcontrollers in the C language. The design features of the Atmega 644 microcontroller are described. The features of the circuit design of the device for diagnosing internal combustion engines based on the Atmega 644 microcontroller are described. The method of simulation simulation of the ATmega 644 microcontroller developed by the device for diagnosis of internal combustion engines. The results of simulation simulation of the Atmega 644 microcontroller developed by the device for diagnosing internal combustion engines are presented.

Key words: *Internal combustion engine, micro-controller, PROTEUS, set, Atmega 644, Atmel.*

Введение

В Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. в течение продолжительного времени проводится исследование в области разработки средств и методов для определения технического состояния двигателей автотранспортной техники без использования внешних нагрузочных и приводных устройств. Данные методы основаны на определении параметров, указывающих на техническое состояние двигателей по параметрам изменения скорости вращения коленчатого вала. Кроме того, данные методы не используют внешние нагрузочные и приводные устройства [1, 2]. Значительное развитие данных методов может быть получено при использовании в конструировании аппаратной части микроконтроллерных систем. [3]. В данный период времени разрабатывается прибор в основе которого лежит микроконтроллер ATmega644. Он принадлежит семейству AVR имеет 8-битное строение и гарвардскую архитектуру (это означает разное адресное пространство у программы и данных). Производится микроконтроллер американской фирмой Atmel [4].

1. Материалы и методы исследования

1.1. Постановка задачи

Основная проблема при построении микроконтроллерных систем лежит в разработке программного обеспечения микроконтроллера. Данная программа прошивается в сам микроконтроллер и обеспечивает его работу по необходимому алгоритму.

Для написания программ и последующей загрузки применяется большое число компиляторов. Они используют различные языки программирования.

Однако при выборе компилятора следует учесть, что изначально микроконтроллеры AVR создавались для использования языков высокого уровня. Это позволяет отказаться от машинного программирования на языке ассемблера.

Для данного микроконтроллера, по нашему мнению, наиболее целесообразно использование языка C, который является объектно-ориентированным и содержит в своём составе широко развитую систему команд. Также нами на основе анализа существующих программных решений выбран наиболее современных и удобный к использованию кросс-компилятор CodeVisionAVR, имеющий развитый и удобный к использованию программный генератор (CodeWizardAVR). Использование выбранных программных продуктов позволяет значительно ускорить и упростить написание программ.

Также необходимо отметить, что компилятор CodeVisionAVR поддерживает исполнение всех структурных элементов языка C с существующими дополнительными характеристиками, разработанными специально для реализации особенностей работы микроконтроллеров AVR. Также рассматриваемый компилятор содержит в своём составе большое количество библиотек, позволяющих настраивать работу стандартных периферийных устройств.

Для обеспечения бесперебойной работы разрабатываемого программно-аппаратного микроконтроллерного комплекса может быть использован компьютерный симулятор, который моделирует реальные элементы электронных схем с помощью внутренних компьютерных моделей. Это позволяет виртуально провести практически полный комплекс отладочных работ без использования реальных дорогостоящих электронных компонентов, выявив ошибки проектирования во время моделирования.

В ходе проведенного анализа моделирующих программных комплексов был выбран

программный симулятор Proteus, как имеющий наиболее широкие возможности для моделирования.

Для реализации процесса моделирования была составлена упрощенная схема разрабатываемого прибора (рисунок 1). Упрощение схемы состоит в отсутствии элементов тактирования, элементов, формирующих входные сигналы, преобразователя уровня в приеме-передатчике USART, цепей сброса и питания.

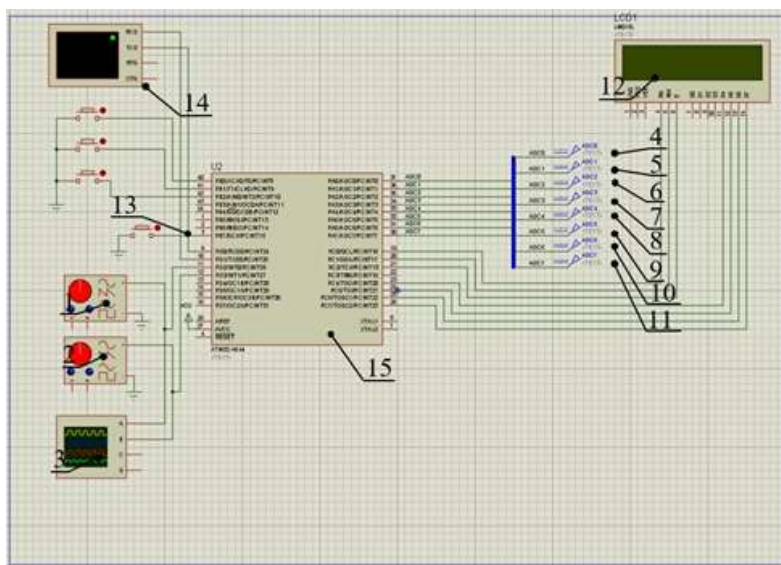


Рисунок 1. Упрощенная схема устройства для диагностирования двигателей внутреннего сгорания в симуляторе Proteus

1.2. Средства моделирования элементов электронной схемы в программе PROTEUS

Сигнал датчика начала тактирования моделировался с использованием генератора импульсов 1. Моделирование сигналов с датчиков угловых меток коленчатого вала проводилось с помощью генератора импульсов 2.

Для контроля длительности, а также формы сигналов использовался четырехканальный осциллограф 3. Проверка работы восьми канального аналогово-цифрового преобразователя проводилась с использованием генераторов сигналов 4-11 для соответствующих каналов 0-7

Проверка работы LCD осуществлялась с помощью модели 12. Модификация программного обеспечения дисплея проводилась специальной программой-перекодировщиком.

Наличие дисплея в приборе объясняется необходимостью контролирования режима работы, выводом служебной информации, данных о разработчиках устройства. Также при работе устройства в режиме тахометра на LCD дисплей производится вывод информации о текущей скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Пуск и переключение режимов осуществляется непосредственно в ходе моделирования интерактивной кнопкой запуска 13. Виртуальный терминал 14 позволяет моделировать передачу данных от прибора в персональный компьютер в соответствии с протоколом RS-232.

1.3. Процесс симуляции электронной схемы прибора в программе Proteus

Перед запуском симуляции проводилась загрузка программы в микроконтроллер 15, установка тактовой частоты и конфигурационных бит (в компьютерной литературе обозначаются как «fuse bits») в специальном окне свойств микроконтроллера

Управление работой симуляции осуществлялось панелью интерактивной симуляции 1 (рисунок 2).

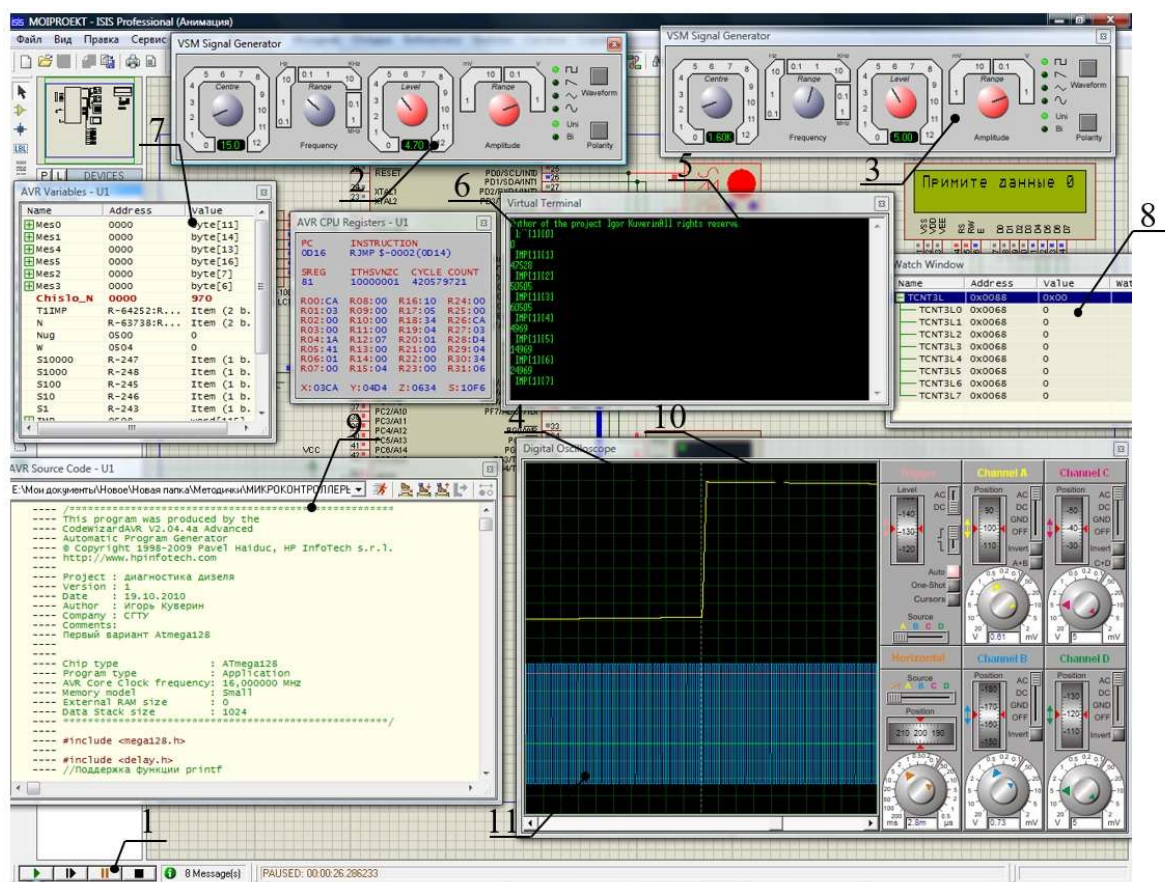


Рисунок 2. Симуляция работы прибора для диагностики двигателей внутреннего сгорания в программном комплексе Proteus

Контроль работы программы проводился с помощью следующих контрольных панелей и окон: 2, 3 – панели генераторов импульсов соответственно датчика начала тактирования и датчика угловых меток, 4 – контрольная панель четырехканального осциллографа, 5 – контрольная панель виртуального терминала, 6 – окно регистров процессора, 7 – окно переменных, 8 – окно наблюдения за регистрами микроконтроллера, 9 – окно с текстом программы на языке C.

На панели осциллографа 10 – импульсы сигнала датчика начала тактирования, 11 – импульсы сигнала датчика угловых меток.

Для осуществления контроля за работой микроконтроллера использовалась возможность устанавливать контрольные точки останова в окне с текстом программы 9, а также задавать в окне слежения за регистрами микроконтроллера 8 значения регистров для инициализации останова программы при наступлении определенных событий.

2. Полученные результаты и их обсуждение

Применительно к двигателям КамАЗ-740 различных модификаций разрабатываемый прибор позволяет определять следующие параметры:

1. давление открытия нагнетательных клапанов;
2. угол начала подачи топлива;
3. угол начала впрыска топлива;
4. производительность насосных секций;
5. определение пропускной способности форсунок;
6. относительная мощность цилиндров двигателя;
7. максимальная мощность двигателя и отдельных цилиндров двигателя.

В дополнении к вышеперечисленным параметрам разрабатываются эффективные алгоритмы для определения целого ряда других показателей эффективности работы двигателя расчетным путём.

3. Выводы

Применение программного комплекса Proteus позволяет проводить отладку программы микроконтроллера прибора, разрабатываемого для диагностирования двигателей внутреннего сгорания с последующей загрузки прошивки в память микроконтроллера.

Преимущество разрабатываемого прибора заключается в диагностике и полном цикле регулировки топливной аппаратуры всех существующих типов дизельных двигателей (в том числе с топливной системой Common Rail) без использования стендов непосредственно на автомобиле без демонтажа топливной системы. Кроме того, прибор обладает значительно меньшей стоимостью по сравнению с существующими аналогами и имеет ряд дополнительных возможностей (определение максимальной мощности двигателя, равномерности работы цилиндров двигателя и др.).

Дальнейшее повышение эффективности использования разработанных методов возможно путем разработки эффективных методик определения параметров технического состояния как дизельных, так и других типов двигателей внутреннего сгорания. С учетом малых размеров и низкого энергопотребления на основе разрабатываемого прибора могут быть созданы бортовые системы контроля дизельных двигателей.

Список литературы

- [1] *Отставнов, А.А.* Диагностирование карбюраторных двигателей по показателям спектрального анализа изменения угловой скорости коленчатого вала / А. А. Отставнов, И. Ю. Куверин // Повышение эффективности эксплуатации транспорта : межвуз. науч. сб. / СГТУ. – Саратов, 2003. – С. 16-26.
- [2] *Денисов, А. С.* Особенности разработки интерфейса передачи данных с прибора для диагностирования двигателей внутреннего сгорания на базе микроконтроллера ATMEGA644 на компьютер / А. С. Денисов, И. Ю. Куверин // Достижения и инновации в науке, технологиях и медицине : сб. статей междунар. науч.-практ. конф. , 25 июля 2016 г., г. Пенза. - Пенза, 2016. - С. 27-30.
- [3] *Куверин, И.Ю.* Перспективы использования микроконтроллеров в средствах диагностики автомобилей / И. Ю. Куверин // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин : сб. науч. тр. / СГТУ. – Саратов, 2009. – С. 32-35.
- [4] *Белов А.В.* Разработка устройств на микроконтроллерах AVR: шагаем от «чайника» до профи. – СПб.: Наука и техника, 2013. – 598 с.

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

**КРИТЕРИИ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ
ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА**

**PAPER TEMPLATE FOR «INFOCOMMUNICATION AND INTELLECTUAL
TECHNOLOGIES IN TRANSPORT» CONFERENCE**

Ли Роман Иннакентьевич, Пчельников Андрей Витальевич
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Roman Lee, Andrey Pchelnikov
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В представленной статье рассмотрен критерий, позволяющий предварительно оценить совместимость компонентов полимер-полимерной композиции – параметр совместимости компонентов, зависящий от их молекулярных масс, которые, в свою очередь, определяются с помощью вискозиметрического метода. Для установления адекватности оценки совместимости компонентов полимер-полимерного композита, произведен контрольный эксперимент, включающий в себя смешение компонентов и последующее исследование деформационно-прочностных свойств композита.

Ключевые слова: совместимость, полимерная композиция, раствор, смешение.

Abstract

The article presents a parameter that allows to estimate the compatibility of components of the polymer-polymer composition. The compatibility parameter of the components considered depends on the molecular masses of the components, which, in turn, are determined by the viscosimetric method. In order to establish the adequacy of the compatibility of the components of the polymer-polymer composite, a control experiment was carried out, including mixing of the components and subsequent investigation of the properties of the deformation strength of the composite.

Key words: compatibility, polymer composition, solute, miscibility.

Введение

При разработке перспективных полимер-полимерных-композиционных материалов, применяемых при ремонте автотракторной техники [1...3], возникает необходимость в исследовании совместимости компонентов. Под совместимостью понимается возможность взаимного растворения составляющих частей композиции [4].

1. Модели и методы

В работе Бутина А.В. [5] получена формула, характеризующая совместимость полимеров

$$(\chi_{AB})_{кр} = \frac{\left\{ \frac{10}{M_A^{0,5}} + \frac{10}{M_B^{0,5}} \right\}^2 \left\{ \frac{1}{1-\varphi_S} \right\}}{2}, \quad (1)$$

где χ_{AB} – параметр взаимодействия полимеров; M_A – молекулярный вес компонента А; M_B – молекулярный вес компонента В; ϕ_s – объемная доля растворителя.

Согласно теории Флори-Хаггинса чем ближе параметр χ_{AB} к нулю, тем более полимеры совместимы или взаимно растворимы, тем больше вариантов составов в которых они будут совместимы. [6] Анализируя представленную формулу можно заметить, что совместимость полимеров определяется молекулярным весом компонентов композита.

Одним из наиболее простых способов определения молекулярной массы является вискозиметрический метод [7, 8], согласно которому молекулярная масса зависит от характеристической вязкости и определяется исходя из уравнения Марка-Куна-Хаувинка

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha, \quad (2)$$

где K и α – константы, для данной системы полимер-растворитель при выбранной температуре.

Выразим из данной формулы молекулярную массу

$$M = \sqrt[\alpha]{\frac{[\eta]}{K}}. \quad (3)$$

Коэффициент α связан с конформацией молекул и принимает значения от 0 до 2 (см. рис. 1) Коэффициент K зависит от свойств растворителя и определяется по справочным данным [10].

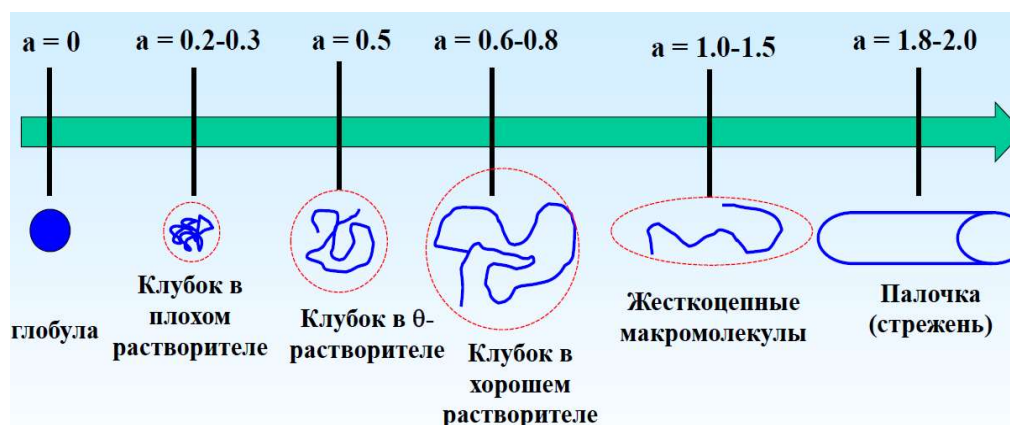


Рисунок 1. Значения коэффициента α для различных конформаций молекулы

Анализируя представленные ранее формулы необходимо отметить, что определение молекулярной массы полимера сводится к определению его характеристической вязкости $[\eta]$. Характеристическая вязкость, является предельным значением удельной вязкости при бесконечном разбавлении раствора, определяется по формуле

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_{уд}}{C} \right), \quad (4)$$

где $\eta_{уд}$ – удельная вязкость; C – концентрация раствора, г/100 мл.

Значение характеристической вязкости можно получить путем аппроксимации экспериментальных данных отношения $\frac{\eta_{уд}}{C}$ в зависимости от концентрации (C) в виде линейной функции ($y = k \cdot x + b$) и ее экстраполяции до точки пересечения с осью ординат

$$\frac{\eta_{уд}}{C}$$

Удельная вязкость $\eta_{уд}$ представляет собой относительное приращение вязкости растворителя при растворении в нем полимера и определяется по формуле

$$\eta_{уд} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{\eta}{\eta_0} - 1 = \eta_{отн} - 1, \quad (5)$$

где η – вязкость раствора; η_0 – вязкость растворителя; $\eta_{отн}$ – относительная вязкость раствора.

При исследовании растворов полимеров выделяют не абсолютную, а относительную вязкость $\eta_{отн}$. Так как плотность разбавленного раствора полимера $\rho_{р-ра}$ примерно равна плотности чистого растворителя $\rho_{р-ля}$, то на практике относительную вязкость определяют по отношению времени истечения раствора полимера $t_{р-ра}$ к времени истечения чистого растворителя $t_{р-ля}$ при одинаковых внешних условиях

$$\eta_{отн} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{K' \cdot \rho_{р-ра} \cdot t_{р-ра}}{K' \cdot \rho_{р-ля} \cdot t_{р-ля}} = \frac{t_{р-ра}}{t_{р-ля}}. \quad (6)$$

Поскольку рассматриваемый метод связан с приготовлением раствора исследуемого полимера, то возникает необходимость подбора растворителя. Корректность подбора растворителя оценивается по изменению вязкости полученного раствора, в случае если растворитель подобран корректно происходит набухание клубка полимера и как следствие повышение вязкости [8].

Для определения вязкости различных веществ используют вискозиметры (см. рис. 2).

Исследования проводили для следующих полимерных материалов: лак Ф-40 (ТУ 6-06-246-92), клей Анатерм-110 (ТУ 2257-238-00208947-96).

Анаэробный клей Анатерм-110 на основе диметакриловых эфиров полиалкиленгликолей с монофункциональными акрилатами (акриловая кислота, метакриламид) в сочетании с акриловым загустителем (компонент Б).

Состав лака Ф-40:

- 1) смола ФКУ (феноло-формальдегидная смола на основе замещенного фенола винилацетиленовой структуры) - 8 масс. %;
- 2) каучук синтетический бутадиен-нитрильный марки СКН-40С - 12 масс. %;
- 3) ацетон технический, ГОСТ 2768-84 - 80 масс. %

С учетом представленного состава, для получения серии растворов с концентрациями чистого полимера в диапазоне 0,1-1 г на 100 мл, были приготовлены растворы лака Ф-40 следующих концентраций: 0,5 г – 5 г на 100 мл растворителя.

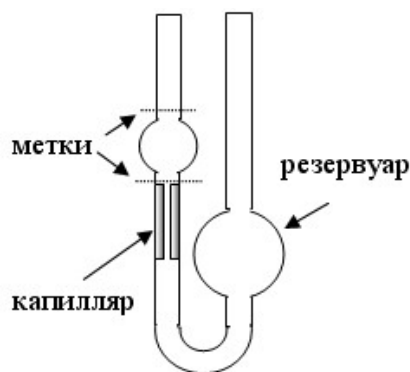


Рисунок 2. Схема капиллярного вискозиметра

В качестве растворителя для исследуемых полимерных материалов был выбран ацетон в виду растворения полимеров без остатка и повышения вязкости при введении в растворитель полимерного материала, что в свою очередь свидетельствует о корректности подбора растворителя. Измерение массы компонентов в процессе приготовления раствора полимеров необходимой концентрации проводили путем взвешивания на лабораторных аналитических весах ВЛА-200М, с ценой деления 0,0001г.

В качестве образцов использовали пленки полимер-полимерного композита на основе клея АН-110. Для изготовления образцов использовали специальную форму-оснастку (рис. 3), которая включает опорную пластину размерами 150×85×5 мм из Фторопласта-4 ГОСТ 14906-77 и рамку-трафарет из Стали ANSI304 (аналог – сталь 08Х18Н10 ГОСТ 5632-72). Размеры рамки-трафарета составляли 150×85×1,5мм по наружному контуру с шестью окнами для пленок размерами 60×15×1,5 мм.

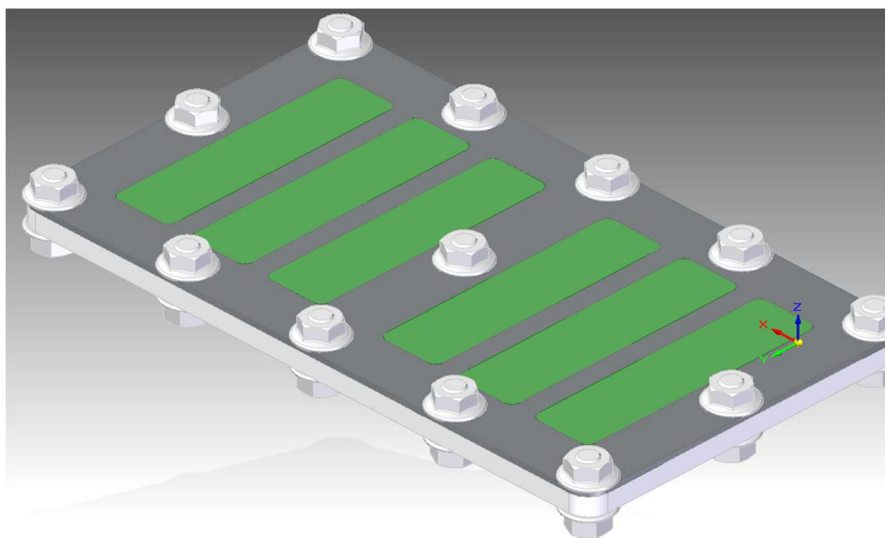


Рисунок 3. Оснастка для изготовления образцов

Для оценки деформационно-прочностных свойств материала использовали следующие показатели: прочность при одноосном растяжении пленок σ_p , относительное удлинение ε и удельная работа разрушения пленок α_p [1].

Прочность пленок σ_p (МПа) определяли по формуле

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_n} \quad (7)$$

где F_p – растягивающая нагрузка при разрыве пленки, Н; A_n – начальное поперечное сечение исследуемого образца, мм².

Относительное удлинение при разрыве образца ε (%) определяли по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где l_0 – начальная рабочая длина образца, мм; Δl_0 – удлинение образца при испытании, мм.

Работу разрушения при разрыве пленок α определяли как площадь, ограниченную кривой "нагрузка-деформация" и осью абсцисс на диаграмме. Удельную работу разрушения α_p (МДж/м³) при разрыве пленок определяли по формуле

$$\alpha_p = \frac{\alpha}{V}, \quad (9)$$

где V – рабочий объем испытываемого образца, мм³.

2. Экспериментальные исследования

Измерение времени истечения раствора проводили при температуре окружающего воздуха 15°C с использованием высокоскоростной видеокамеры с частотой съемки 240 кадр/сек, после измерений для наиболее точной оценки времени течения раствора между метками вискозиметра из полученных в ходе эксперимента видео файлов в процессе покадрового просмотра выделялись кадры начала и конца прохождения контрольного участка и по количеству кадров между ними рассчитывалось время прохождения мерного участка из расчета 0,0041 сек/кадр.

Результаты исследования вязкости лака Ф-40 представлены в табл. 1, клея Анатерм - 110 в таблицах 2 и 3.

Аппроксимацию графических экспериментальных зависимостей проводили с использованием программного комплекса MS: Office Excel.

Пример графика зависимости $\frac{\eta_{уд}}{C} = f(C)$ для компонента А клея Анатерм 110 представлен на рис. 4.

Результаты аппроксимации экспериментальных графических зависимостей приведены в табл. 4.

Таблица 1. Результаты испытаний лака Ф-40

Концентрация полимера в растворе С, г/100мл	Время истечения, t, сек				η отн	η уд	$\frac{\eta_{уд}}{C}$, дл/Г
	1	2	3	Ср.			
Растворитель	0,1558	0,1517	0,1517	0,1531	-	-	-
0,01 (0,05Г лака)	0,1845	0,1886	0,1886	0,1872	1,2227	0,2227	1,1898
0,02 (0,1Г лака)	0,1968	0,1927	0,1927	0,1941	1,2678	0,2678	1,3797
0,03 (0,15Г лака)	0,2009	0,2091	0,2091	0,2064	1,3481	0,3481	1,6867
0,066 (0,33Г лака)	0,2255	0,2214	0,2214	0,2228	1,4553	0,4553	2,0433
0,1 (0,5Г лака)	0,2419	0,2337	0,2419	0,2391	1,5624	0,5624	2,3493
0,2 (1,0Г лака)	0,3157	0,3280	0,3403	0,3280	2,1424	1,1424	3,4829
0,4 (2Г лака)	0,5125	0,5289	0,5207	0,5207	3,4010	2,4010	4,6111
0,6 (3Г лака)	0,7093	0,7052	0,7175	0,7107	4,6421	3,6421	5,1246
0,8 (4Г лака)	0,9143	0,9102	0,9020	0,9088	5,9360	4,9360	5,4313
1,0 (5Г лака)	1,0742	1,0988	1,111	1,0947	7,1502	6,1502	5,6182

Таблица 2. Результаты испытаний компонента А клея Анатерм 110.

Концентрация раствора С, г/100мл	Время истечения, t, сек				η отн	η уд	$\frac{\eta_{уд}}{C}$, дл/Г
	1	2	3	Ср.			
Растворитель	0,1558	0,1517	0,1517	0,1531	-	-	-
0,05	0,1927	0,1927	0,1886	0,1913	1,2495	0,2495	1,3043
0,1	0,2091	0,1968	0,2132	0,2064	1,3481	0,3481	1,6867
0,2	0,2378	0,2296	0,2296	0,2323	1,5173	0,5173	2,2269
0,5	0,4305	0,4264	0,4305	0,4291	2,8027	1,8027	4,2012

0,8	0,6683	0,6642	0,6642	0,6656	4,3475	3,3475	5,0293
1,0	0,7995	0,8036	0,7995	0,8009	5,2312	4,2312	5,2831

Таблица 3. Результаты испытаний компонента Б клея Анатерм 110.

Концентрация раствора С, г/100мл	Время истечения, t, сек				$\eta_{отн}$	$\eta_{уд}$	$\frac{\eta_{уд}}{C}$, дл/г
	1	2	3	Ср.			
Растворитель	0,1558	0,1517	0,1517	0,1531	-	-	-
0,05	0,1804	0,1804	0,1763	0,1790	1,1692	0,1692	0,9451
0,1	0,1927	0,1886	0,1845	0,1886	1,2319	0,2319	1,2294
0,2	0,2132	0,2173	0,2132	0,2146	1,4017	0,4017	1,8718
0,5	0,3239	0,3198	0,328	0,3239	2,1156	1,1156	3,4443
0,8	0,5576	0,5535	0,5453	0,5521	3,6061	2,6061	4,7204
1,0	0,738	0,779	0,7626	0,7599	4,9634	3,9634	5,2157

Таблица 4. Результат аппроксимации экспериментальных данных

Испытываемый образец	Аппроксимирующая функция $\frac{\eta_{уд}}{C} = f(C)$	R ²	Значение $[\eta]$ в точке x = 0
Компонент А (клей АН-110)	$y=4,3669 \cdot x + 1,3598$	0,9517	1,3598
Компонент Б (клей АН-110)	$y=4,6134 \cdot x + 0,8669$	0,9674	0,8669
Лак Ф-40	$y=4,6125 \cdot x + 1,8037$	0,8857	1,8037

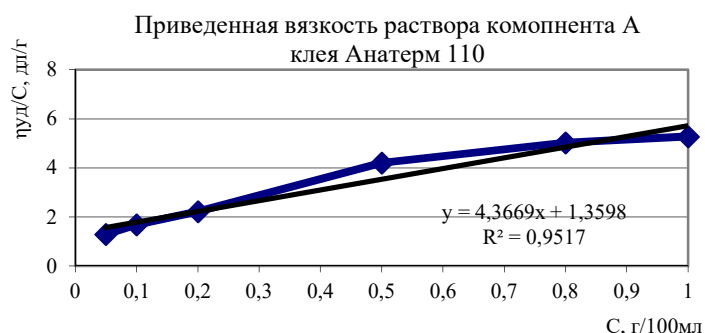


Рисунок 4. Определение характеристической вязкости раствора компонента А

После нахождения предельного значения приведенной вязкости для каждого из компонентов полимер-полимерного композита путем подстановки полученных значений в формулу (1), определена молекулярная масса компонента. Значения коэффициентов уравнения Марка-Куна-Хаувинка приняты исходя из справочной литературы. Результаты вычислений представлены в табл. 5.

Таблица 5. Определение молекулярной массы компонентов

Компонент	$[\eta]$	K	α	M, а.е.м.
Компонент А	1,3598	$4,52 \cdot 10^{-4}$	0,62	407 587
Компонент Б	0,8669	$0,715 \cdot 10^{-4}$	0,750	278 538
Лак Ф40	1,8037	$5,02 \cdot 10^{-4}$	0,67	202 598

Для оценки взаимодействия частей композиции полученные значения молекулярных масс компонентов подставляются в формулу (2), при этом возможно различное соотношение частей композиции, которое в данном случае возможно представить в качестве критерия, определяющего объемную долю растворителя. Компонент с большей относительной долей принят как растворитель. В ходе анализа составных частей композиции, а именно частей компонентов клея Анатерм 110 установлено, что компонент Б являет собой отвердитель, а базовым компонентом является компонент А. Таким образом совместимость частей композиции справедливо определять исходя из совместимости их базовых компонентов, в связи с чем в формулу (1) подставляются значения молекулярных масс лака Ф40 и Компонента А клея Анатерм 110, а также их соотношения в различных вариантах состава. Результаты расчетов параметра совместимости для различных соотношений компонентов в композиции представлены в табл. 6.

Как следует из табл. 6 с увеличением содержания растворителя от 0,95 до 0,87 параметр взаимодействия χ значительно уменьшается от 0,0182 до 0,007. При смешении компонентов полимер-полимерного композита установлено, что раствор эластомера Ф-40 полностью смешивается с компонентами клея Анатерм-110, образуя однородную по структуре и цвету композицию. При длительном нахождении полученной композиции в неотвержденном состоянии выпадения осадка либо разделения на фракции не установлено.

Таблица 6. Определение взаимодействия базовых компонентов композиции

№	Компонент А, мл	Эластомер Ф-40, мл	Объемная доля растворителя φ_s	Параметр взаимодействия χ_{AB}
1	2	0,1	0,95	0,0182
2	2	0,2	0,91	0,0101
3	2	0,3	0,87	0,0070

В табл. 7 представлены результаты исследования деформационно-прочностных свойств полимер-полимерного композита на основе клея АН-110.

Таблица 7. Результаты исследования деформационно-прочностных свойств

Содержание эластомера Ф-40 (%)	Удельная работа разрушения α_p , (МДж/м ³)	Прочность σ_p , (МПа)	Относительное удлинение ε , (%)
0	2,4	10,54	28,068
2,5	3,2	10,126	36,8
4	3,4	10,119	39,42
5	4	9,31	53,136
7,5	1,2	4,28	25,96

Как следует из табл. 7 наиболее высокие деформационно-прочностные свойства ($\alpha_p = 4\text{МДж/м}^3$) полимер-полимерный композит на основе клея АН-110 имеет при содержании эластомера Ф-40 в 5 %.

Выводы

1. Исследования показали совместимость компонентов полимер-полимерного композита на основе клея АН-110, что подтверждается низким значением параметра взаимодействия $\chi = 0,0182$.

2. Определена оптимальная концентрация эластомера Ф-40 (5%) в клее АН-110 при которой материал имеет наиболее высокие деформационно-прочностные свойства $\alpha_p = 4\text{МДж/м}^3$.

Список литературы

- [1] *Ли Р. И.* Основы научных исследований: учеб. пособие. Липецк: ЛГТУ, 2013. 190 с.
- [2] *Ли Р. И.* Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники. Липецк: ЛГТУ, 2014. 379 с.
- [3] *Ли Р.И.* Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография. Липецк: ЛГТУ, 2017. 224 с.
- [4] *Ньюмен С.Н.* Полимерные смеси. Пер. с англ. / Под ред. Гордовского Ю.К. М: Мир, 1988. – 455 с.
- [5] *Бутин А.В.* Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимер-полимерными композициями: дис. канд. техн. наук. Мичуринск., 2011. 128 с.
- [6] *Мэнсон Дж.* Полимерные смеси и композиты. Пер. с англ. / Под ред. А. П. Коробко. М.: Химия, 1979. 442 с.
- [7] *Григорьев А.П.* Лабораторный практикум по технологии пластических масс в двух частях: учебное пособие для химико- технологических вузов/ А.П. Григорьев, О.Я. Федотова. М.: Высш. школа, 1977. ч. 1, 248 с.; ч. 2, 264 с.
- [8] *Киреев В.В.* Высокомолекулярные соединения: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2013. 602 с.

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02

МОДЕЛЬ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСАДОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

MODEL OF INFRA-RED HEATING OF CASE DETAILS AT RESTORATION OF LANDING APERTURES BY THE POLYMERIC MATERIALS

Ли Роман Иннакентьевич¹, Маматов Фармон Муртазович²,
Тоиров Ильхом Жураевич², Быконя Андрей Николаевич¹

¹ *Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

² *Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*

Roman Li¹, Farmon Mamatov², Il'khom Tairov², Andrew Bykonya¹

¹ *Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia*

² *Karshi engineering-economic institute, Karshi, Uzbekistan*

Аннотация

В статье приведены, полученные в результате теоретических исследований, математические модели температуры и времени нагрева корпусных деталей с полимерным покрытием при инфракрасной обработке. Представлены расчетные и экспериментальные параметры инфракрасного нагрева корпусной детали, подтверждающие корректность полученных моделей.

Ключевые слова: *восстановление, деталь, полимер, покрытие, температура, время, инфракрасная сушка.*

Abstract

Are provided in article, the received as a result of theoretical researches, mathematical models of temperature and time of heating of case details with a polymeric covering at infrared processing. The calculated and experimental parameters of infrared heating of a case detail confirming correctness of the received models are presented.

Key words: *restoration, detail, polymer, covering, temperature, time, infrared drying.*

Введение

Восстановление изношенных деталей является основным резервом снижения затрат на ремонт. Стоимость восстановленных деталей ниже стоимости новых, что позволяет значительно снизить затраты на ремонт машин и оборудования [1].

Изношенные детали восстанавливают различными способами наплавки и металлизации, нанесением электролитических покрытий, электроконтактным нанесением порошков, приваркой стальной ленты и другими способами. Однако данные способы имеют схожие недостатки: сложность технологического процесса, потребность в дорогостоящем технологическом оборудовании, необходимость механической обработки восстанавливаемых поверхностей, высокую себестоимость, невозможность устранения фреттинг-коррозии. Применение полимерных материалов для восстановления посадочных мест подшипников качения позволяет устранить вышеперечисленные недостатки [2,3,4].

Для сушки полимерных покрытий используют три способа: конвективный, терморрадиационный (инфракрасный) и комбинированный. Конвективную сушку проводят в специальных сушильных камерах или шкафах. Роль теплоносителя играет горячий воздух, который нагревает изделие полностью, даже если этого не требуется.

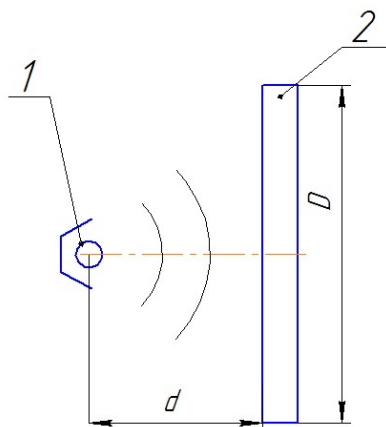
При конвективной сушке время термической обработки и энергозатраты относительно велики. Изучив применяемые в настоящее время в промышленности способы сушки полимерных покрытий, для исследования сушки покрытий эластомера Ф-40, выбран терморрадиационный способ сушки инфракрасными лучами. При инфракрасной сушке нагрев изделий происходит излучением, которое проникает сквозь слои покрытия и поглощается, в основном, металлом. Покрытие нагревается от металла, начиная с внутренних слоёв. Из-за возникающей разницы температур между внутренними слоями покрытия и наружными создается разница давлений, способствующая более быстрому выходу растворителя из слоёв покрытия [4,5].

Этот способ отличается компактностью оборудования, высокой скоростью сушки, низкими энергозатратами и себестоимостью. Способ обеспечивает более высокое качество покрытия за счет уменьшения количества и размеров дефектов поверхности.

Цель работы – провести теоретические исследования и получить математические модели температуры и времени нагрева корпусных деталей с полимерным покрытием при инфракрасной обработке.

1. Оценка коэффициента теплоотдачи тела при установившемся режиме нагрева

В качестве корпусной детали использовали подшипниковый щит электродвигателя 4A112-2, который нагревали кварцевым инфракрасным излучателем, состоящим из одного отражателя QTSR и лампы QTS мощностью 750 Вт. Схема установки представлена на рисунке 1.



1 – инфракрасный излучатель; 2 – подшипниковый щит
(D – линейный размер щита, d – расстояние между деталью и излучателем)

Рисунок 1. Схема установки

При установившемся режиме нагрева тела можно записать уравнение баланса мощности [6,7].

$$q_{изл} = q_1 + q_2, \quad (1)$$

где $q_{\text{изл}}$ – мощность инфракрасного излучения, получаемая телом от излучателя; q_1 – мощность, отдаваемая на лучеиспускание нагретым телом; q_2 – мощность, отдаваемая телом, при свободном конвективном теплообмене с внешней средой.

В ходе теоретических исследований, на основе уравнения баланса мощности, получено уравнение для определения коэффициента теплоотдачи k при установившейся температуре детали

$$k = \frac{\frac{q_{\text{изл}}}{F} - \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4}{T - T_0}, \quad (2)$$

где ε – коэффициент черноты серого тела, $\varepsilon = 0,60 \dots 0,70$ для чугуна [8,9]; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $C_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$; k – коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции; T_0 – температура окружающего воздуха; F – площадь детали.

2. Расчет поглощаемой телом мощности инфракрасного излучения

$$q_{\text{изл}} = \frac{4\mu\varepsilon\pi Q_{\text{изл}}}{l\varphi} \int_0^{\alpha_0} \frac{\sqrt{\frac{D^2}{4} - (d \operatorname{tg} \alpha)^2}}{\cos \alpha} d\alpha \int_0^{\beta_0} \frac{1}{\frac{1}{\cos \beta} + \cos \beta \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha} d\beta, \quad (3)$$

где μ – КПД излучателя; $Q_{\text{изл}}$ – потребляемая электрическая мощность излучателя; l – линейный размер излучателя; φ – угол рассеивания отражателя; α_0, β_0 – верхние пределы интегрирования, радиан; $\alpha_0 = \operatorname{arctg} \left(\frac{D}{2d} \right)$, $\beta_0 = \operatorname{arctg} \left(\frac{l}{2d} \right)$;

3. Оценка средней температуры и времени нагрева тела

При расчете приняты следующие схематизации. Деталь представляется идеальным однородным твердым телом, обладающим равномерным рассеянием тепла со всей поверхности и бесконечно большой теплопроводностью, вследствие чего все точки тела имеют одинаковую температуру в соответствующие моменты времени. Для детали типа «подшипниковый щит» как показали эксперименты, эти допущения хорошо соблюдаются, наблюдается относительно незначительный градиент температур при нагреве.

Для процесса нагрева тела можно написать уравнение баланса мощности для произвольного момента времени

$$q_{\text{изл}} = q_1 + q_2 + q_3, \quad (4)$$

где q_3 – мощность, расходуемая на нагрев тела.

При неустановившемся температурном режиме для расчета температуры и времени нагрева до установившегося температурного режима используется закон сохранения энергии в дифференциальной форме с последующим интегрированием [6]

$$\delta Q_{\text{изл}} = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 F d\tau + k(T - T_0) F d\tau + c_v m dT, \quad (5)$$

где $\delta Q_{\text{изл}}$ – теплота, полученная телом за бесконечно малое приращение времени $d\tau$; C_v – изохорная теплоемкость материала тела; m – масса тела.

$$q_{изл} d\tau = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 F d\tau + k(T - T_0) F d\tau + c_v m dT, \quad (6)$$

Преобразуя, получаем следующее уравнение процесса нагрева тела

$$q_{изл} = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 F + k(T - T_0) F + c_v m \frac{dT}{d\tau}, \quad (7)$$

Так как поглощаемая деталью мощность $q_{изл} = const$, то $dq_{изл} = 0$ и, следовательно,

$$dq_1 + dq_2 + dq_3 = 0. \quad (8)$$

Находим дифференциалы соответствующих мощностей

$$dq_1 = \frac{\varepsilon C_0 F}{25} \left(\frac{T}{100} \right)^3 \dot{T} d\tau, \quad dq_2 = kF \dot{T} d\tau, \quad dq_3 = c_v m \frac{d^2 T}{d\tau^2} \cdot d\tau = c_v m \ddot{T} d\tau. \quad (9)$$

Получаем дифференциальное уравнение второго порядка и решаем его, используя замену переменной.

$$c_v m \ddot{T} = -kF \dot{T} - \frac{\varepsilon C_0 F}{25} \left(\frac{T}{100} \right)^3 \dot{T} \quad (10)$$

Введя обозначение константы нагревания для заданных неизменных условий процесса нагрева $H = \frac{c_v m}{kF + \frac{\varepsilon C_0 F}{25} \left(\frac{T}{100} \right)^3} = const$, что хорошо подтверждается эксперимен-

тальными данными и интегрируя уравнение, получаем для производной температуры по времени следующую зависимость

$$\dot{T} = \dot{T}_0 \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right), \quad (11)$$

где \dot{T}_0 - значение производной температуры тела в начальный момент времени.

Интегрируя повторно уравнение (11), получаем формулу для нахождения температуры тела в зависимости от времени в процессе нагрева

$$T = T_0 + H \dot{T}_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) \right), \quad (12)$$

Как видно из (12), процесс нагрева теоретически продолжается бесконечно большое время. Легко определить установившуюся температуру тела $T_{уст}$, полагая $\tau \rightarrow \infty$

$$T_{уст} = T_0 + H \dot{T}_0, \quad (13)$$

Оцениваем время нагрева детали до некоторой температуры T . Для времени нагрева получена следующая формула

$$\tau = H \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{T - T_0}{H \dot{T}_0}} \right), \quad (13)$$

Значение производной \dot{T}_0 определяется из закона сохранения энергии (мощности) в начальный момент времени

$$q_{изл} = c_v m \frac{dT}{d\tau}, \quad (13)$$

Откуда, $\dot{T}_0 = \frac{q_{изл}}{c_v m}$.

За время нагрева численно равное константе нагревания H для заданных условий процесса нагрева производная температуры по времени уменьшается в e раз, а за время порядка $6H$ наступает фактически установившийся режим и начинаются флуктуации температуры тела около установившегося значения температуры $T_{уст}$.

Постоянные нагрева H для трех различных случаев получили из экспериментальных данных при установившемся режиме нагрева тела.

В таблице 1 приведены сравнительные значения средней температуры установившегося нагрева детали и время нагрева при различных расстояниях между телом и инфракрасным излучателем, полученные расчетным путем по полученным моделям и в результате эксперимента.

Таблица 1. Экспериментальные и теоретические параметры нагрева корпусной детали

Расстояние d , м	Константа нагревания H , с	Температура t , °С		Время нагрева τ , мин	
		Теория	Эксперимент	Теория	Эксперимент
0,20	715,7	86,7	88,1	78,8	82,0
0,25	943,0	73,5	71,5	89,0	94,0
0,30	1128,8	68,5	65,7	124,3	130,0

Относительная погрешность в определении температуры: минимальное значение – 1,6%; максимальное – 4,3%.

Относительная погрешность в определении времени нагрева: минимальное значение – 3,9%; максимальное – 5,3%.

На рисунке 2 представлены сравнительные кривые роста температуры тела в процессе нагрева, полученные теоретически по формуле (2) и экспериментально для заданных условий.

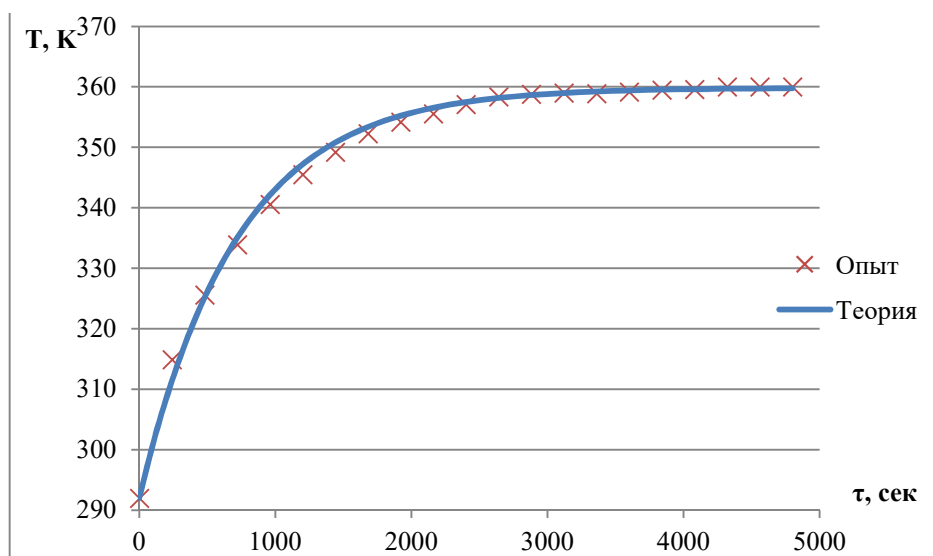


Рисунок 2. Кривые температуры нагрева тела (расстояние $d=0,20$ м)

Вывод

1. В результате проведенных теоретических исследований на основе теории тепло- и массообмена получены математические модели температуры и времени нагрева корпусных деталей с полимерным покрытием при инфракрасной обработке.
2. Контрольный эксперимент показал высокую сходимость расчетных и экспериментальных значений параметров нагрева корпусной детали и корректность полученных моделей.
3. Представляют научный и практический интерес всесторонние дальнейшие исследования инфракрасной сушки корпусных деталей с полимерным покрытием.

Список литературы

- [1] *Ли Р.И.* Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники. – Липецк, ЛГТУ, 2014. – 379 с.
- [2] *Ли Р.И., Мироненко А.В.* Восстановление корпусных деталей автомобильной техники полимер-полимерной композицией // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – №4(55) – с. 9 – 15.
- [3] *Li R.I., Kirsanov F.A., Kiba M.R.* Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 3. – pp. 312 – 316.
- [4] *Ли Р.И.* Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2017. – 224 с.
- [5] *Ли Р.И., Псарев Д.Н., Мироненко А.В., Киба М.Р.* Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2017. – № 5. – с. 34 – 37.
- [6] *Сивухина Д. В.* Общий курс физики В 5т: Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 2005. – 565 с.
- [7] *Сивухина Д. В.* Общий курс физики В 5т: Т. 5 Оптика. – М.:Физматлит, 2008. – 614 с.
- [8] *Брамсон М.А.* Инфракрасное излучение нагретых тел. – М.: Наука, 1964. – 227 с.
- [9] *Блох А.Г., Журавлёв Ю.А., Рыжков Л.Н.* Теплообмен излучением. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 433 с.

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

TECHNOLOGICAL PROVISION OF THE RESTORATION OF THE LANDING OF CAR BEARING

Малюгин Владимир Андреевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Vladimir Maliugin

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

Обоснован выбор методики расчета точностных характеристик центрирующего приспособления для сборки клеевых соединений "вал-подшипник". Определены точностные характеристики центрирующего приспособления для сборки клеевых соединений "вал-подшипник".

Ключевые слова: *подшипник, полимер технология, центрирование, клеевое соединение.*

Abstract

The choice of methods for calculating the accuracy characteristics of a centering device for the assembly of adhesive joints "shaft-bearing" is grounded. The accuracy characteristics of the centering device for the assembly of adhesive joints "shaft-bearing" are determined.

Key words: *Bearing, polymer, technology, centering, adhesive bonding.*

Введение

Применение полимерных материалов при ремонте автомобилей позволяет снизить материалоемкость конструкции и затраты на ремонт. Использование адгезивов вместо сварки при получении неразъемных соединений позволяет исключить нагрев деталей, который является причиной изменения структуры металла, возникновения деформаций и коррозии.

Применение адгезивов, при сборке прессовых соединений позволяет увеличить допуск на изготовление валов, что значительно удешевляет их производство, исключает деформации и напряженное состояние деталей при запрессовке, возникающие при посадке с большим натягом. Фиксация подшипников адгезивами исключает возникновение фреттинг-коррозии на посадочных местах валов, корпусных деталей и подшипников, увеличивает ресурс вышеуказанных деталей [1...2].

Отсутствие изменений в структуре металла, деформации деталей, фреттинг-коррозии посадочных мест, снижение контактных напряжений определяют высокую эффективность использования полимерных материалов при ремонте машин [3...5].

Технология восстановления посадок подшипников качения коробок передач должна обеспечивать, как неподвижность посадок, так и заданную кинематическую точность

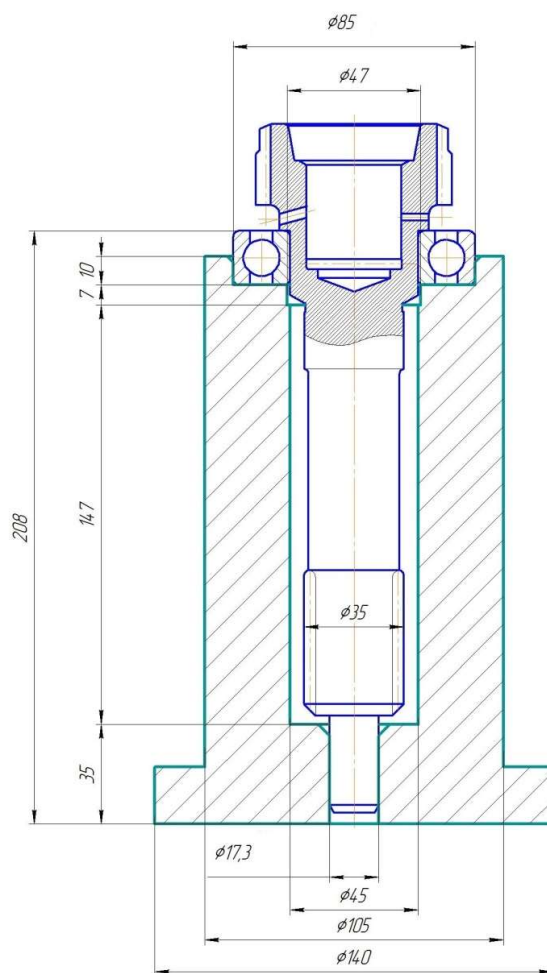
зубчатых зацеплений. От точности размеров восстановленных деталей сборочной единицы будет зависеть точность взаимного расположения осей валов.

Основным фактором, влияющим на выкрашивание зубьев шестерен коробок передач при эксплуатации, являются нагрузки от перекоса в зацеплении. Увеличение нагрузки приводит к значительному снижению долговечности зубчатого соединения. Основная причина заключается в уменьшении площади контакта сопрягаемых зубьев при перекосе осей валов.

Для достижения необходимой точности зубчатого зацепления при восстановлении посадок подшипников качения, используют различные центрирующие приспособления.

Материалы и методы исследования

Для обеспечения необходимой соосности в соединении «вал ведущий-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-53 разработано центрирующее приспособление (рисунок 1).



1 – центрирующее приспособление; 2 – вал; 3 – подшипник

Рисунок 1. Центрирующее приспособление для склеивания ведущего вала с подшипником коробки передач ГАЗ-53

Центрирующее приспособление 1 изготовлено из стали 10 ГОСТ 1050-88. Адгезив наносится на внутреннее кольцо подшипника 209, после чего подшипник 2 устанавливается в приспособление. Вал 3 устанавливается в центрирующее приспособление после нанесения на его посадочную поверхность адгезива. После установки вала в приспособление, вал проворачивают на один оборот для равномерного распределения полимера.

Для обеспечения необходимых точностных характеристик центрирующего приспособления составлена сборочная размерная цепь и определены номинальные размеры составляющих звеньев. В качестве замыкающего звена приняли значение смещения оси вала от оси подшипника, так как именно этот размер определяет такие показатели работы вала в коробке передач как долговечность, плавность хода, бесшумность и т.п. После этого провели расчеты размерной цепи различными методами.

Анализ проведенных расчетов показал, что расчет размерной цепи методом максимума-минимума требует повышенной точности составляющих звеньев размерной цепи. Требуемая точность может существенно повышать среднюю экономическую, а иногда достижимую точность, соответствующую существующим технологическим методам обработки.

Вероятностный метод расчета способом одного квалитета обеспечивает точность составляющих звеньев размерной цепи достаточной для обеспечения необходимой величины соосности вала и подшипника. При этом значительно сокращаются затраты на изготовление центрирующего приспособления по сравнению с методом максимума-минимума. Поэтому окончательно выбрали эту методику расчета.

По выбранной методике проведен расчет точностных характеристик центрирующего приспособления для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-53 (рисунок 2).

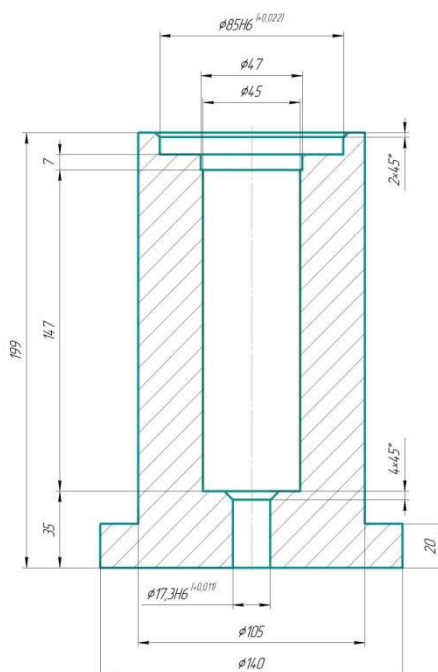


Рисунок 2. Центрирующее приспособление для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-53

В ступень максимального диаметра (85 мм) устанавливается подшипник качения 209, после нанесения на его внутреннее кольцо нанокompозита. Для удобства монтажа подшипника выполнена фаска. Подшипник устанавливается в центрирующее приспособление с зазором. Минимальный зазор составляет 0 мм, а максимальный 0,035 мм (посадка Н6/16).

Ступень диаметром 17,3 мм необходима для базирования вала по неизношенной поверхности хвостовика. Здесь так же предусмотрена фаска для удобства монтажа вала. Хвостовик вала устанавливается в центрирующее приспособление с зазором. Минимальный зазор составляет 0,016 мм, а максимальный 0,038 мм (посадка Н6/f6).

Вывод

Разработано центрирующее приспособление для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-53. Центрирующее приспособление обеспечивает отклонение от соосности соединения «ведущий вал-подшипник» не более 50 мкм.

Список литературы

- [1] *Ли, Р. И.* Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин [Текст]: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
- [2] *Ли, Р.И.* Технология производства металлополимерных подшипников качения [Текст] / Р. И. Ли, М. Р. Киба // Клеи. Герметики. Технологии – 2016. – №1. – С. 29-33.
- [3] *Коломейченко, А.В.* Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования [Текст] / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16-21.
- [4] *Жачкин, С.Ю.* Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий [Текст] / Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 130-134.
- [5] *Кононенко, А.С.* Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов. [Текст] / Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. – С. 89-94.

УДК 620.178.325.2

МЕТОДЫ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

METHODS OF FATIGUE TESTING OF POLYMERIC MATERIALS

Мельников Антон Юрьевич¹, Коломейченко Александр Викторович²

¹ Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

² Орловский государственный аграрный университет, Орел, Россия

Anton Melnikov¹, Aleksandr Kolomeychenko²

¹ Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

² Orel State Agrarian University, Orel, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы усталостных испытаний материалов конструкционного и функционального назначения. Описаны методы испытания на выносливость полимерных материалов, дан анализ достоинств и недостатков. В заключении показаны основные направления совершенствования методов усталостных испытаний полимерных материалов, предназначенных для восстановления посадок подшипников качения в узлах автотракторной техники.

Ключевые слова: полимерный материал, восстановление, методы испытаний, усталость, выносливость.

Abstract

The main methods of fatigue testing of structural and functional materials are considered in the article. Methods of testing for endurance of polymeric materials are described, an analysis of merits and demerits is given. In conclusion, the main directions of perfection of methods of fatigue testing of polymeric materials intended for restoration of bearings of rolling bearings in the nodes of autotractor engineering are shown.

Key words: polymeric material, restoration, test methods, fatigue, endurance.

Введение

Развитие современной науки и техники в области авиации, автотранспортной техники, атомной энергетики и других отраслей требует расширения круга вопросов, подлежащих исследованию в области усталости материалов. Информация, получаемая классическими, длительными испытаниями на усталость, иногда теряет свою ценность из-за несвоевременности ее получения. Между тем, данные ускоренных испытаний могут быть вполне достаточными для оперативных решений по совершенствованию конструкций и освоению их производством в сжатые сроки.

Цель исследований – изучить методы усталостных испытаний конструкционных материалов.

1. Методы усталостных испытаний

1.1 Метод Локати

Метод Локати может быть применен при изгибе, растяжении-сжатии и кручении; симметричных и несимметричных циклах нагружения; наличии и отсутствии концентраторов напряжений; нормальной (+20°C) температуре окружающей среды; отсутствии влияния агрессивной среды.

Основной критерий для определения предела выносливости – полное разрушение образца, а также появление микро- или макротрещины в образце.

Метод Локати применяется главным образом для образцов из материалов, имеющих физический предел выносливости, т.е. правая часть ветви кривой выносливости является прямой, параллельной оси абсцисс. Для материалов, не имеющих предел выносливости, могут быть подобраны режимы нагружения и параметры условных кривых выносливости таким образом, чтобы полученные методом Локати оценки были близки к условному пределу выносливости на заданной базе [1].

Этот метод предусматривает определение предела выносливости путем испытания одного – трех образцов с последующим усреднением оценок предела выносливости при ступенчатом увеличении нагрузки. В основе метода лежит гипотеза Пальмгрена-Майнера о линейном характере накопления усталостного повреждения материала, согласно которой степень повреждения материала пропорциональна отношению циклов нагружения n_i при данном уровне напряжения к долговечности N_i , при этом уровне напряжения в условиях постоянной амплитуды, то есть условие разрушения можно записать в виде

$$\sum_1^k \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (1)$$

где k – число уровней напряжений, при которых проводятся испытания.

Метод Локати относится к группе ускоренных методов оценки выносливости. По результатам испытаний образцов при ступенчатом нагружении до излома подсчитывается сумма относительных долговечностей $\sum \frac{n_i}{N_i}$, где значения долговечностей N принимаются из семейства предположительных кривых усталости $a - в$ (рис. 1). Для построения условных (предполагаемых) кривых выносливости $a, б, в$ в координатах $\sigma_R - N$ или $\sigma_R - \lg N$ проводят испытания в следующей последовательности. Кривую a строят по результатам испытаний, при которых 95 % образцов разрушилось, в этом случае предел выносливости будет σ_R^a . Кривую $б$ строят по результатам испытаний, при которых 50 % образцов разрушилось, в этом случае предел выносливости будет $\sigma_R^б$. Кривую $в$ строят по результатам испытаний, при которых 5 % образцов разрушилось, в этом случае предел выносливости будет $\sigma_R^в$ [1]. Затем намечается программа испытания образца или детали таким образом, чтобы график ступенчатого увеличения нагрузки совпал с этими условными кривыми усталости. После проведения испытаний и разрушения образца экспериментальные данные обрабатывают по формуле (1) для каждой из трех условных кривых усталости. Результаты наносят на график в координатах $\sum \frac{n_i}{N_i} - \sigma_R$ (рис. 2).

Из точки, на оси ординат равной единице, проводим прямую до пересечения с гра-

филом, опускаем перпендикуляр к оси абсцисс, это и будет искомым пределом выносливости $\sigma_{R \text{ иск}}$.

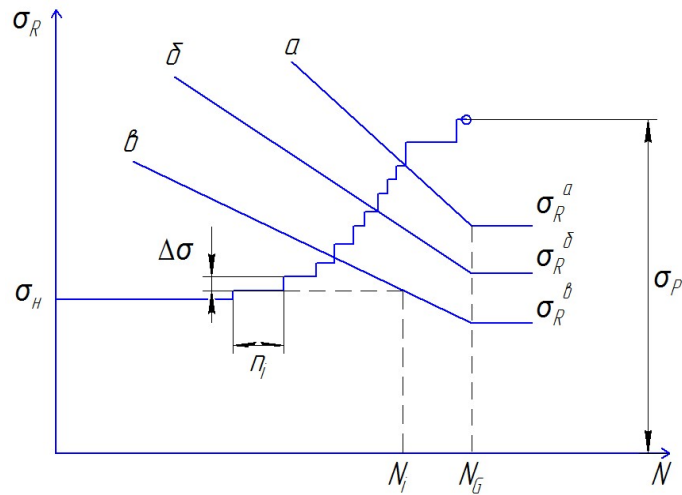


Рисунок 1. Семейство предположительных семейств усталости метода Локати

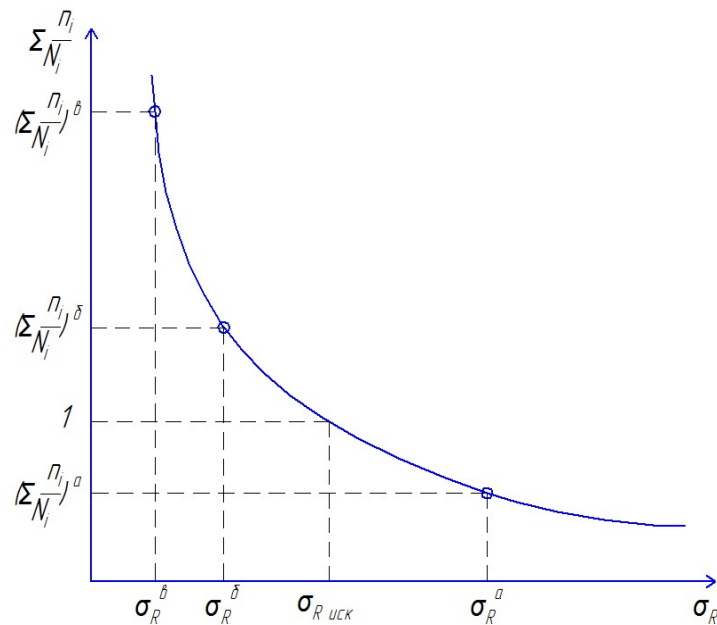


Рисунок 2. График зависимости $\sum \frac{n_i}{N_i}$ от σ_R

Достоинства метода:

- 1). Достаточно удовлетворительная точность оценки предела выносливости — в пределах $\pm 8\%$.
- 2). Высокий коэффициент ускорения, при известных предположительных кривых усталости a , b и v .

Недостатки метода:

- 1). Линейный характер накопления усталостных повреждений материала справедлив

не для всех исследуемых конструкционных материалов, т.е. $\sum_1^k \frac{n_i}{N_i} = a, a \neq 1$ ($a = 0,2 \dots 5$).

2). Высокая трудоёмкость метода, поскольку требуется большое количество испытаний и образцов для построения кривых усталости a , b и v .

Поэтому представляет научный интерес исследование методов малоцикловых усталостных испытаний.

1.2 Метод одного образца

Один из методов ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности. Метод определения предела выносливости по испытанию одного образца заключается в том, что образец начинают испытывать при напряжении ниже предела выносливости, а затем после прохождения базы испытания, тот же образец испытывают при несколько более высоких напряжениях на той же базе и т. д. до тех пор, пока он не разрушится. За предел выносливости принимается напряжение, предшествующее тому, при котором произошел излом.

В качестве образцов используются детали, сопряжения, образцы круглого и прямоугольного профиля, и, кроме того, образцы с концентраторами напряжений. Ориентировочные значения базы испытания для некоторых объектов из стали: образцы материала – 2×10^6 , несварные детали 10^6 - 5×10^6 , сварные соединения 2×10^6 - 10^7 , зубчатые передачи 3×10^6 [2].

Достоинства метода: для испытаний требуется только один образец.

Недостатки метода: в ходе повторных испытаний накапливается усталость, из-за которой найденный предел выносливости будет несколько меньше.

1.3 Метод П. Е. Кравченко

Метод Кравченко основан на нахождении предела выносливости путём построения графиков, в которых по оси ординат откладываются значения напряжения цикла, а по оси абсцисс – величина, обратная числу циклов нагружения (рис. 3).

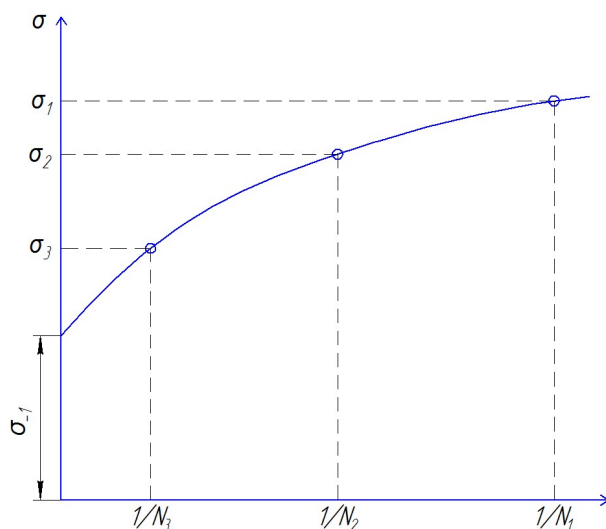


Рисунок 3. График к определению предела выносливости методом Кравченко

Это метод ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности материала. Для испытаний используют детали, соединения или образцы материалов. Испытывают два-три образца при напряжениях $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > \sigma_{-1}$. Методом экстраполяции определяют предел выносливости как ординату точки пересечения кривой с осью ординат (абсцисса этой точки равна нулю, что отвечает условию $N = \infty$, а $1/\infty = 0$). Уточняют предел выносливости испытаниями одного-двух образцов при пределе выносливости, полученном экстраполяцией, т.е. $\sigma = \sigma_{-1}$.

Достоинства метода: ускорение испытаний и уменьшение количества опытов.

Недостатки метода: из-за уменьшения количества испытываемых образцов увеличивается погрешность в установленном пределе выносливости.

1.4 Метод В. И. Кудрявцева

Метод Кудрявцева, относящийся к методам ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности, основан на нахождении предела выносливости путём экстраполяции точек до пересечения с осью ординат. Испытывают два-четыре образца при $\sigma = 0,7\sigma_B$ и при близком к нему значению. Строят график, в координатах которого, по оси абсцисс откладывают значения σ^2 , а по оси ординат значения $\sigma^2 \text{Lg} N$ (рис. 4).

Определяют уравнение

$$\sigma^2 = A / (\text{Ln} N - B), \quad (2)$$

где A – отрезок прямой, отсекаемый линией графика по оси y ; B – тангенс угла наклона прямой графика к оси x .

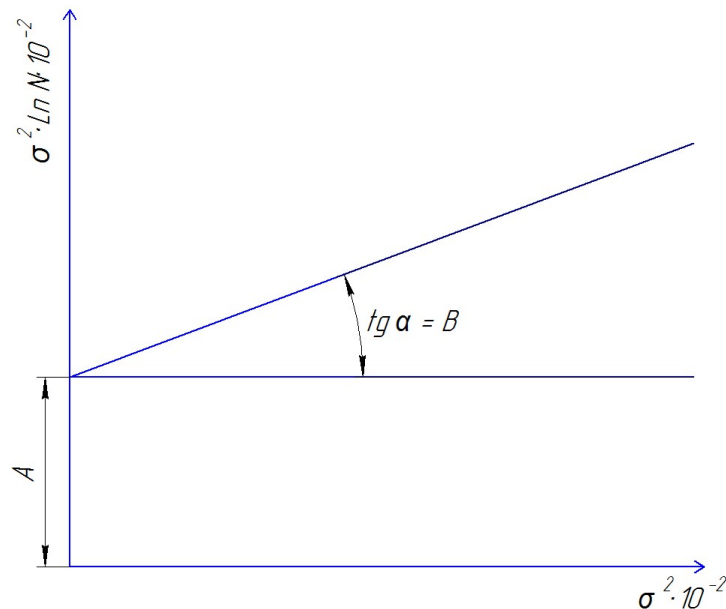


Рисунок 4. График к определению предела выносливости методом Кудрявцева

База циклов нагружения в методе Кудрявцева составляет $N = 10^7$. В этом случае, по уравнению (2) находят расчетное значение предела выносливости

$$\sigma_7 = \sqrt{A / (7 - B)}. \quad (3)$$

Затем определяют приближенный предел выносливости, близкий к экспериментальному

$$\sigma_{-1np} = \frac{\sigma_7 - 5,4}{0,755}. \quad (4)$$

В заключении уточняют предел выносливости путем испытания образцов при напряжении $\sigma = \sigma_{-1np}$.

Достоинства метода: ускорение испытаний и уменьшение количества опытов.

Недостатки метода: из-за уменьшения количества испытываемых образцов увеличивается погрешность в найденном пределе выносливости.

1.5 Метод А. Г. Шубина

Метод Шубина предусматривает определение долговечности и максимальной допустимой толщины полимерного покрытия при восстановлении изношенных посадочных мест подшипников качения в корпусных деталях полимерными композитами.

Исследования долговечности неподвижных соединений проводят на вибростенде, основу которого составляет электромеханический вибратор, конструктивно являющийся асинхронным короткозамкнутым электродвигателем. На концах вала ротора крепятся дебалансы, создающие возмущающие колебания.

Долговечность восстановленной посадки подшипника уменьшается с увеличением толщины полимерного покрытия. За базу испытаний на долговечность принята $N = 5,76 \times 10^7$ циклов, что соответствует 330 ч работы стенда. Испытания восстановленных посадок проводят до разрушения, которое фиксируют по сдвигу наружного кольца подшипника относительно сопрягаемого отверстия подшипникового щита.

Испытания проводят, начиная с максимальной толщины полимерного покрытия, и уменьшают толщину до тех пор, пока образец не выдержит базу испытаний.

На рис. 5 показана долговечность восстановленной посадки подшипников 209 при различной толщине полимерного покрытия из эластомера Ф-40С и радиальной нагрузке 20 кН [3].

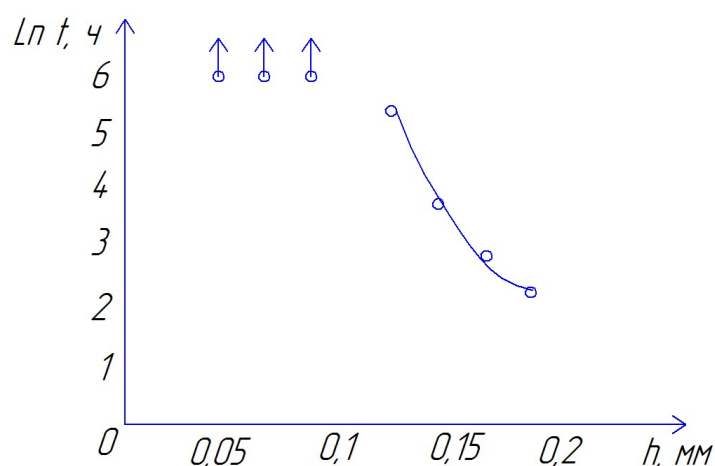


Рисунок 5. Кривая Веллера

Стрелки у точек означают, что проворота кольца подшипника во время испытаний не зарегистрировано, т.е. разрушения нет. Из графика видно, что ветвь разрушений имеет нелинейный характер – типичная кривая Веллера.

В работах В. В. Курчаткина, Р. И. Ли, А. В. Бочарова проводили многочисленные исследования долговечности полимерных материалов, которые показали типичный характер кривой Веллера.

К недостаткам метода Шубина следует отнести:

- 1). Большая трудоёмкость испытаний.
- 2). Результаты испытаний применимы для ограниченного диаметра типоразмеров подшипников.

Анализ вышеописанных методов испытаний показал, что представляет научный и практический интерес адаптация и модернизация метода Кравченко для исследования долговечности при циклическом нагружении посадок подшипников качения, восстановленных полимерными материалами.

Список литературы

- [1] *Школьник Л.М.* Методика усталостных испытаний: справочник. – М.: Metallurgy, 1978. – 306 с.
- [2] *Глушкова М.В.* Надёжность в технике. Методы ускоренных испытаний на усталость для оценки пределов выносливости материалов, элементов машин и конструкций. Методические указания. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 27 с.
- [3] *Кирсанов Ф.А.* Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Липецк, 2015. – 180 с.

УДК 631.95

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ НЕФТЕСКЛАДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

CONCEPTUAL BASES FOR THE CREATION OF INTELLECTUAL OIL-SECONDARY FOR AGRICULTURAL PURPOSE

Нагорнов Станислав Александрович, Корнев Алексей Юрьевич,
Левин Максим Юрьевич

*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*

Stanislav Nagornov, Aleksey Kornev, Maksim Levin

*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products
in agriculture, Tambov, Russia*

Аннотация

Разработаны концептуальные основы создания интеллектуальных сельских нефтескладов, обуславливающих предотвращение качественных и количественных потерь моторного топлива от испарения и обводнения. Приведены результаты использования технологии BigData и нейронных сетей для прогнозирования спроса на топливо, оценки и выявления рисков нефтесклада. Предложена система проведения удаленного контроля состояния резервуаров и нефтесклада при помощи мобильного приложения.

Ключевые слова: *нефтесклад, хранение топлива, нейронная сеть, прогнозирование.*

Abstract

Conceptual frameworks have been developed for creating intelligent rural oil depots that prevent the prevention of qualitative and quantitative losses of motor fuel from evaporation and watering. The results of using BigData technology and neural networks to predict the demand for fuel, assess and identify risks of oil storage are presented. A system for remote monitoring of reservoir and oil storage conditions using a mobile application is proposed.

Key words: *oil storage, fuel storage, neural network, forecasting.*

1. Введение

По экспертным оценкам к 2030 году потребление моторного топлива в сельском хозяйстве должно увеличиться в 4 раза, что делает краеугольной проблему удовлетворения растущей потребности сельскохозяйственного производства в качественном моторном топливе. Сезонность возделывания сельскохозяйственных культур в растениеводстве и неравномерность закупки моторных топлив, в основном, после реализации урожая, требуют создания их запасов, для хранения которых используются нефтехозяйства.

Нефтесклад – один из самых дорогостоящих объектов нефтехозяйств, включающий инженерные сооружения, резервуарный парк, оборудование и технические средства для приема, хранения и отпуска нефтепродуктов. Резервуары для хранения нефтепродуктов являются основными сооружениями нефтесклада. Они являются своеобразными «буферными емкостями», предназначенными для накопления количества и сохранения качества моторного топлива при неравномерных поставках и потреблении, характерных для сельскохозяйственного производства. От технологических параметров резервуарного парка и технического уровня размещенного на нем оборудования в значительной степени зависит сохранение качества и сокращение до минимума потерь моторного топлива при приеме, хранении и отпуске.

Создание в АПК РФ материально-технической базы нефтехозяйств и их эксплуатация требуют существенных капитальных и текущих затрат. Это ставит в ряд особо важных проблем обоснования рациональных размеров нефтескладов, приведения их в соответствие с решаемыми производственными задачами. Решение указанных проблем непосредственно связано с созданием интеллектуального нефтесклада (*Умный нефтесклад - Smart oil storage*), в котором соединяются информационные и операционные технологии. На базе передового опыта и инновационных технологий моделирования и автоматизации технических средств, и оборудования нефтесклада, информационных технологий и телекоммуникаций, необходимо разработать систему, позволяющую легко и эффективно управлять потоками нефтепродуктов и их хранением дистанционно. *Умный нефтесклад* позволит выбрать эффективные решения по выбору оптимального объема и размещения резервуарного парка, конфигурации емкостей, сократить потери нефтепродуктов и сохранить их качество, а также сократить существующие риски и создать более комфортные условия труда за счет использования цифровых технологий. Сюда следует отнести объединение информации о всех нефтескладах и резервуарах хозяйства в единую базу. Получение и хранение данных о физических параметрах топлива в резервуаре, таких как давление, температура, уровень заполнения резервуара. Автоматизация обнаружения утечек топлива, роботизированное включение систем защиты топлива от обводнения или испарения. С помощью технологий BigData и нейронных сетей прогнозировать спрос на топливо а также времени работы установок защиты топлива при хранении.

2. Методы исследования

Основой для создания интеллектуального нефтесклада и исследования разработанных алгоритмов является функциональный анализ, теория дифференциальных уравнений и эволюционное моделирование.

3. Полученные результаты и их обсуждение.

Для контроля технологических параметров (температура, давление, уровня топлива) резервуаров при хранении светлых нефтепродуктов, и управления системой защиты от обводнения и испарения топлива разработана методическая база, включающая алгоритмы и программу с датчиками контроля показателей для автоматизированного управления резервуарами горизонтального типа на нефтескладе [1]. Программа включает в себя показатели технологических параметров с датчиков давления, температуры, объема всего резервуарного парка (рис. 1) с возможностью просмотра тренда показателей и паспортных данных отдельного резервуара (рис. 2).

Показатели с датчиков сохраняются в базе данных. База данных является источником информации для оперативной оценки и прогноза качества топлива в резервуаре с применением нейронной сети [2].

Мобильная версия программы для Android или iOS позволяет получать информацию о состоянии нефтесклада удаленно на смартфон, отправлять сообщения SMS или на электронную почту. Таким образом, оператор склада или руководитель может удаленно контролировать состояние нефтесклада, запасов топлива, получать сигналы о проблемах или утечках топлива и своевременно реагировать на них.

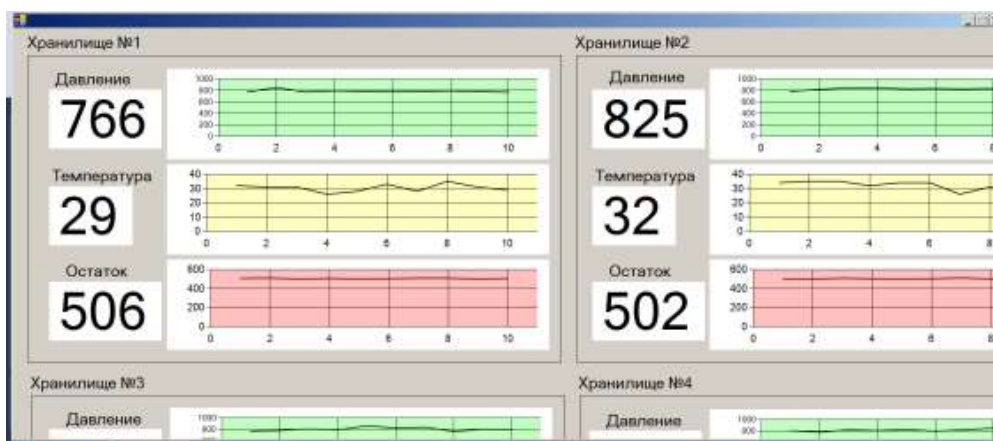


Рисунок 1. Снимок экрана программы просмотра технологических параметров с датчиков

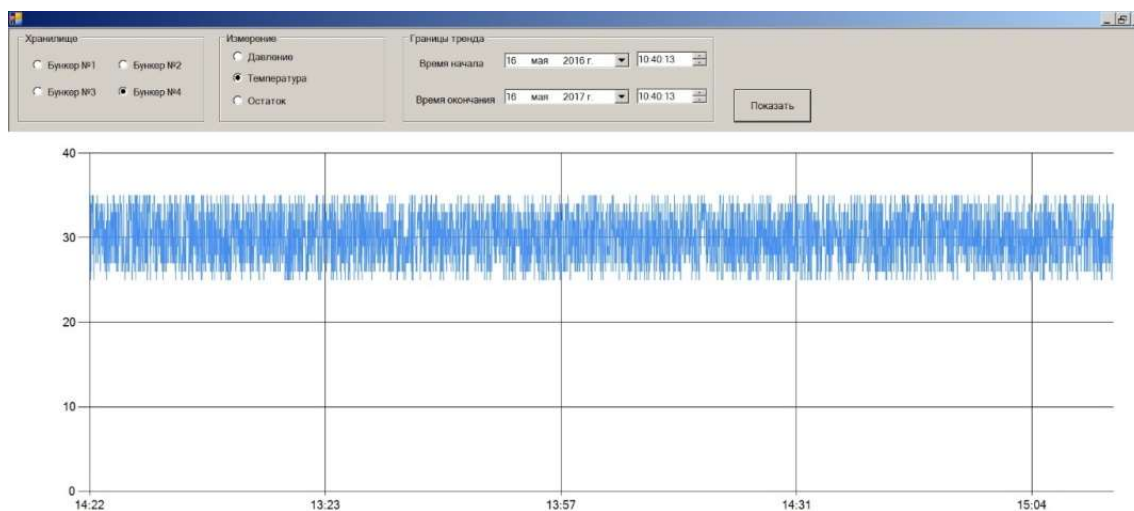


Рисунок 2. Снимок экрана программы просмотра тренда показателей и паспортных данных отдельного резервуара

Программа управляет контроллером включения системы защиты от обводнения и испарения топлива. При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «вдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от обводнения атмосферной влагой. В данном случае поток воздуха направляется на мембрану, которая задерживает атмосферную воду.

При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «выдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от испарения. В данном случае поток воздуха направляется на мембрану, которая задерживает углеводороды и пропускает воздух. Схематическое изображение процесса приведено на рис. 3.

Для управления автоматизированной системой нефтесклада с помощью нейронных сетей и Big Data появилась задача хранения данных. Это касается, как входной информации для обучения, так и информации, которая появляется на выходе работы системы – для корректировки работы искусственного интеллекта.

Подход, основанный на применении баз данных, где определение данных отделено от приложений, очень похож на подход, используемый при разработке современного программного обеспечения, когда наряду с внутренним определением объекта существует его внешнее определение. Пользователи объекта видят только его внешнее определение и не задумываются над тем, как он определяется и функционирует. Одно из преимуществ такого подхода, а именно абстрагирование данных, заключается в том, что можно изменить внутреннее определение объекта без каких-либо последствий для его пользователей, при условии, что внешнее определение объекта остается неизменным. Аналогичным образом, в подходе с использованием баз данных структура данных отделена от приложений и хранится в базе данных. Добавление новых структур данных или изменение существующих никак не влияет на приложения, при условии, что они не зависят непосредственно от изменяемых компонентов. Например, добавление нового поля в запись или создание нового файла базы данных никак не повлияет на работу имеющихся приложений. Однако удаление поля из используемого приложением файла повлияет на это приложение, а потому его также потребуется соответствующим образом модифицировать [3].



Рисунок 3. Схема процесса роботизации сохранения качества топлива при хранении

В системе автоматизированного проектирования Sybase PowerDesigner 10 была разработана модель данных. В базе данных хранится информация по резервуарам (таблица «Хранилище»). К каждому резервуару подключены датчики, описание которых приве-

дено в таблице «Датчик». Тренды измерений каждого датчика хранятся в таблице «Измерение».

Для ускорения доступа построен индекс по всем атрибутам. Индексирование данных по атрибутам необходимо для ускорения соединения таблиц. При подключении нескольких резервуаров к информационной системе увеличится скорость прироста данных и их объем. Поэтому для обработки данных необходимо рассматривать «Big Data» как технологии обработки большого количества данных, следует отметить, что эта инновация включает в себя более сложные инструменты обработки информации, имеющие потенциал к более эффективному управлению и анализу больших информационных потоков. Таким образом, организации, использующие технологии «Big Data», имеют конкурентоспособное преимущество перед компаниями-аналогами, ориентированными на традиционные способы обработки информации, а также потенциал к динамичному развитию и совершенствованию аналитических процессов.

При наличии данных по другим контролируемым параметрам настройке учета отпусков приемки-выдачи топлива нейронная сеть будет способна планировать спрос на топливо, контролировать работу резервуаров и планировать их ремонт, предупреждать о возможных рисках на нефтескладе.

4. Выводы

Таким образом, современное ведение сельского хозяйства невозможно без применения управления нефтескладом с использованием интеллектуальных систем, искусственного интеллекта. Внедрение подобных систем позволит обеспечить технологическую и экологическую безопасность складов, сохранить качество хранимого топлива, спрогнозировать ремонты и расходы. Виртуально облачная система автоматизации позволит достичь таких результатов, как:

- 1) гибкость системы автоматизации – возможность подключения дополнительных моделей, таких как факторы риска, прочих виртуальных и реальных датчиков не нарушая целостности модели;
- 2) отсутствие контроллеров и датчиков, экономия средств на их покупку и обслуживание;
- 3) возможность автоматизации морально и физически устаревших объектов, не нарушается целостность объекта автоматизации.

Список литературы

- [1] *Левин М.Ю., Нагорнов С.А.* Система автоматизированного управления горизонтальными резервуарами на нефтескладе / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660610 от 22.09.2017
- [2] *Нагорнов С.А., Левин М.Ю.* Показатели качества биодизеля по технологическим параметрам рапсового масла для обучения нейронной сети / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012620041.–Заявка № 2011620865 от 17 ноября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 января 2012г.
- [3] *Дейт К.* Введение в системы баз данных. 6-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2000. – 848 с.

УДК 629.113

**РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ
«СУХОЙ» ДВУХДИСКОВОЙ МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ В ТРАНСМИССИИ
С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ ПОД НАГРУЗКОЙ**

**THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING OF DRY
DOUBLE-DISK CLUTCH IN THE DRIVETRAIN WITH THE GEAR SHIFT
UNDER LOAD**

Новожилов Борис Анатольевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Boris Novozhilov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются результаты математического моделирования работы «сухой» двухдисковой муфты сцепления в трансмиссии с переключением передач под нагрузкой. Приведены: схема действия двойного сцепления, зависимость работы буксования: от типа закона включения, от времени включения сцепления, от интервала перекрытия при переключении сцеплений для пятиступенчатой коробки передач.

Ключевые слова: *двухпоточное сцепление, трансмиссия с двойным сцеплением, трансмиссия с параллельным включением.*

Abstract

This article discusses the results of mathematical modeling of the "dry" double-disc clutch in the transmission with gear shift under load. Given: scheme of the dual-clutch, the dependence of the slipping work of: the type of the law of inclusion, from the time the clutch from the interval PE recruit when switching the clutch to a five-speed gearbox.

Key words: *dual clutch, transmission-dual clutch, transmission with parallel connection.*

Введение

Широко известная схема классической ступенчатой трансмиссии, состоящей из фрикционного сцепления (ФС) и коробки передач (КП) представляет собой одну ветвь передачи вращающего момента двигателя. По этой причине при изменении передаточного числа трансмиссии происходит разрыв потока мощности. Автоматизация механической трансмиссии такого типа не решает этой проблемы.

В последнее время ведущими автомобильными научными центрами и фирмами промышленно развитых стран активизированы работы по созданию автоматических трансмиссий, в том числе и механических автоматических трансмиссий с двумя сцеплениями (ТДС), в которых отсутствует разрыв потока мощности [1]. При этом если для серийно выпускаемых легковых автомобилей уже есть реализованные технические решения, то для серийных грузовых автомобилей и тракторов таких решений нет.

Как показала конструктивная проработка, несмотря на «двойное» усложнение, ТДС

вполне вписывается в картеры ФС и КП своего прототипа. ФС сухого типа приобретает второй ведомый диск и изменённый нажимной механизм, а КП дополнительный полый первичный вал, расположенный концентрично основному. Количество рядов шестерён в КП сохраняется соответственно числу передач, с той лишь разницей, что шестерни четных и нечетных передач соединены с разными первичными валами.

Основные преимущества ТДС – простота и малый вес по сравнению с автоматическими трансмиссиями. При этом величина потерь мощности аналогична механическим трансмиссиям, а тяговая динамика при переключении сопоставима с автоматическими трансмиссиями. Главное же преимущество ТДС состоит в том, что при использовании существующих технологических возможностей по изготовлению ступенчатых передач, достигаются качественно более высокие эксплуатационные свойства выпускаемых трансмиссий.

1. Модели и методы

1.1. Постановка задачи

Идея ТДС не нова, однако до сих пор не нашла своего применения в отечественном автотракторостроении. Этому есть несколько причин: не разработан достаточно простой и эффективный нажимной механизм двойного ФС, не разработаны простые и эффективные элементы управления двойными ФС и КП, не изучены переходные процессы в ТДС с различными типами ФС, не установлена степень влияния перекрытия ФС при переключении передач на динамические нагрузки в ТДС. Это и многое другое является темами научных исследований в направлении создания приемлемой конструкции и совершенствования функциональной схемы ТДС

В данной статье рассматриваются результаты математического моделирования переходных процессов при переключении «сухой» двухдисковой муфты сцепления, выполненной по предлагаемой схеме (рисунок 1, а) 2], в которой используется один элемент управления 7 при переключении сцеплений.

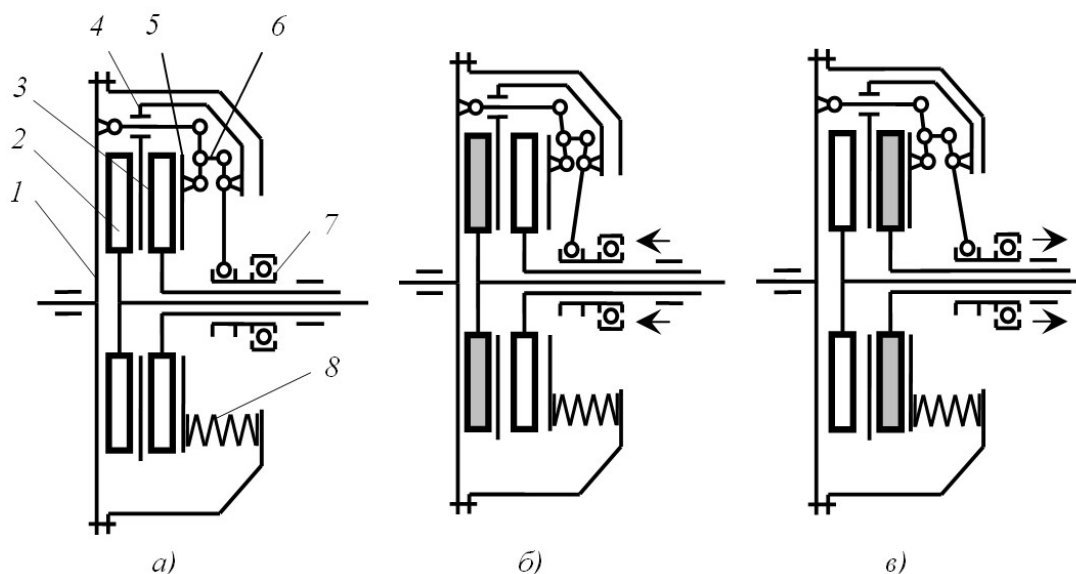


Рисунок 1. Схема действия нажимного механизма двухпоточного сцепления:
а - в переходном режиме; б, в - в режиме включения (выключения)

В силу функциональных особенностей предлагаемого двойного сцепления, имеющего два ведомых диска 2 и 3, соединенных с двумя выходными валами, в нем происходит одновременно два взаимобратных процесса включения - выключения. Такая взаимозависимость объясняется использованием одной муфты включения 7 и общего для обоих дисков рычажного нажимного механизма 6, схема действия которого приведена на рисунке 1, б, в.

1.2. Методы исследования

В переходном режиме муфта включения 7 и рычажный нажимной механизм 6 находятся в одном из промежуточных положений, (рисунок 1, а) в котором оба ведомых диска 2 и 3 под действием нажимных дисков 4 и 5, и пружин 8 передают каждый часть максимального момента муфты $M_{сц}$ на первичные валы коробки передач, причем $M_{сц1} + M_{сц2} = M_{сц}$ в периоде t_2 , как это показано на рисунке 2, где приведен принципиальный характер изменения величины моментов трения в процессе переключения двойного сцепления.

В режиме включения (выключения) муфта включения 7 перемещается под воздействием механизма привода сцепления в крайнее левое (рисунок 1, б) или правое (рисунок 1, в) положение, при этом передача крутящего момента двигателя на один из ведомых дисков полностью прекращается, в то время как на другой ведомый диск (на рисунке 1. выделен серым цветом) возможна передача максимального момента муфты $M_{сц}$. На рисунке 2, таким режимам соответствуют периоды t_1 и t_3 .

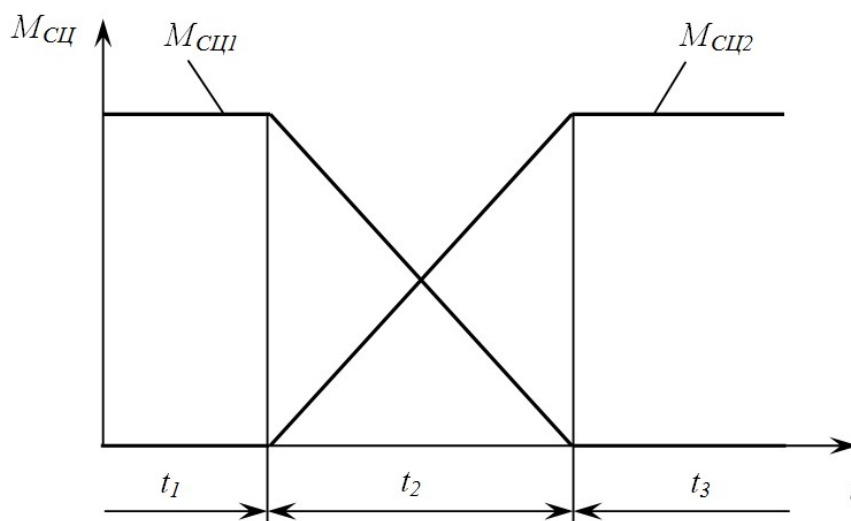


Рисунок 2. Процесс переключения двойного сцепления

Принципиальным отличием «сухих» муфт сцепления от работающих в масле является более частая их регулировка, вследствие большего относительного износа пар трения при эксплуатации. Эксплуатационный износ пар трения напрямую зависит от величины работы буксования при переключении сцеплений, поэтому изучение переходного процесса при переключении сцепления является важной задачей в направлении снижения суммарной работы буксования. Для определения основных факторов, влияющих на величину работы буксования, было проведено математическое моделирование рабочего процесса ТДС, и рассчитана суммарная величина работы буксования при переключе-

нии передач: а) при различном характере закона нарастания (убывания) момента трения сцепления; б) при различном времени включения (выключения) сцепления; в) при различном времени перекрытия сцеплений.

1.3. Полученные результаты

Результаты математического моделирования представлены ниже:

а) зависимость работы буксования от типа закона включения и выключения сцепления при времени включения сцепления $t_{вкл}=1,5$ с, ($t_{вкл}=t_2$, на рисунке 2).

Таблица 1. Величина работы буксования при различных законах переключения

Тип закона	Работа буксования A_6 , кДж
Линейный	143,89
Вогнутый	146,45
Выпуклый	143,61

б) зависимость работы буксования от времени включения сцепления для линейного закона включения и выключения сцепления:

Таблица 2. Величина работы буксования в зависимости от времени включения $t_{вкл}$

Время включения, $t_{вкл}$ с.	Работа буксования A_6 , кДж
0,5	111,68
1,0	126,48
1,5	143,89

в) зависимость работы буксования при переключении передач от интервала перекрытия $t_{пер}$ при линейном законе включения и выключения сцепления, и времени включения сцепления $t_{вкл}=1,5$ с.

Таблица 3. Величина работы буксования в зависимости от интервала перекрытия $t_{пер}$

Интервал перекры- тия, с	Работа буксования A_6 , кДж			
	Переключе- ние 1-2	Переключе- ние 2-3	Переключе- ние 3-4	Переключе- ние 4-5
1,5	25,4363	32,8937	27,5737	12,5582
1,4	27,4358	37,3269	33,3508	15,7804
1,2	37,4282	56,6367	37,1355	19,9217
1,0	50,0305	68,1741	47,2060	26,4736
0,5	79,6566	99,7996	74,0481	41,7247
0	87,9085	105,194	88,4501	41,3446

Как показано на рисунке 2, интервал перекрытия $t_{пер} = t_2$, но в силу действия различных факторов, таких как неравномерный износ фрикционных накладок, отклонение от нормативных регулировок и т.п., он может быть меньше t_2 , как это показано на рисунке 3.

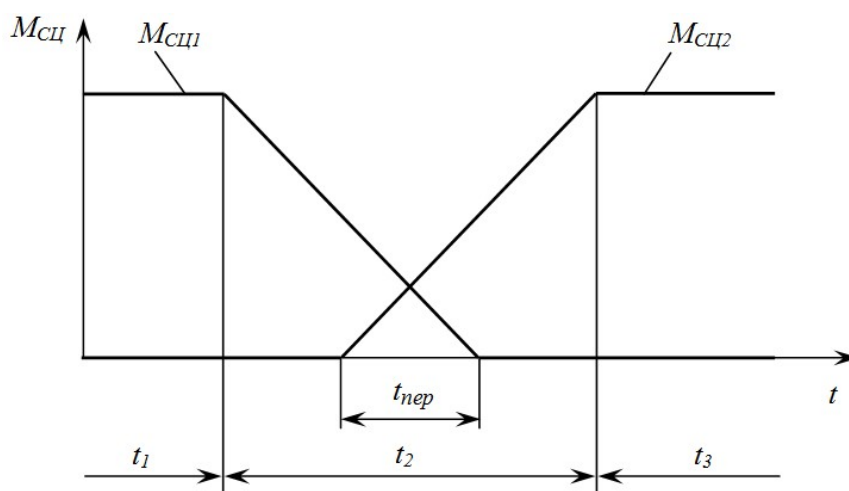


Рисунок 3. Процесс переключения двойного сцепления при уменьшении интервала перекрытия $t_{пер} < t_2$

1.3. Анализ результатов

Анализ приведённых результатов показывает, что наибольшее влияние на величину суммарной работы буксования оказывает интервал перекрытия при переключении сцеплений, а наименьшее – характер закона нарастания и убывания момента трения. Следовательно, создание долговечной ТДС с двойным сцеплением «сухого» типа возможно по двум направлениям: а) введение в конструкцию сцепления регулировочных элементов, поддерживающих заданный интервал перекрытия при эксплуатации; б) введение в алгоритм переключения операций по управлению двигателем, для кратковременного снижения вращающего момента.

Достоинствами рассматриваемого фрикционного сцепления являются: обеспечение безразрывности переключения передач; автоматическое поддержание определённого перекрытия при переключении сцеплений; простота управления одной муфтой включения и отсутствие эксплуатационной регулировки при равномерном износе фрикционных накладок [3].

Список литературы

- [1] Коробка передач PSG фирмы LuK с двухпоточным сцеплением // Автостроение за рубежом. №5, 2007г. С 5-7.
- [2] Пат. 84484 RU, МПК F16D 13/04. Муфта сцепления / Б.А. Новожилов, Н.В. Новожилова. №2009108965/22; Заявл. 11.03.2009; Опубл. 10.07.2009; Бюл. №19.
- [3] Новожилова Н.В. Двухпоточное сцепление с дифференциальным законом переключения / Н.В. Новожилова, Б.А. Новожилов // Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса», Екатеринбург: УГТУ-УПИ, - 2010. – С. 97–100. (ISBN 978-5-321-01735-7).

УДК 631.372

**ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ ПРИ ПРОХОДЕ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА**

**THE FORMATION OF THE STRESS-STRAIN STATE IN THE SOIL DURING THE
PASSAGE OF A CATERPILLAR TRACTOR**

Перегудов Николай Евгеньевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Nickolay Peregoodov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье приведены основные закономерности процесса деформирования почвенного слоя, обладающего реологическими свойствами, движителями гусеничных машин.

Ключевые слова: *напряжения, деформации, гусеничный движитель, почвенный слой, реология.*

Abstract

The article presents the basic laws of soil layer deformation process, which has rheological properties, the movers of tracked vehicles.

Key words: *stress, strain, caterpillar mover, soil, rheology.*

Введение

Гусеничный движитель передает на грунтовое основание нормальные нагрузки отдельными активными участками гусеницы, сосредоточенными вокруг опорных катков, а эпюра нормальных давлений приближается к трапециевидной или треугольной в зависимости от того, как относительно трака располагается опорный каток.

Сдвиговые нагрузки в слое грунта формируются за счет создаваемой касательной силы тяги и распределяются по длине опорной ветви гусеницы неравномерно, уменьшаясь к носовой части машины.

Деформационные свойства грунтов зависят от многих факторов, начиная от их структурного состава и заканчивая интенсивностью внешнего силового воздействия. В процессе деформирования почвенного слоя движителем гусеничного трактора происходит одновременное сжатие и сдвиг почвенного «кирпича» в сторону, обратную направлению движения машины.

При исследовании особенностей формирования и изменения во времени напряженно-деформированного состояния почвенного слоя в зоне контакта со звеном гусеничного движителя необходимо учитывать реологические свойства, проявляемые почвой.

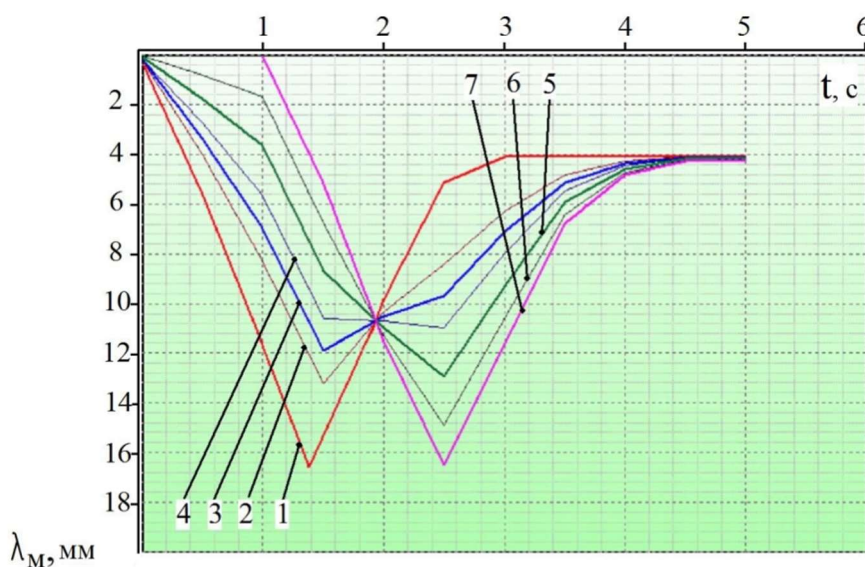
1. Методы исследований

Сложные процессы, происходящие под звеном гусеничного движителя, имеющего грунтозацепы с различными характеристиками, очень трудно описать математически. Поэтому следует использовать известный подход, когда применяется физическое моде-

лирование с получением уравнений регрессии, описывающих результаты внешнего проявления процесса взаимодействия звена с опорным основанием, а внутренние процессы не рассматриваются.

На специально разработанном стенде [1], [2] был проведен эксперимент по оценке влияния усилия натяжения гусеницы P , скорости агрегата V и толщины слоя моделируемого материала h на величину осадки двух соседних шарниров при перекачивании по ним опорного катка трактора ДТ-75.

Были выявлены основные особенности процесса деформирования моделируемого материала во времени с получением уравнений регрессии [3], [4]. Так, траектории шарниров и промежуточных точек трака близки к треугольным (рисунок 1, точки 1, 2, 3, 5, 6, 7) и трапециевидным (рисунок 1, точка 4).



1 - первый по ходу движения катка шарнир,
4 - точка середины трака,
7 - второй по ходу движения катка шарнир,
2, 3, 5, 6 - промежуточные точки

Рисунок 1. Траектории точек трака, полученные в ходе обработки данных эксперимента

Согласно положениям теории наследственной ползучести упруговязкопластичных материалов напряжения под траком $\sigma_n(t)$ определяются в каждой из точек по соответствующим уравнениям кривых релаксации через относительные деформации ε :

участок 1, где $0 \leq t \leq t_1$ (см. рисунок 2, а, б)

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon_{n_1} \cdot t - E \cdot \varepsilon_{n_1} \int_0^t T(t-\tau) \tau d\tau = E \cdot \frac{\varepsilon_n}{t_1} \cdot t - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{t_1} \int_0^t T(t-\tau) \tau d\tau; \quad (1)$$

участок 2, где $t_1 \leq t < t_2$ (см. рисунок 2, а)

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= E \cdot \varepsilon_{n_2} \cdot (t_2 - t) - E \cdot \varepsilon_{n_1} \int_0^{t_1} T(t-\tau) \tau d\tau - E \cdot \varepsilon_{n_2} \int_{t_1}^t T(t-\tau) (t_2 - \tau) d\tau = \\ &= E \cdot \frac{\varepsilon_n}{(t_2 - t_1)} \cdot (t_2 - t) - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{t_1} \int_0^{t_1} T(t-\tau) \tau d\tau - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^t T(t-\tau) (t_2 - \tau) d\tau. \end{aligned} \quad (2)$$

участок 2, где $t_1 \leq t < t_3$ (см. рисунок 2, б)

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= E \cdot \varepsilon_n - E \cdot \varepsilon_n \int_0^{t_1} T(t-\tau)\tau d\tau - E \cdot \varepsilon_n \int_{t_1}^t T(t-\tau)d\tau = \\ &= E \cdot \varepsilon_n - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{t_1} \int_0^{t_1} T(t-\tau)\tau d\tau - E \cdot \varepsilon_n \int_{t_1}^t T(t-\tau)d\tau, \end{aligned} \quad (3)$$

участок 3, $t_3 \leq t < t_4$ (см. рисунок 2, б)

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= E \cdot \varepsilon_{n_3} \cdot (t_4 - t) - E \cdot \varepsilon_{n_1} \int_0^{t_1} T(t-\tau)\tau d\tau - E \cdot \varepsilon_n \int_{t_1}^{t_3} T(t-\tau)d\tau - \\ &- E \cdot \varepsilon_{n_3} \int_{t_3}^t T(t-\tau)(t_4 - \tau)d\tau = E \cdot \frac{\varepsilon_n}{(t_4 - t_3)} \cdot (t_4 - t) - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{t_1} \int_0^{t_1} T(t-\tau)\tau d\tau - \\ &- E \cdot \varepsilon_n \int_{t_1}^{t_3} T(t-\tau)d\tau - E \cdot \frac{\varepsilon_n}{(t_4 - t_3)} \cdot t_4 \int_{t_3}^t T(t-\tau)d\tau + E \cdot \frac{\varepsilon_n}{(t_4 - t_3)} \int_{t_3}^t T(t-\tau)\tau d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

где ε_n – скорость деформирования на участке; t, t_1, t_2 – время деформирования; $T(t-\tau)$ – функция скорости релаксации напряжений.

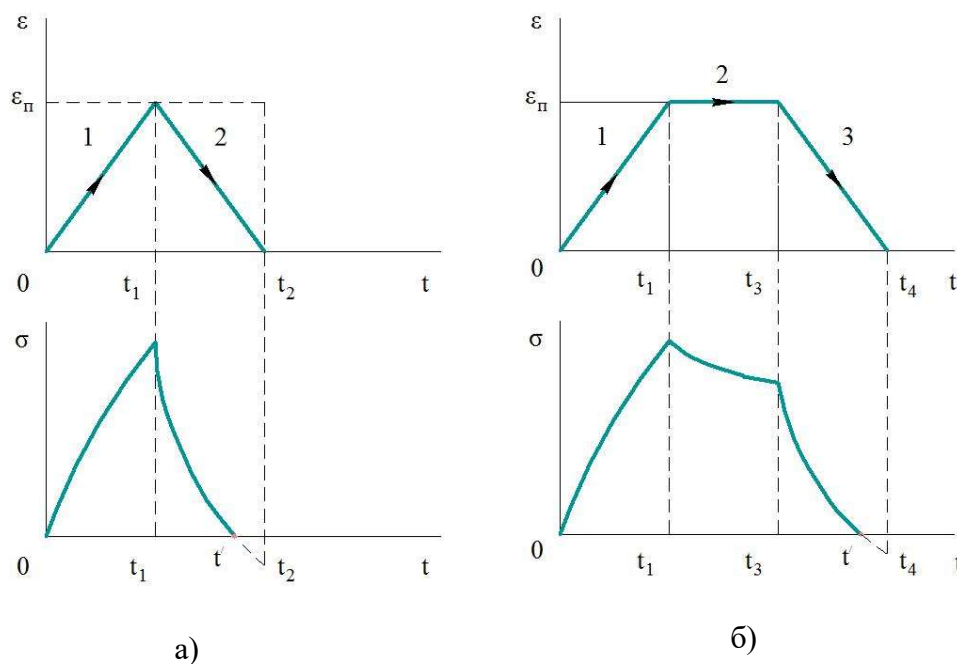


Рисунок 2. Развитие напряжений при треугольном а) и трапецеидальном б) законах деформирования

Функция скорости релаксации определяется по выражению:

$$T(t) = A \cdot e^{-\beta t} \cdot t^{\alpha-1}, \quad (5)$$

где A, α, β – параметры функции скорости релаксации.

Интеграл от функции скорости релаксации $\int T(t)d\tau$ считается разложением экспоненты в ряд Тейлора с помощью соотношения:

$$\int \frac{e^{ax}}{x^n} dx = \frac{1}{n-1} \left(-\frac{e^{ax}}{x^{n-1}} + a \int \frac{e^{ax}}{x^{n-1}} dx \right). \quad (6)$$

Произведя замену $n=1-\alpha$, $a=-\beta$, $x=t$, получим:

$$\int T(t) dt = e^{-\beta t} \cdot A \left(\frac{t^\alpha}{\alpha} + \frac{\beta t^{\alpha+1}}{\alpha(\alpha+1)} + \frac{\beta^2 t^{\alpha+2}}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)} + \frac{\beta^3 t^{\alpha+3}}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)(\alpha+3)} + \dots \right) \quad (7)$$

$$\left(\dots + \frac{\beta^5 t^{\alpha+5}}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\dots(\alpha+5)} \right)$$

Интеграл от функции скорости релаксации из выражения, например, (1) с учетом времени τ после разложения в ряд Тейлора будет иметь вид:

$$\int_0^t T(t-\tau) \tau d\tau = e^{-\beta t} \cdot A \left(\frac{t^{\alpha+1}}{\alpha+1} + \frac{\beta t^{\alpha+2}}{(\alpha+1)(\alpha+2)} + \frac{\beta^2 t^{\alpha+3}}{(\alpha+1)(\alpha+2)(\alpha+3)} + \dots \right) \quad (8)$$

$$\left(\dots + \frac{\beta^5 t^{\alpha+6}}{(\alpha+1)(\alpha+2)\dots(\alpha+6)} \right)$$

2. Результаты и анализ

Зная закономерности перемещения нескольких характерных точек трака (см. рисунок 1), под каждой из них можно определить, как изменяются напряжения во времени (см. рисунок 3).

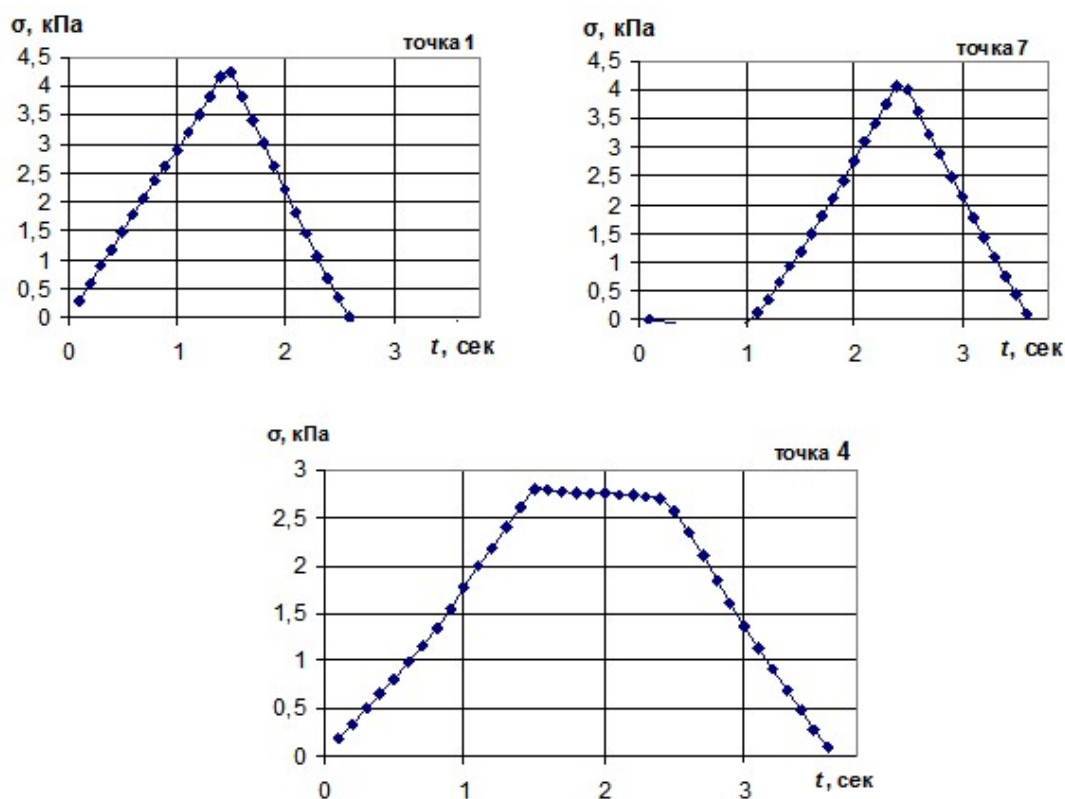
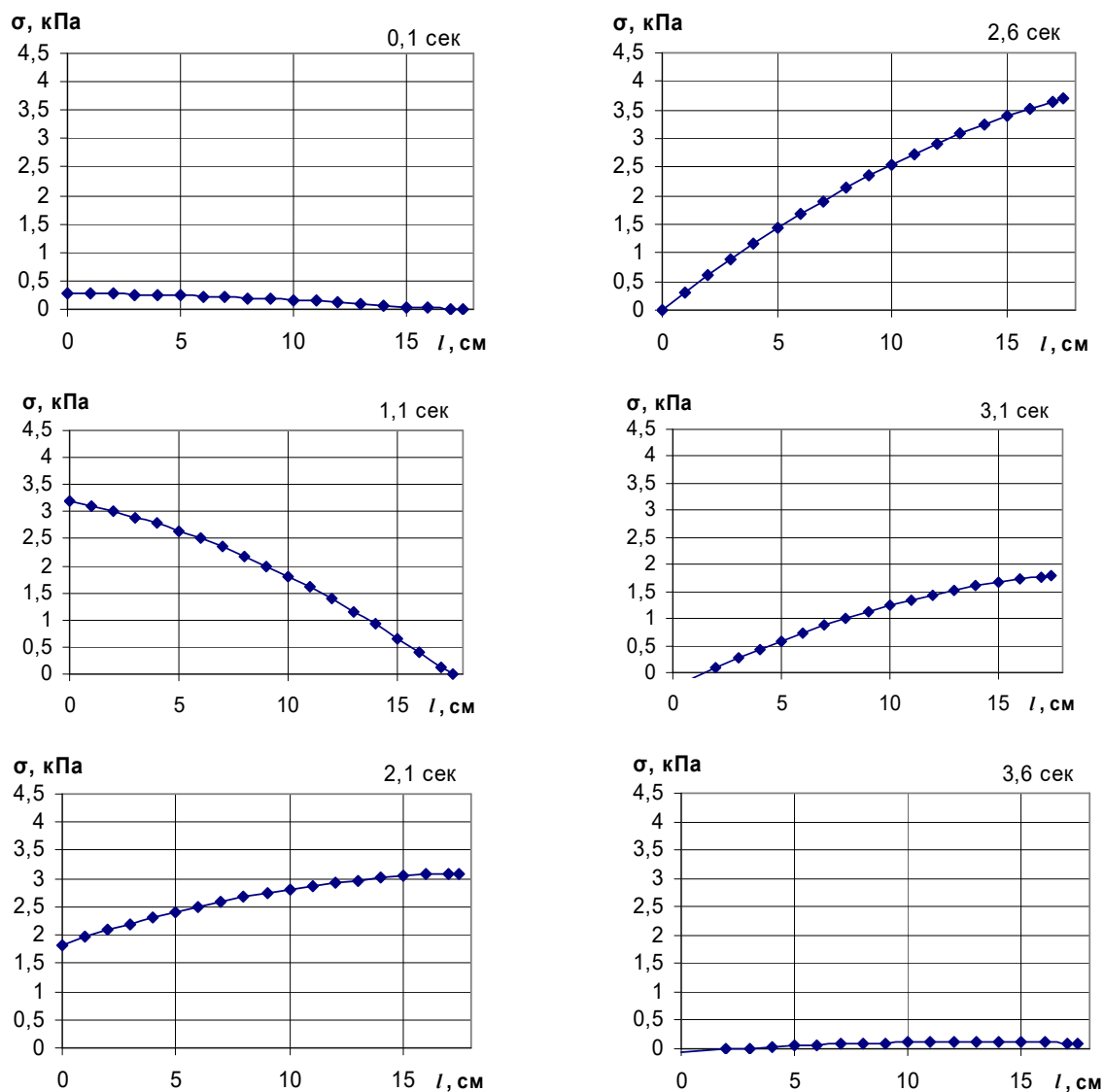


Рисунок 3. Диаграммы развития напряжений под звеном гусеничной цепи во времени, полученные при обработке данных стендового эксперимента

Откладывая значения напряжений для соответствующих точек некоторый определенный момент времени, получим картину их распределения по длине звена гусеничного движителя (рисунок 4).



l – длина звена гусеничной цепи, см

Рисунок 4. Диаграммы изменения во времени эпюры нормальных напряжений под траком гусеничной цепи, полученные при обработке данных стендового эксперимента

Как видно из рисунка эпюры нормальных напряжений обращены выпуклостью вверх, что говорит о нелинейности распределения реакций со стороны опорного основания на внешнее воздействие в отличие от общепринятых представлений с рассмотрением линейных эпюр, например, в работе [5]. Нелинейность эпюр напряжений под звеньями гусеницы объясняется наличием упруговязкопластичных свойств материала в опорном основании. Характерными для таких материалов являются релаксационные свойства: изменение напряжений при неизменных деформациях.

Получение аналитических зависимостей нормальных напряжений от времени $\sigma_n(t)$, развивающихся под траком при прохождении по нему опорного катка гусеничного движителя, подробно рассмотрено в работах [2], [6]-[8].

Необходимо отметить, что, рассматривая подобие процессов деформирования моделируемого в стендовом эксперименте материала и почвенного слоя, происходящих во времени, можно использовать значения физико-механических характеристик почвы, полученные в рамках проведения штамповых испытаний [9]–[12]. Далее с помощью критерия подобия при моделировании процессов [3] взаимодействия со опорным основанием ходовых органов машин легко осуществить переход к оценке процесса взаимодействия гусеничного движителя со слоем почвы в реальных условиях эксплуатации.

3. Вывод

Напряженно-деформированное состояние почвенного слоя требует подробного изучения, поскольку оказывает влияние не только на тягово-сцепные свойства работающих на полях машин, но и на урожайность сельскохозяйственных культур [13]–[16].

Сложность учета всех факторов заключается в изменении напряженно-деформированного состояния почвенного слоя с течением времени. При этом изменяются как внешние показатели силового воздействия со стороны движителей, так и физико-механические характеристики деформируемого грунта. С такой многокритериальной задачей можно справиться, используя теорию наследственной ползучести упруго-вязкопластичных материалов, на основе которой возможно построение математических моделей взаимодействия любых грунтов с движителями любых тягово-транспортных средств с введением функций подобия, определением параметров функций скоростей ползучести и релаксации.

Список литературы

- [1] *Перегудов Н.Е.* Исследование процесса взаимодействия гусеничного движителя с опорным основанием : сб. тезис. докл. конф. «Шаг в будущее, центральная Россия». Липецк: ЛГТУ. 2005. С. 81-82.
- [2] *Перегудов Н.Е.* Исследование уплотняющего воздействия гусеничного движителя сельскохозяйственного трактора на почву и разработка метода его оценки: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук : 05.20.01 / Мичуринский государственный аграрный университет. Мичуринск. 2016. 172 с.
- [3] *Носов С.В., Перегудов Н.Е.* Математическая модель взаимодействия гусеничного движителя с опорным основанием // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 11. С. 29-33.
- [4] *Перегудов Н.Е., Носов С.В.* Методика определения вертикальной деформации слоя почвы после прохода гусеничного трактора: сб. тезис. докл. науч. конф. студ. и аспирантов. Лип. гос. техн. ун-та. Липецк: ЛГТУ. 2008. С. 109-110.
- [5] *Ксенович И.П., Скотников В.А., Ляско М.И.* Ходовая система – почва - урожай. М. : Агропромиздат, 1985. 368 с.
- [6] *Перегудов Н.Е.* Использование теории наследственной ползучести при исследовании процесса взаимодействия гусеничных движителей со слоем почвы : материалы област. профиль. семинара «Школа молодых ученых по проблемам гума-

- нитарных, естественных и технических наук». Липецк: ЛГПУ. 2016. С. 281-291.
- [7] *Перегудов Н.Е.* Обработка результатов штамповых испытаний и получение эпюры нормальных напряжений под звеном гусеничной цепи: сб. мат. VI Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург : УГТУ-УПИ. 2008. С. 170-172.
- [8] *Перегудов Н.Е., Носов С.В.* Исследование процесса развития деформации под траком гусеничной машины в условиях эксплуатации: сб. мат. VIII Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург : УГТУ-УПИ. 2010. С. 101-104.
- [9] Способ определения физико-механических характеристик слоя почвогрунта : пат. 2365916 Рос. Федерация №2008112526/28; заявл. 31.03.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. №24. 13 с.
- [10] Устройство для исследования физико-механических характеристик слоя почвогрунта : пат. 2365916 Рос. Федерация №2008109671/03; заявл. 11.03.2008; опубл. 10.09.2009, Бюл. №25. 17 с.
- [11] *Перегудов Н.Е., Носов С.В., Киндюхин Ю.Ю.* Результаты штамповых испытаний при исследовании реологических свойств почвы в цилиндрических координатах с использованием переносной установки: сб. тезис. докл. науч. конф. студ. и аспирантов. Лип. гос. техн. ун-та, посвящ. 50-летию ЛГТУ. Липецк: ЛГТУ: 2007. С. 95-98.
- [12] *Перегудов Н.Е.* Методика проведения эксперимента для оценки взаимодействия гусеничного движителя трактора со слоем почвы : сб. мат. V Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург : УГТУ-УПИ. 2007. С. 118-119.
- [13] *Peregudov N.E., Novak M.A.* Practical applications analysis and economic efficiency of the method on assessment of the sealing action from the tracked mover on the soil layer // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Т. 7. № 2.13. С. 319-321.
- [14] *Ерохин В.Е., Перегудов Н.Е.* Современные подходы к решению проблемы уплотнения почвы движителями гусеничных машин : материалы област. профиль. семинара «Школа молодых ученых по проблемам технических наук». Липецк: ЛГТУ. 2017. С. 60-65.
- [15] *Носов С.В., Перегудов Н.Е.* Оценка уплотнения почвы движителями гусеничных машин с применением теории наследственной ползучести: материалы Международ. науч.-практ. конф. «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК». Мичуринск: МичГАУ. 2015. С. 533-540/
- [16] *Гребеньков Д. В.* Гидродифференциальный выпрямитель момента инерционной автоматической передачи мобильных машин // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2017. №2 (32). С. 25 – 30.

УДК 620.197.2: 631.333.53

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ
ТУКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ AMAZONE ZA-M900 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**
**CORROSION PROTECTION FOR FERTILIZER SPREADER AMAZONE ZA-M900
DURING OPERATION**

Петрашев Александр Иванович¹, Клепиков Виктор Валерьевич¹,
Губашева Алмагуль Мустафаевна²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*

² *Западно - Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан*

Aleksandr Petrashev¹, Viktor Klepikov¹, Almagul Gubasheva²

¹ *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*

² *Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian-technical University, Uralsk, Kazakhstan*

Аннотация

Проведена оценка состояния противокоррозионной защиты самоходной туко­разбрасывающей машины Amazone Za-M900 на шасси автомобиля УАЗ-469. Разработана технология консервации шасси туко­разбрасывающей машины с использованием ингибированного мазутного состава и навесного агрегата для его нанесения.

Ключевые слова: *разбрасыватель удобрений, коррозия, защитный состав, навесной агрегат, консервация.*

Abstract

The article assesses the state of corrosion protection of a self-propelled fertilizer spreader Amazon Za-M900 on the chassis of the UAZ-469. The technology of conservation of the chassis of the fertilizer spreader with the use of an inhibited fuel oil composition and a hinged aggregate for its application.

Key words: *fertilizer spreader; corrosion; protective com-position; hinged aggregate; conservation.*

Введение

В комплексе мероприятий по внедрению интенсивных агротехнологий большое значение имеет повышение плодородия почв за счет внесения минеральных удобрений (туков) и химических мелиорантов с помощью туко­разбрасывающих машин. Как любая сельскохозяйственная техника, туко­разбрасывающие машины используются сезонно и подвергаются действию атмосферной коррозии как в период эксплуатации, так и в нерабочий период. Коррозионные разрушения стимулируются минеральными удобрениями и их растворами при воздействии влаги. Детали и узлы, непосредственно контактирующие с минеральными удобрениями, требуют особого внимания при консервации в период подготовки к длительному хранению.

Из-за коррозионного разрушения качественно изменяется поверхность деталей ма-

шин, появляются трещины и разрывы металла в тонколистовых металлоконструкциях и сварных соединениях, снижаются износостойкость и прочность деталей, работоспособность и ресурс машин, увеличиваются затраты на ремонт и устранение отказов. Под действием атмосферной коррозии в течение 12-ти месяцев в условиях умеренного климата усталостная прочность сварных соединений, выполненных ручной дуговой сваркой, снизилась на 45-47 %, газовой сваркой – на 28-40 %, точечной контактной – на 52 % [1]. Высокая степень электрохимической неоднородности поверхности сварного соединения в условиях действия атмосферных осадков и кислорода воздуха является главной причиной увеличения скорости коррозии сварных швов.

Стремление производителей техники повысить долговечность бункеров на тукоразбрасывающих машинах, особенно на самоходных, реализуется путем расширения номенклатуры узлов, изготавливаемых из нержавеющей стали. При этом элементы кузова, изготовленные из углеродистой стали, защищаются лакокрасочными покрытиями на основе высококачественных порошковых эмалей. Примером может служить самоходный тукоразбрасыватель Amazone ZA-M900 на базе вездехода УАЗ-469, который запущен в производство Липецкой компанией «Авион» [2]. По информации от фирмы Amazone [3], бункеры для разбрасывателей изготовлены методом глубокой вытяжки. Они не имеют углов и сварных швов, что обеспечивает постоянное соскальзывание удобрений, а также существенно повышает их коррозионную стойкость. Компания использует особый метод покраски, который предусматривает цинковое фосфатирование листовой стали, нанесение слоя грунтовки, а затем слоя порошковой краски электростатическим напылением с последующей сушкой в камере. Такая технология обеспечивает стойкое лакокрасочное покрытие даже на острых гранях и кромках. В разбрасывателях широко применяются коррозиестойчивые металлы. Тукоразбрасывающие механизмы выполнены из нержавеющей стали, которая хорошо переносит негативное воздействие удобрений. Результаты осмотра (рисунок 1), проведенного после 2-х сезонов использования тукоразбрасывателя Amazone ZA-M900 в АО «Голицыно», подтвердили хорошее состояние лакокрасочных покрытий на бункере для удобрений и на внешней облицовке автомобиля УАЗ-469. На поверхностях тукоразбрасывающих механизмов, изготовленных из нержавеющей стали, также отсутствовали очаги коррозии.



Рисунок 1. Состояние противокоррозионной защиты облицовки автомобиля УАЗ-469, бункера и тукоразбрасывающего механизма на машине Amazone ZA-M900

Однако скрытые поверхности облицовки заднего отсека и крыльев автомобиля, его

рамы, резьбовых соединений, подвески были практически лишены противокоррозионной защиты и имели множественные очаги коррозионных разрушений (рисунок 2).



Рисунок 2. Очаги коррозионных разрушений на раме и подвеске базового автомобиля УАЗ-469 машины Amazone ZA-M900 после 2-х лет эксплуатации

Анализ показал, что при монтаже разбрасывателя на автомобиль, не проведены дополнительные мероприятия по усилению противокоррозионной защиты ряда узлов самого автомобиля. Поэтому в процессе эксплуатации основные затраты по обеспечению противокоррозионной защиты базовых узлов автомобиля или их восстановлению вынуждены нести сельхозпредприятия. Назрела необходимость в разработке для специалистов, занимающихся техническим сервисом сельхозмашин, эффективной технологии консервации базовых узлов на самоходных тукоразбрасывающих машинах.

Материалы и методы исследований

Обзор информации по консервационным материалам показал, что практически не используются защитные составы на доступной и дешевой мазутной основе с добавлением ингибиторов коррозии. В качестве экспериментальных составов использовали мазут М100 и смесь мазута М100 с кубовыми аминами (КА) в количестве 3, 5, 7 и 10 %. Исследование защитных свойств составов и покрытий выполняли на пластинах из стали 08кп, применяемой при изготовлении поперечин рамы для УАЗ-469 [4, с. 298]. Покрытия оценивали на стойкость к воздействию коррозионно-активных сред: 3 % раствора хлорида натрия и концентрированных растворов минеральных удобрений. Длительность испытаний - 14 суток (по ГОСТ 9.509-89). Концентрированные растворы получали путем смешивания 4,5 кг дистиллированной воды (40-50 °С) с 1 кг гранулированных удобрений: карбамид ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), сульфат калия (K_2SO_4), хлорид калия (KCl), аммиачная селитра (NH_4NO_3), суперфосфат и нитрофоска. Испытания покрытий на атмосферостойкость проводили под открытым небом - в течение 12 мес. (по ГОСТ 6992-68). Степень защиты покрытия Z (%) рассчитывали с учетом коррозионных потерь металла Δm_0 на контрольных (незащищенных) пластинах и потерь металла $\Delta m_{\text{п}}$ на пластинах под покрытием:

$$Z = \frac{\Delta m_0 - \Delta m_{\text{п}}}{\Delta m_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

Поверхности тукоразбрасывающих машин практически невозможно очистить от частиц удобрений и коррозионных поражений. Поэтому защитные составы должны обладать хорошей ингибирующей и смачивающей способностью, чтобы проникать через поры ржавчины и тормозить коррозионные процессы под нанесенным покрытием. Исследовали смачивающую способность мазута М100, ингибированного мазута (94 % мазут М100 + 6 % КА), ингибированного мазутного состава (84 % мазут М100 + 6 % КА + 10 % уайт-спирит). Ингибированный мазут и ингибированный мазутный состав готовили смешением компонентов при температуре 80-90 °С. Капли исследуемых составов посредством медицинского шприца наносили на чистые (без следов коррозии) пластины из стали 08кп и на ржавые. Все наносимые капли имели равный объем - $V_k = 15 \text{ мм}^3$, Объем каплей V_k (мм^3) определяли по их массе m_k (г) и плотности ρ_k ($\text{г}/\text{мм}^3$) исследуемого состава: $m_k = V_k \rho_k$. Массу каплей m_k измеряли на аналитических электронных весах СЕ 224-С. Диаметры пятен растекания каплей по поверхности пластин измеряли с помощью металлографического микроскопа ММН-2. Пластины с каплями выдерживали 2 суток при температуре 19 °С и измеряли диаметры пятен смачивания d_{k1} и d_{k2} (мм) во взаимно-перпендикулярных направлениях (вдоль и поперек пластин). Для каждого исследуемого состава рассчитывали фактор α растекания каплей:

$$\alpha = \frac{\sqrt{d_{k1} \cdot d_{k2}}}{1,56 \cdot \sqrt[3]{V_k}} \quad (2)$$

По фактору α растекания капли определяли краевой угол θ смачивания [5] в градусах:

$$\Theta = \frac{150}{\alpha^3 + 0,7/\alpha^3} \quad (3)$$

Капли исследуемых составов также наносили на фильтровальную бумагу «белая лента» и оценивали характер пропитывания бумаги.

Обсуждение полученных результатов

Защитная способность покрытий из экспериментальных составов на мазутной основе при воздействии 3 % раствора хлорида натрия показана на рисунке 3.



Рисунок 3. Изменение степени защиты Z покрытий на основе мазута М100 в зависимости от содержания кубовых аминов

В 3 % растворе хлорида натрия степень защиты стали 08кп покрытием из мазута М100 равнялась $Z = 94$ %. Введение в мазут М100 кубовых аминов от 3 до 6 % повысило степень Z защиты стали 08кп от 98 до 99 %. Дальнейший рост содержания кубовых

аминов до 10 % не усилил степени защиты покрытий. Поэтому 6 % концентрация кубовых аминов в мазуте М100 является оптимальной.

На рисунке 4 отражены результаты исследования стойкости покрытий из мазута М100 (позиция 2) и мазута М100 с 6 % кубовых аминов (позиция 1) в концентрированных растворах минеральных удобрений.

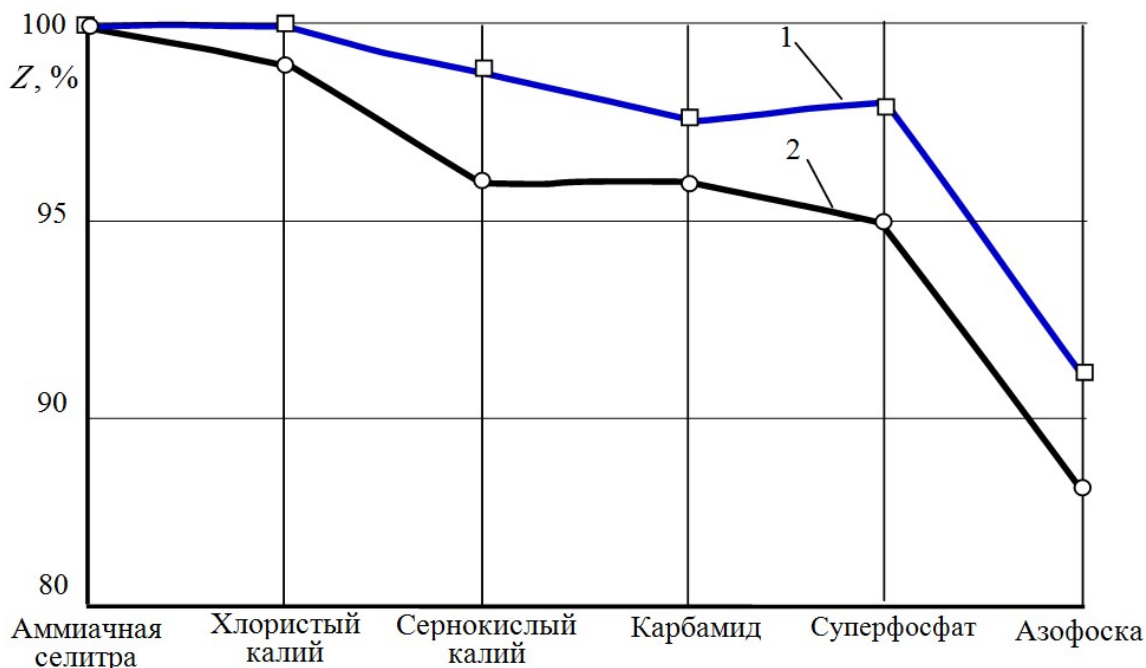
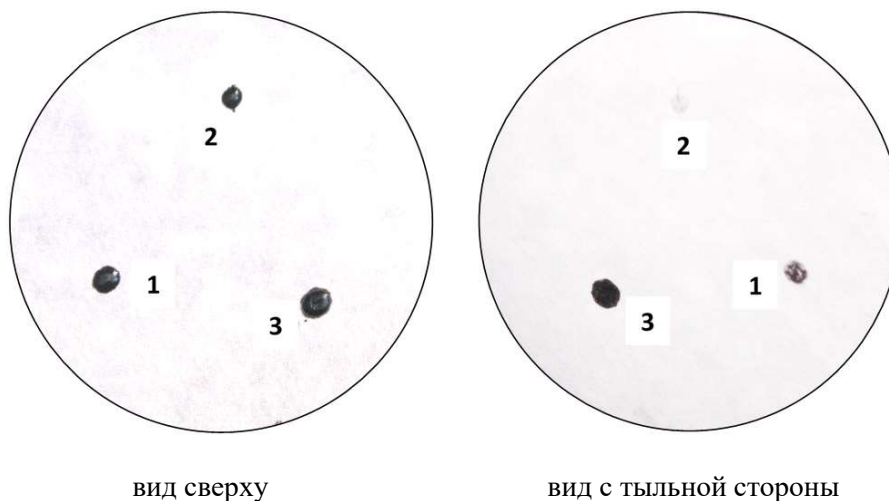


Рисунок 4. Степень защиты Z стали 08кп покрытиями из мазута М100 (2) и мазута с 6 % кубовых аминов (1) в концентрированных растворах минеральных удобрений

По степени коррозионного воздействия на сталь 08кп, защищенную покрытием из мазута М100, растворы минеральных удобрений располагаются в следующем порядке (от сильного к слабому): азофоска > суперфосфат > сернокислый калий > карбамид > хлористый калий > аммиачная селитра. Ингибирование мазута кубовыми аминами (6 %) улучшило его защитные свойства и снизило коррозионные потери стали до 4-х раз. При защите стали 08кп покрытием из ингибированного мазута, ее коррозионные потери снизились: в растворе сернокислого калия – в 65 раз, в растворе азофоски – в 12 раз.

Исследована смачиваемость стальных поверхностей (чистой и ржавой) мазутом М100, ингибированным мазутом и ингибированным мазутным составом. Краевые углы при смачивании чистой поверхности стали составляют: для мазута – $\theta = 22,6^\circ$, ингибированного мазута – $\theta = 68,7^\circ$ и ингибированного мазутного состава – $\theta = 35,5^\circ$. При смачивании ржавой поверхности краевые углы соответственно ниже: $21,5^\circ$, $21,4^\circ$ и $16,2^\circ$. Ингибированный мазутный состав, имея меньший краевой угол, лучше, чем мазут, пропитывает фильтр «белая лента» (рисунок 5).



1 – мазут М100; 2 – ингибированный мазут; 3 – ингибированный мазутный состав

Рисунок 5. Пропитка фильтра «белая лента» исследуемыми составами при 19 °С

Полученные данные указывают на способность ингибированного мазутного состава проникать через поры ржавчины к металлу и ингибировать развитие коррозии под нанесенным покрытием.

В условиях Тамбовской области проведены годовые испытания на атмосферостойкость пластин стали 08кп без покрытия, а также пластин, защищенных покрытиями из ингибированного мазутного и бензино-битумного составов. Покрытия из ингибированного мазутного состава высыхали и становились твердыми через 1,5-2 месяца испытаний. Годовые потери незащищенной стали - 113 г/м², при защите бензино-битумным составом потери металла снизились в 16 раз, а при защите ингибированным мазутным составом – в 52 раза (рисунок 6).

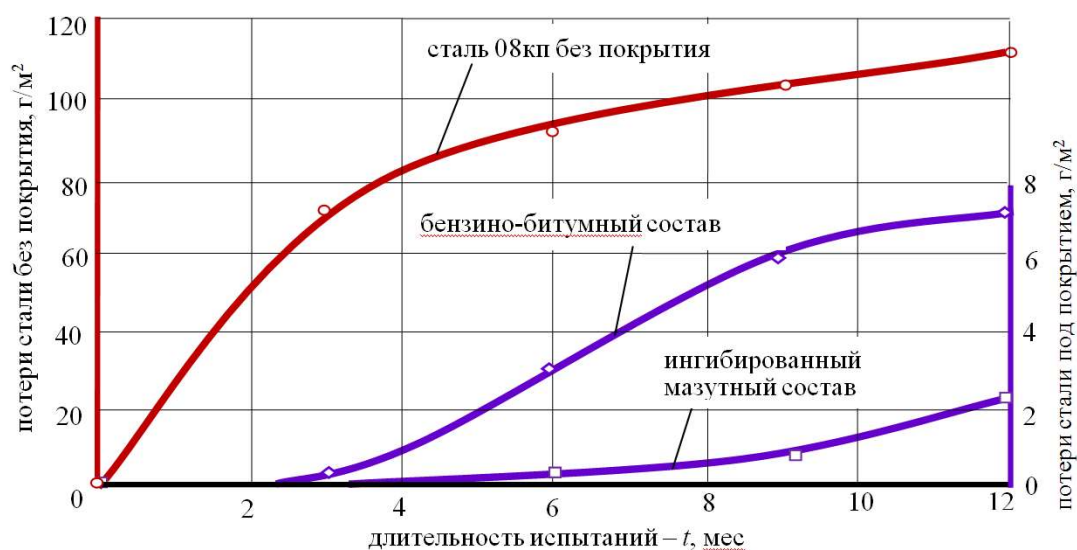


Рисунок 6. Коррозионные потери стали 08кп без защиты и при защите консервационными составами

Проведенное исследование указывает на более высокую атмосферостойкость покрытия из ингибированного мазутного состава в сравнении с покрытием из бензино-битумного состава.

Для нанесения ингибированного мазутного состава использован навесной агрегат УЛН-03 [6, 7, 8] с компрессором и автотракторным генератором для нагрева и пневматического распыления состава при консервации машин в условиях пониженной до +5 °С температуры: привод – от ВОМ (540 об/мин) трактора Беларус; производительность компрессора – 20-30 м³/ч; давление – 0,6 МПа; мощность генератора – 0,7 кВт. Разработана технология противокоррозионной защиты пораженных коррозией базовых узлов тукоразбрасывающей машины Amazone ZA-M900, основанная на применении ингибированного мазутного состава и навесного агрегата УЛН-03. Технология внедрена в АО «Голицыно» Тамбовской области.

Определены затраты ресурсов на консервацию самоходного тукоразбрасывателя Amazone ZA-M900 с привлечением агрегата УЛН-03: время работы – 1,5 ч; расход ингибированного мазутного состава – 9,3 л/шт, расход дизельного топлива трактором – 3,2 л/ч. Составом защищали нижние поверхности кузова, включая раму, подвеску, задние двери и задний отсек автомобиля под бункером, крылья (рисунок 7). Установлены параметры технической производительности нанесения состава – 103-136 м²/ч и норматива расхода – 0,14 кг/м².

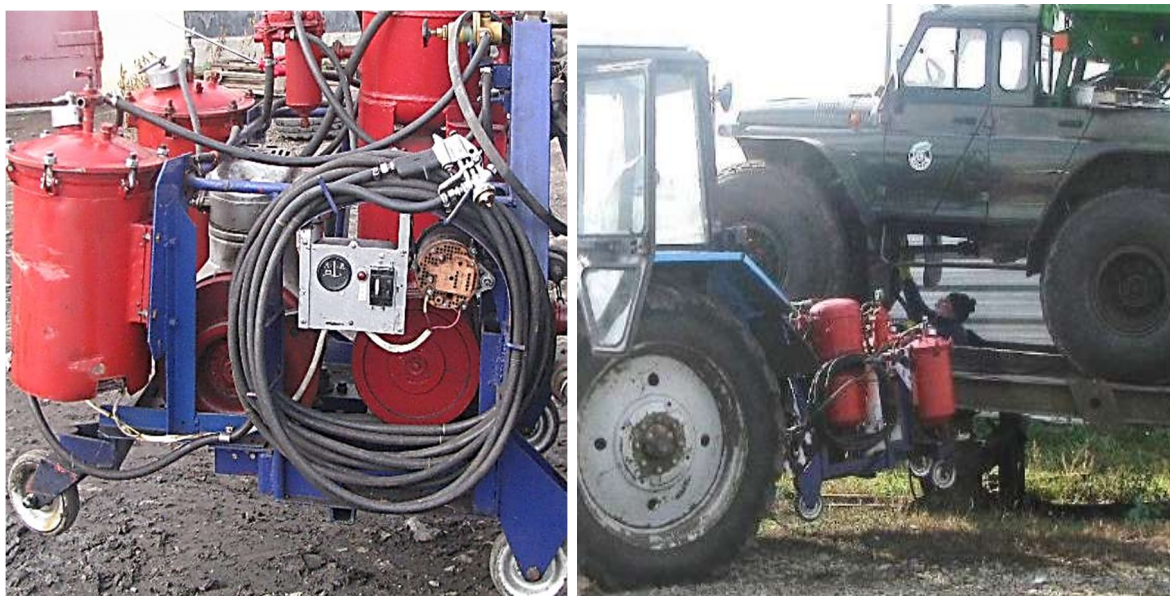


Рисунок 7. Навесной агрегат УЛН-03 и его использование при консервации тукоразбрасывателя Amazone ZA-M900

Стоимость ингибированного мазутного состава, приготовленного в условиях сельхозпредприятия, - 33 руб/л, которая на 27 % ниже, чем стоимость бензино-битумного состава. Применение ингибированного мазутного состава взамен бензино-битумного дает экономию бензина в объеме 200 л. Затраты на консервацию разбрасывателя

Амаzone ZA-M900 с использованием ингибированного мазутного состава и агрегата УЛН-03 равны 1,1 тыс. руб. В структуре затрат 39 % - на амортизацию агрегата, 27 % – на приготовление ингибированного мазутного состава, 22 % – на оплату труда и 12 % – на покупку дизельного топлива.

Список литературы

- [1] *Пучин Е.А.* Повышение долговечности сварных конструкций сельскохозяйственных машин // Труды ГОСНИТИ. – 1993. – Т. 94. – С. 40-44.
- [2] Агромакс. УАЗы переделали под разбрасыватели удобрений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agro-max.ru/novosti/uazy-peredelali-pod-razbrasyvateli-udobrenij/>
- [3] Разбрасыватели удобрений Amazone. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/dlya-vneseniya-udobrenij/amazone.html>
- [4] *Дехтеринский Л.В., Есенберлин Р.Е., Акмаев К.Х. и др.* Капитальный ремонт автомобилей: Справочник; под ред. Р.Е. Есенберлина. – М.: Транспорт, 1989. – 355 с.
- [5] *Петрашев А.И., Клепиков В.В., Князева Л.Г., Зарапина И.В.* Экспресс-метод оценки смачивающих свойств консервационных составов // Наука в центральной России. – 2018. - № 4 (34). – С. 73-85.
- [6] *Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Клепиков В.В.* Научно-технические основы механизации процессов консервации аграрной техники // Вестник МичГАУ. - 2014. - № 4. - С.61-67.
- [7] *Петрашев А.И.* Оборудование для противокоррозионной защиты техники // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2010. - № 5. - С. 31-33.
- [8] *Губашева А.М., Петрашев А.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н.* Навесной агрегат для консервации аграрной техники при пониженных температурах // Наука в центральной России. - 2017. - № 1 (25). – С. 43-54.

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02

СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ В РАСТВОРАХ ПОЛИМЕРОВ

STABILIZATION OF NANODIMENSIONAL PARTICLES IN SOLUTIONS OF POLYMERS

Псарев Дмитрий Николаевич

Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

Dmitry Psarev

Michyrinsk state agrarian university, Michyrinsk, Russia

Аннотация

В статье, наряду с достоинствами, показана лиофобность металлических наноразмерных частиц. Рассмотрены условия стерической стабилизации металлических наноразмерных частиц посредством растворов полимерных материалов. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований молекулярной массы полимеров. По результатам эксперимента и условиям стерической стабилизации выбраны металлические наноразмерные частицы для наполнения раствора эластомера Ф-40.

Ключевые слова: *полимер, наполнитель, наноккомпозит, наночастица, лиофобность, агрегирование, стабилизация, молекулярная масса.*

Abstract

The lyophobic of metal nanodimensional particles is shown in article, along with advantages. Conditions of steric stabilization of metal nanodimensional particles by means of solutions of polymeric materials are considered. The technique and results of pilot studies of molecular mass of polymers are given. By results of the experiment and conditions of steric stabilization metal nanodimensional particles for filling of solution of F-40 elastomer are chosen.

Key words: *polymer, filler, nanocomposite, nanoparticle, liofobnost, aggregation, stabilization, molecular weight.*

Введение

Восстановление корпусных деталей позволяет значительно сократить затраты на ремонт сельскохозяйственной техники [1...4]. Перспективным направлением повышения эффективности восстановления корпусных деталей является разработка и применение полимерных композитов. Введение наполнителей в полимер позволяет значительно улучшить потребительские свойства материала, снизить стоимость материала и энергоёмкость технологии [5...10]. Большой научный и практический интерес представляют вопросы исследования и разработки полимерных наноккомпозитов, однако вопросы теоретического обоснования наполнения полимеров НРЧ исследованы не в полной мере и требуют дальнейшего исследования.

Цель настоящих исследований – теоретически обосновать условия стерической стабилизации металлических наноразмерных частиц посредством растворов полимерных материалов, экспериментально определить молекулярную массу раствора эластомера

Ф-40 и по результатам эксперимента выбрать металлические наноразмерные частицы для наполнения раствора эластомера Ф-40 (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта №17-48-480268/18).

Результаты теоретического исследования

Нанообъекты и наноструктуры обладают специфическими свойствами и поведением. Отличие свойств от микрочастиц и микроматериалов значительно проявляется в наноматериалах и наночастицах размером от 10 до 100 нм. Объясняется это двумя факторами: 1) поверхностный эффект, то есть существенное влияние свободных поверхностей, границ зерен, фаз и других поверхностей раздела в неоднородных материалах; 2) проявление атомно-молекулярной дискретности строения вещества и квантовые размерные эффекты в нанобъемах [11].

Поверхностный эффект обусловлен увеличением доли приповерхностных или зернограничных атомов в сравнении с объёмными. Свойства поверхностных атомов отличаются от свойств атомов в объеме частицы, так как в сравнении с последними, они иным образом взаимодействуют с соседними атомами.

Вследствие ненасыщенности связей на поверхности возможна атомная реконструкция и иной порядок расположения атомов, что обуславливает фазовый переход в приповерхностном слое. Благодаря новой симметрии поверхность имеет новые физические свойства. С изменением температуры и других термодинамических параметров на поверхности возможно появление различных типов реконструированных атомных структур [12]. В отличие от атомов в объеме твердого тела, в поверхностных атомах не все связи взаимодействуют с соседними атомами. Атомы, расположенные на выступах и уступах поверхности, имеют еще большую ненасыщенность связей. По этой причине в приповерхностном слое имеют место сильные искажения кристаллической решетки и возможна даже смена типа решетки [13]. Дополнительное влияние оказывают атомы, расположенные на краях моноатомных террас, уступов и впадин, где координационные числа, в сравнении с объемом или гладкой поверхностью твердого тела, существенно ниже. По этой причине резко увеличивается химическая и каталитическая активность поверхности, а также ее сорбционная способность [12].

Кроме того, свободная поверхность представляет собой сток бесконечной емкости для точечных и линейных кристаллических дефектов (в первую очередь вакансий и дислокаций). С уменьшением размера частиц этот эффект значительно усиливается и возможен выход большинства структурных дефектов на поверхность и очистка материала наночастицы от дефектов структуры и химических примесей [13...15].

Специфичные свойства наноматериалов также связывают с тем, что в процессах переноса (диффузия, пластическая деформация и др.) проявляется некая эффективная длина свободного пробега (L_e) носителей данного переноса [16, 20]. Если размер меньше L_e перенос дислокаций значительно зависит от размеров и формы частиц. В наноматериалах в роли L_e могут выступать диффузионная длина и длина свободного пробега дислокаций [12, 16]. Если характерной физической длиной является электронная длина волны де Бройля возникают квантовые размерные эффекты [17].

Важным свойством наноматериалов, является склонность к образованию кластеров. Скорость миграции чужеродных атомов по поверхности и границам раздела намного больше скорости в объеме твердого тела. С увеличением температуры эта разница нарастает. Благодаря большому количеству внутренних границ в объемных наноструктурированных материалах, в последних значительно увеличиваются коэффициент

диффузии, скорость миграции и рекристаллизации, сорбционная способность и другие свойства в сравнении с обычными материалами. По этой причине могут иметь место процессы самоорганизации кластеров на подложке, что используют при создании упорядоченных наноструктур для оптики и электроники [18].

В тоже время по этой причине большая часть наноматериалов находится в термодинамически не устойчивом состоянии. С увеличением температуры возникают вопросы стабильности структуры и свойств наноматериалов.

НРЧ являются высокоактивными частицами с сильно развитой поверхностью. Они активно взаимодействуют с примесями, друг с другом, образуя агломераты, при увеличении концентрации в растворе, повышении температуры, взбалтывании раствора, под действием лучистой энергии. Агломераты НРЧ значительно ухудшают потребительские свойства композиции. Поэтому при разработке полимерных нанокомпозитов необходимо обеспечить стабилизацию НРЧ в растворе полимера.

В качестве стабилизаторов НРЧ можно использовать низкомолекулярные органические соединения (карбоновые кислоты, спирты, амиды и др.), природные полимеры (желатин, гуммиарабик, агар-агар, крахмал, целлюлоза и др.), а также синтетические полимеры [19].

НРЧ в растворе полимера является коллоидной системой, которая включает в себя: непрерывную фазу, т.е. дисперсионную среду (раствор полимера) и дисперсную фазу (наполнитель в виде НРЧ). Такие системы называют золи, а коллоидные системы в органических растворителях называют «органозолями». Поэтому раствор эластомера Ф-40, наполненный металлическими НРЧ, является органозолем.

Различают кинетическую и агрегативную устойчивость коллоидных растворов. Кинетическая характеризует устойчивость систем относительно действия силы тяжести. К факторам, влияющим на кинетическую устойчивость коллоидов, относятся: броуновское движение, дисперсность, вязкость дисперсионной среды и др. С уменьшением размера частиц устойчивость коллоидных растворов повышается [8].

Агрегативная устойчивость характеризует способность системы сохранять степень дисперсности частиц. Она имеет место при одноименном заряде НРЧ, что препятствует их объединению в агрегаты.

Возникновение зарядов обусловлено способностью НРЧ адсорбировать на своей поверхности низкомолекулярные ионы из раствора, что приводит к образованию адсорбционного слоя. Этот слой содержит потенциал определяющие ионы и противоионы, а также диффузный слой с остаточными противоионами.

Агрегативная устойчивость систем также обусловлена образованием на поверхности коллоидных частиц сольватных оболочек из молекул дисперсионной среды. Упругость и повышенная вязкость этих оболочек препятствует агрегированию частиц, обеспечивает «расклинивающее действие», проявляющееся в раздвигании частиц [1].

Различают лиофобные и лиофильные коллоидные растворы. Леофильные системы относятся к термодинамически устойчивым, т.е. для них энергия смешения Гиббса отрицательна и диспергированное состояние оценивается как низкоэнергетическое. Частицы не агрегируют благодаря сольватации.

Леофобным присуще слабое взаимодействие дисперсионной среды с дисперсной фазой и из-за сил притяжения между частицами последние образуют агрегаты.

НРЧ являются леофобными коллоидами, которые имеют низкую устойчивость. Для стабилизации НРЧ используют различные вещества, в т.ч. полимерные материалы. Стабилизация НРЧ полимерами называется стерической. В этом случае НРЧ покрыты сплошным слоем сольватированных полимерных цепей, создающим защитный барьер.

В итоге коллоидная система является устойчивой до момента, когда защитный слой будет поврежден. При стерической стабилизации НРЧ имеет сложную форму: ядро частицы лиофобно, а наружный слой – лиофилен.

Образование на поверхности НРЧ лиофильного адсорбционного слоя приводит к увеличению порога коагуляции. Между концентрацией дисперсной фазы и количеством полимерного стабилизатора, обеспечивающим примерно одинаковый порог коагуляции электролитом, наблюдается прямо пропорциональная зависимость [5].

Поэтому для обеспечения стерической стабилизации НРЧ в растворах полимеров не следует использовать большую концентрацию наполнителей.

В виду того, что размеры макромолекул полимера существенно превышают размеры НРЧ, размер последних после образования на них сольватных оболочек значительно увеличивается (рисунок 1). Средний гидродинамический радиус НРЧ золота, стабилизированных макромолекулами поликатиона, составляет $21 \pm 0,5$ нм, а соответствующий радиус НРЧ в воде – $13 \pm 0,5$ нм [19]. Стерическая стабилизация НРЧ объясняется тем, что пространственные размеры даже низкомолекулярных соединений сопоставимы или больше радиуса действия сил лондоновского притяжения.

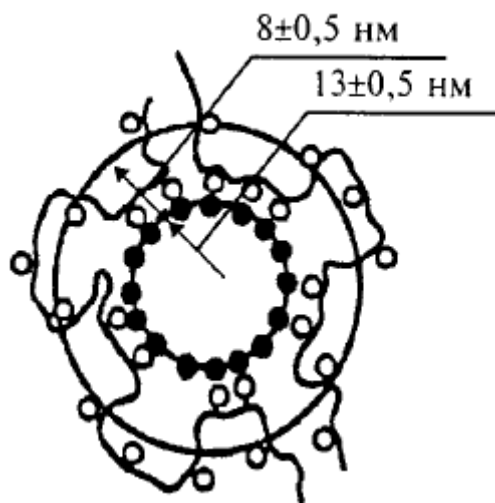


Рисунок 1. Строение "растворимого полиэлектролитного комплекса", образованного частицей золота и макромолекулами поликатиона [19]

Приняв, что «диаметр» макромолекулы линейного полимера совпадает со средне-квадратичным расстоянием между ее концами, авторы [10] получили соотношение между средним геометрическим радиусом частицы $\langle r^2 \rangle^{0,5}$ и молекулярной массой полимера M

$$\langle r^2 \rangle^{0,5} \approx 0,06M^{0,5} \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что чем больше молекулярная масса полимера, тем большего размера частицы он стабилизирует.

Например, для полимера с молекулярной массой $M = 10^4$ средний геометрический радиус частицы составляет $\langle r^2 \rangle^{0,5} = 6$ нм, т.е. НРЧ с размером до 6 нм будут стабилизированы макромолекулами этого полимера.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать условие для выбора размера НРЧ по молекулярной массе полимера

$$\langle r^2 \rangle^{0,5} \leq 0,06\sqrt{M} \quad (3)$$

При разработке полимерного нанокомпозита следует определить молекулярную массу раствора полимера и по ней по условию (3) выбрать размер НРЧ. В соответствии с (2) и (3) раствор полимера обеспечит флокуляцию выбранных НРЧ, т.е. образование сольватных оболочек на поверхности последних и предотвращение их коагуляции (агрегирования).

Размер и форма частиц наполнителя оказывают решающее влияние на свойства металлосодержащих полимеров. В настоящее время существуют широкие возможности выбора частиц металлов нужной формы и размеров. Наиболее плотной упаковкой частиц отличаются порошки, получаемые распылением расплавов, а наименее плотной — порошки с частицами дендритной формы, получаемые электролитическим способом.

Методика экспериментального исследования

В вискозиметр налили 10 мл ацетона, установили его в термостат и выдержали при заданной температуре измерения (20°C) в течение 10-15 мин.

Капилляр и измерительный шарик трижды промыли ацетоном с помощью резиновой груши. Затем заполнили капилляр и измерительный шарик ацетоном и секундомером фиксировали время истечения растворителя от верхней до нижней метки измерительного шарика. Время истечения измеряли в трехкратной повторности и по полученным значениям рассчитали среднее значение $t_{\text{онач}}$ [20...21]

Далее в сухой вискозиметр налили 10 мл раствора эластомера Ф-40 заданной концентрации и поместили вискозиметр в термостат. После термостатирования, промывания капилляра и измерительного шарика секундомером измеряли в трехкратной повторности время истечения раствора t с определением среднего значения.

В ходе эксперимента исследовали растворы эластомера Ф-40 с концентрацией C до 1 г/100 мл. $C = 0,01; 0,02; 0,03; 0,66; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ и 1,0 г/100 мл.

Относительную вязкость $\eta_{\text{отн}}$ рассчитывали по формуле

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{t}{t_0},$$

где t и t_0 – время истечения раствора полимера и растворителя, соответственно.

Удельную вязкость $\eta_{\text{уд}}$ определили по формуле

$$\eta_{\text{уд}} = \frac{t - t_0}{t_0} = \eta_{\text{отн}} - 1$$

Характеристическую вязкость $[\eta]$ определили посредством графической экстраполяции значений $\eta_{\text{уд}}/C$, полученных экспериментально для различных концентраций раствора эластомера Ф-40, к нулевой концентрации.

Далее преобразовали формулу Марка-Хувинка и рассчитали молекулярную массу полимера [20]

$$[\eta] = KM^\alpha,$$

$$M = \sqrt[\alpha]{\frac{[\eta]}{K}}, \quad (4)$$

где $[\eta]$ – характеристическая вязкость, K и α – константы для исследуемой системы полимер-растворитель при определенной температуре, $K = 5,02 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0,67$.

Результаты экспериментального исследования

На рисунке 2 показаны результаты исследования характеристической вязкости раствора эластомера Ф-40.

При нулевой концентрации значение характеристической вязкости раствора эластомера Ф-40 составляет $[\eta] = 1,8037$ дл/г.

Значение молекулярной массы раствора эластомера Ф-40 рассчитанной по формуле (4), составляет $M = 202598$. Размер наночастиц, определенный по формуле (3), составляет 27 нм.

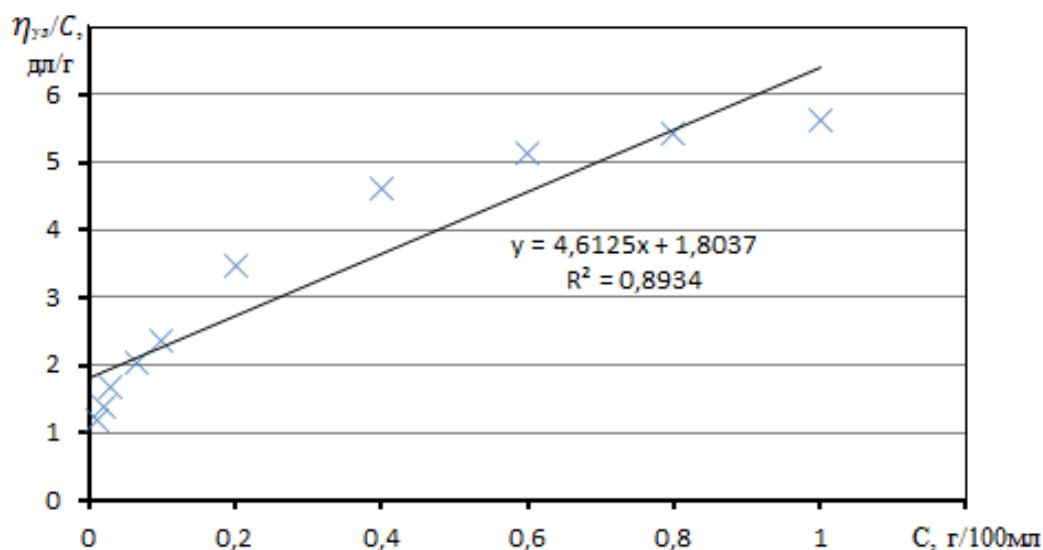


Рисунок 2. Определение характеристической вязкости эластомера Ф-40

Таким образом, в соответствии с условием (3), наночастицы размером 27 нм будут стабилизированы макромолекулами раствора эластомера Ф-40.

Обзор, выпускаемых промышленностью и предлагаемых к использованию, металлических НРЧ показал отсутствие такого типоразмера. Поэтому для наполнения эластомера Ф-40 были выбраны НРЧ алюминия и меди (ТУ 1791-003-36280340-2008). Среднеарифметический размер частиц составляет 50...70 нм [22]. Для пассивации наночастицы обработаны пальмитиновой кислотой. Перед использованием, для удаления влаги и выгорания слоя пальмитиновой кислоты, наночастицы выдерживают при температуре 250°С в течение 2 ч. Поэтому окончательный размер наночастиц будет меньше 50 нм и близок к 27 нм.

В соответствии со значением молекулярной массы раствора эластомера Ф-40 $M = 202598$ и размерами наночастиц алюминия и меди условие (3) не соблюдается в полной мере. Поэтому для предотвращения агрегирования НРЧ алюминия и меди в растворе нанокompозита эластомера Ф-40 необходимо дополнительно проводить интенсивное диспергирование материала, например его ультразвуковую обработку.

Выводы

1. Для обеспечения стерической стабилизации НРЧ в растворах полимеров не следует использовать большую концентрацию наполнителей.
2. Сформулировано условие (3) для выбора размера НРЧ по молекулярной массе полимера, обеспечивающее стерическую стабилизацию НРЧ в растворах полимеров.
3. Экспериментально определена молекулярная масса раствора эластомера Ф-40 $M = 202598$. Для наполнения раствора нанокompозита выбраны НРЧ алюминия и меди (ТУ 1791-003-36280340-2008). С учетом условия (3), для обеспечения стерической стабилизации НРЧ алюминия и меди раствором эластомера Ф-40, необходимо дополнительно проводить ультразвуковое диспергирование материала.

Список литературы

- [1] Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 10. – с. 16 – 21.
- [2] Кононенко А.С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков]: дис. докт. техн. наук. – М., 2012, – 405 с.
- [3] Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий. // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – с. 130 – 134.
- [4] Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники – Липецк : ЛГТУ, 2014. – 379 с.
- [5] Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2017. – 224 с.
- [6] Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов. // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. – с. 89 – 94.
- [7] Li R.I., Kirsanov F.A., Kiba M.R. Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts. // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 3. – pp. 312 – 316.
- [8] Ли Р.И., Коба М.Р. Технология производства металлополимерных подшипников качения. // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – №1. – с. 29 – 33.
- [9] Ли Р.И., Мироненко А.В. Восстановление корпусных деталей автомобильной техники полимер-полимерной композицией. // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – №4(55). – с. 9 – 15.

- [10] *Ли Р.И., Псарев Д.Н., Мироненко А.В., Киба М.Р.* Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин. // Клеи. Герметики, Технологии. – 2017. – № 5. – с. 34 – 37.
- [11] *Михайлюк А. Е.* Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук – Волгоград, 2014. – 140 с.
- [12] *Головин Ю. И.* Наноматериалы и нанотехнологии // Справочник. Инженерный журнал. – 2006. – № 1 (Приложение). – 24 с.
- [13] *Б. М. Балоян, А. Г. Колмаков, М. И. Алымов, А. М. Кротов* Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: учебное пособие – Москва : Междунар. ун-т природы, общества и человека «Дубна» филиал «Угреша», 2007. – 125 с.
- [14] *Новаков И.А., Каблов В.Ф., Петрюк И.П., Михайлюк А.Е.* Использование металлических частиц различной дисперсности в эластомерных композитах // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – Том 7, № 2(62). – С. 90-96.
- [15] *Алехин В. П.* Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов – Москва : Наука, 1983. – 280 с.
- [16] *Колмаков А. Г., Алымов М. И.* Особенности свойств наноматериалов и основные направления их использования // Перспективные материалы. – 2006. – № 5. – С. 5–13.
- [17] *Головин Ю.И.* Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – Москва : Машиностроение, 2007. – 496 с.
- [18] *Андреевский Р. А.* Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Российский химический журнал. – 2002. – № 5. – С. 50–56.
- [19] *А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд.* Наночастицы металлов в полимерах – Москва : Химия, 2000. – 672 с.
- [20] *Торопцева А.М., Белгородская К.В., Бондаренко В.М.* Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений. Л.: Химия, 1972. 416 с.
- [21] *Ли Р. И.* Основы научных исследований [Текст] : Учеб. пособие // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.
- [22] www.nanosized-powders.com

УДК 621.357.77

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

CLASSIFICATION OF TECHNOLOGIES FOR STRENGTHENING COATINGS IN REPAIRING DETAILS OF FUEL EQUIPMENT

Садыков Марат Рашитович, Адигамов Наиль Рашиатович, Адигамов Нур Наильевич
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Marat Sadykov, Nail Adigamov, Nur Adigamov
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье сформулирована методология выбора рационального нанесения покрытия с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. Представлены результаты исследования физико-химических свойств электролитических покрытий восстановленных деталей и корпуса топлива насоса.

Ключевые слова: упрочнение, детали, технология, ремонт.

Abstract

The article formulates a methodology for choosing a rational coating process for the purpose of strengthening and repairing parts of fuel equipment. The results of the study of the physicochemical properties of electrolytic coatings of the recovered parts and pump fuel housings are presented.

Key words: hardening, parts, technology, repairs.

Введение

Ремонт машин и восстановление внутренних поверхностей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники в настоящий момент, экономически целесообразно, поскольку стоимость восстановления в среднем составляет 50-65 % от стоимости новых деталей. Восстановление деталей корпуса топлива насоса и плунжера, разумно и с экономической позиции, поскольку предотвращает экологически разрушительный, трудоемкий металлургический цикл производственного процесса и даёт значительную выгоду средств с использованием более низких производственных затрат по сравнению со стоимостью новой детали [1]. Один из главных источников экономической эффективности заключается в восстановлении потерявших первоначальный вид деталей. На сегодняшний день ресурс отремонтированных машин пока ниже новых. В связи с этим, поиски в области повышения износостойкости, надежности, усовершенствования технологии и методов износостойкости, приемлемые с экономической и технологической стороны, способа восстановления деталей и корпуса топлива насоса сельскохозяйственной техники представляет большой теоретический и практический интерес [2, 3].

1. Методология выбора рационального процесса

В ремонтной практике с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники применяются следующие основные способы: наплавка; металлизация; восстановления полимерными материалами; гальваническое

наращивание. [4] Представленные способы восстановления деталей топливной аппаратуры бывают отнюдь несовершенными и нуждаются в дорогом оборудовании и экономически нерациональны. К тому же некоторые из существующих методов невозможно употребить для восстановления. Это связано со структурными составляющими и искажением геометрической поверхности восстанавливаемой детали, по причине более высоких температур. Все данные способы имеют свои преимущества и недостатки при восстановлении. Пользуясь следующими критериями: технологическим (или критерием применяемости), техническим (долговечности) и технико-экономическим (обобщающим), осуществлен выбор способа гальванического наращивания для восстановления топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники [5, 6].

Гальваническое наращивание - это наращивание металла на поверхность детали основанного на процессе электролиза. Под контролем постоянного электрического тока, попадающий в электролит за счет проводников-электродов, заряженные положительные ионы их еще называют катионами, двигаются к катоду, а заряженные отрицательные ионы (их можно называть анионы) - к аноду [7].

Восстановление деталей гальваническими покрытиями деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники обладает следующими достоинствами в сравнении с другими способами восстановления: обладает высокой твердостью и износостойкостью; возможно создавать равномерные по толщине покрытия по всей наращиваемой поверхности, что снижает затраты на последующую обработку; имеет низкий коэффициент трения; отсутствие коррозии; хорошая электропроводность; возможность одновременно восстанавливать достаточно большое количество деталей; отсутствие термического воздействия; очень высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали [8]. Существуют основные методы восстановления деталей гальваническими покрытиями: хромирование, железнение, никелирование, цинкование; меднение, золочение [9]. С точки зрения экономической эффективности и ресурсосбережения был выбран способ цинко-железного наращивания. Предлагаемый гальванический цинко-железный метод в процессе восстановления деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники позволяет повысить физико-механические свойства восстанавливаемой поверхности. При добавлении в процесс восстановления цинкового покрытия повышаются противокоррозионные свойства восстановленной детали. Так же достоинством предлагаемого метода является отсутствие какого-либо термического воздействия на восстанавливаемую деталь [10].

2. Методология выбора рационального процесса

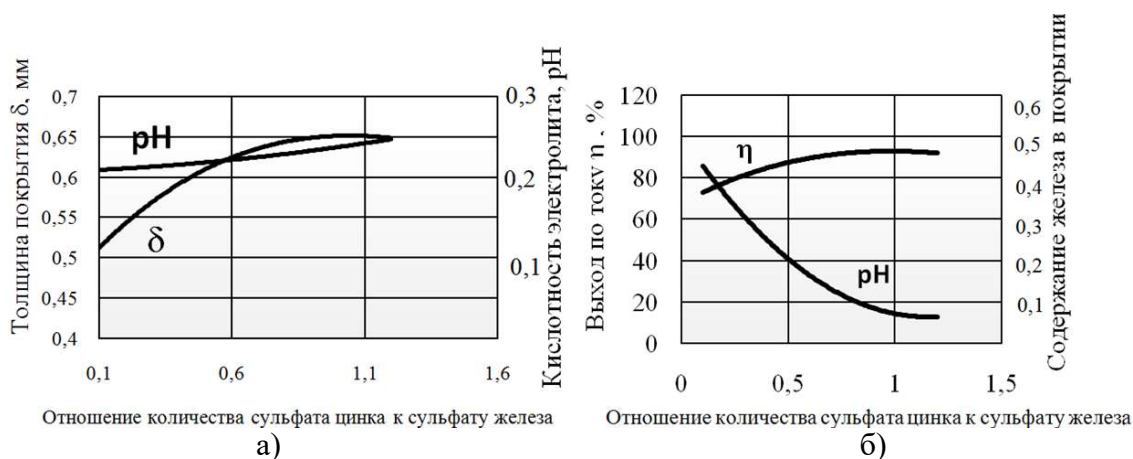
Проводя исследования в процессе восстановления деталей и корпуса топлива насоса гальваническим цинко-железным методом было выявлено, что если увеличивать содержание $ZnSO_4$ в гальванической ванне, выход по току увеличивается. Данный процесс объясняется тем, что в растворе $ZnSO_4$ при условии, что плотность тока будет равной $0,40 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$, создаются благоприятные условия, чтобы ионы Zn прошли сторону катода.

Скорость выделения в процессе реакции прямо пропорционально выходу по току. Таким образом благодаря катодной плотности тока $D_k = 0,40 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ она имеет значение $0,52 \text{ мм}\cdot\text{ч}^{-2}$. Сравнивая значения фактических покрытий с расчетными данными, можно сказать, что значение фактической толщины покрытия в большей части случаев немного меньше ($0,005 - 0,007 \text{ мм}$), чем значение рассчитываемой толщины покрытия. Такое событие объясняется механическим снятием неровностей, а также уплотнением покрытия.

Таблица 1. Результатные данные влияния концентрации сульфата цинка в гальванической ванне на содержания железа, толщину покрытия и выхода по току

№ опыта	ZnSO ₄	pH	Толщина покрытия δ , мм	Выход по току η	Содержание Fe в покрытии, %
	FeSO ₄				
1	0,1	1,5	0,519	0,74	49,6
2	0,2	1,5	0,531	0,76	27,4
3	0,3	1,5	0,593	0,85	19,55
4	0,6	1,5	0,630	0,90	17,32
5	1,0	1,5	0,646	0,92	11,67
6	1,2	1,5	0,651	0,92	9,84

В случае поднятия концентрации сульфата цинка в гальванической ванне, при прочих равных условиях, количества железа в покрытии уменьшается, т. к. идет уменьшение перенапряжения ионов железа. Проведенные экспериментальные исследования, на рисунке 1 и показания в таблице 1, наблюдается, что отношение концентрации ZnSO₄ к FeSO₄ равны 0,1. В таком случае содержание количества Fe в процессе восстановления детали насчитывается огромное количество. Наблюдается высокое перенапряжения ионов Fe, в следствии малого количества ионов Zn в гальванической ванне. Данное изменение процентного состава сульфата цинка в электролите происходило с увеличенным содержанием ионов водорода pH.

Рисунок 1. Экспериментальные данные соотношения количества ZnSO₄ и FeSO₄ на количества Fe в покрытии, pH раствора электролита, выход по току и на толщину покрытия

При проведении оценки влияния температуры раствора электролита на толщину восстанавливаемой поверхности, соотношение содержания Fe и выхода по току при восстановлении деталей и корпуса топливного насоса, изменялась температура электролита начиная с 20°C до 90 °С.

При проведении опыта было выявлено следующее: при увеличении температуры электролита ухудшается качество покрытий. Кроме того, в следствии значительного выделения водорода в электролите, резко меняется поверхность восстанавливаемой поверхности с гладкой и ровной поверхности на более крупнозернистую поверхность. Так же повышается выход по току в процессе повышения температуры раствора в гальванической ванне, из-за увеличения диффузии Zn к катоду, таким образом, увеличивается скорость выпадение осадков Fe-Zn. Увеличение температуры, чаще всего, уменьшает

катодную поляризацию, помогая возникновению крупнозернистых покрытий. Последствия изменения температуры при выходе по току – увеличение скорости диффузии ионов и падение химической поляризации.

При проведении исследований было выявлено, что если увеличивать содержание $ZnSO_4$ в гальванической ванне, выход по току увеличивается. Данный процесс объясняется тем, что в растворе $ZnSO_4$ при условии, что плотность тока будет равной $0,40 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, создаются благоприятные условия, чтобы ионы Zn прошли в сторону катода.

При увеличении температуры электролита заметно падает содержание железа в наращиваемом слое, рисунок 2. При небольших значениях катодной плотности тока в растворе гальванической ванне обнаруживается малое содержания Zn при условии, если увеличивать температуру электролита.

К тому же, наблюдается повышенное содержание Zn в поверхности восстанавливаемой детали, если одновременно увеличивать температуру, катодный ток и размешивать электролит в гальванической ванне.

При этом следует выделить, что твердость покрытия аналогично понижается, т.к. не наблюдается наводораживания железа в процессе электролиза. Полученные экспериментальные показания по влиянию увеличения температуры электролита, в других равных состояниях на основные электрохимические данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты при изменении температуры электролита на содержания железа, выхода по току и толщину покрытия

№ опыта	Температура электролита °С	Выход по току η	Содержание Fe в покрытии, %	Толщина покрытия δ , мм
1	20	0,82	7,85	0,586
2	30	0,87	7,63	0,620
3	40	0,89	6,87	0,630
4	50	0,91	6,56	0,648
5	60	0,92	6,28	0,660
6	70	0,92	6,11	0,665
7	80	0,93	5,87	0,670
8	90	0,94	5,65	0,670

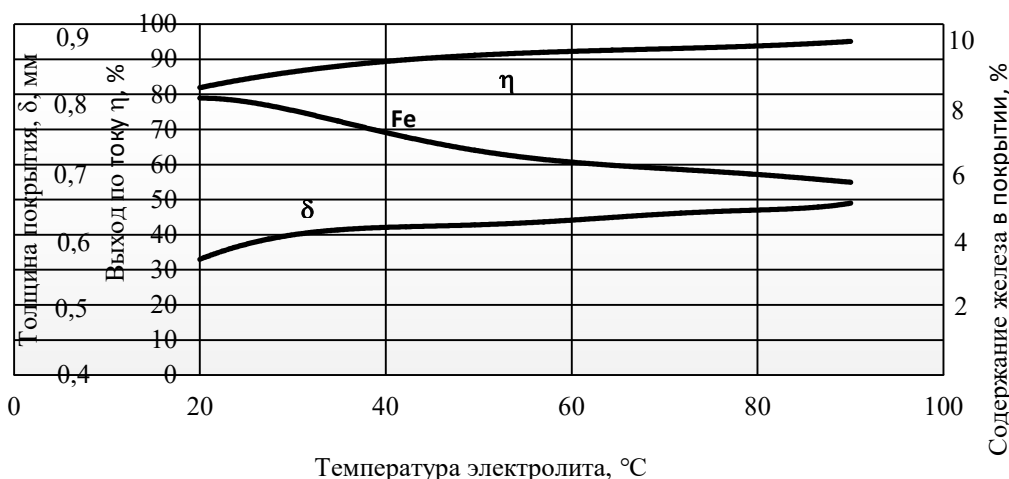


Рисунок 2. Результаты измерения температуры электролита и его влияние на содержание железа, выхода по току и толщину покрытия

Катодная плотность тока, в результате проделанных исследований, оказывает огромное воздействие на электрохимические данные электролиза и качестве достигнутых покрытий.

Эксперименты показали, что усиление плотности тока ускоряет значения выхода по току до определенных данных $D_k = 1,20 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ тем самым выход по току понижается.

При плотности тока равной $D_k = 0,05\text{-}0,08 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ замечается медленный процесс цинко-железнения при восстановлении детали. Далее был проведён эксперимент с $D_k = 0,10 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$, с этим показателем значительно улучшилась, восстанавливая поверхность. Используя эти значения, катодной плотности тока были выявлены совпадения результатов практических замеренных толщин с расчетными показателями. Образование дендритов наблюдалось при $D_k = 1,20 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$. Соответственно, эксперименты влияния катодной плотности тока проводились при значениях начиная от $D_k = 0,10 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ до $D_k = 2 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$. С повышением плотности тока выделение водорода возрастает быстрее, к тому же выход по току увеличивается. Наивысший предел выхода по току наблюдается при $D_k = 1,20 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ и составляет 92 %. Несмотря на это, при дальнейшем возрастании D_k быстро снижается до 85 %.

Это объясняется наличием активного дендритообразования. Когда плотность тока более $1,20 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ происходит активное выделение водорода, тем самым это резко уменьшает выход по току, к тому же наблюдается образование гидроокисей из-за подщелачиванием среды, так же обеднения раствора ионами водорода. Компоненты железа в покрытии, в процессе химического анализа, увеличивается от 1,23% если $D_k = 1 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ до 6,58% если $D_k = 1 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ и 17,34% если $D_k = 2 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$. Усиление плотности тока приводит обычно к увеличению содержания электроотрицательного содержания сплава в катодном осадке. Толщина слоя покрытий и скорость электроосаждения постоянно растут, таблиц 3.

Таблица 3. Результаты влияния катодной плотности тока на содержание железа в покрытии, выхода по току и толщину покрытия

№ опыта	Катодная плотность тока $D_k, \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$	Выход по току η	Толщина покрытий $\delta, \text{ мм}$	Содержание Fe в покрытии, %
1	0,10	0,84	0,032	1,28
2	0,20	0,88	0,066	4,22
3	0,40	0,92	0,094	6,09
4	0,60	0,92	0,249	6,21
5	0,80	0,93	0,322	6,33
6	1,00	0,93	0,399	6,57
7	1,20	0,93	0,488	7,32
8	1,40	0,92	0,564	11,78
9	1,60	0,88	0,620	13,45
10	1,80	0,86	0,692	15,81
11	2,00	0,75	0,743	17,32

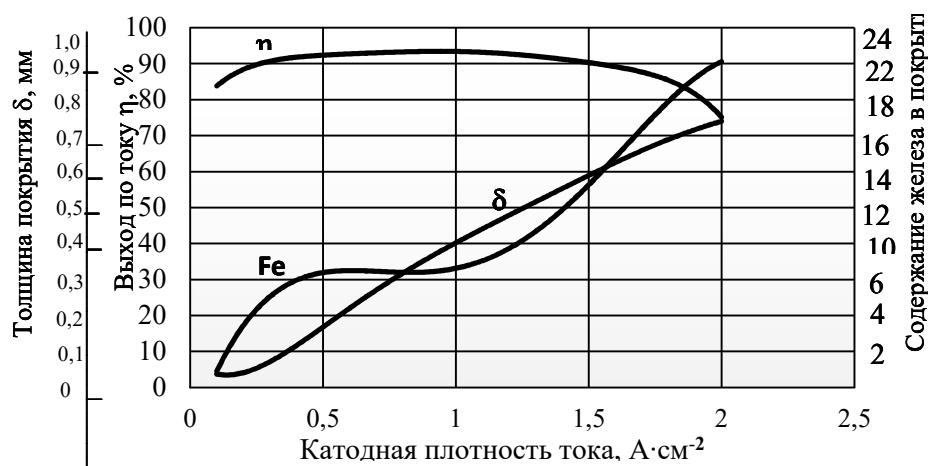


Рисунок 3. Результаты при изменении катодной плотности тока на содержание железа в покрытии, выхода по току и толщины покрытия (продолжительность электролиза 30 мин)

Заключение

Свойства цинко-железных покрытий зависят от состава электролита и от условий электролиза; твердость цинко-железного покрытия зависит как от процентного содержания железа в покрытии, так и от условий электролиза, влияющих на структуру нанесения слоя; увеличение сульфата цинка в электролите очень сильно снижает твердость покрытия; с увеличением содержания серной кислоты в электролите твердость покрытия возрастает; увеличение концентрации сульфата железа в электролите повышает твердость покрытия; увеличение катодной плотности тока оказывает резкое повышение твердости покрытия; увеличение температуры ванны снижает твердость покрытия. Предлагаемый метод восстановления корпусных деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники гальваническим цинко-железным покрытием позволяет повысить физико-механические свойства восстанавливаемой поверхности. Эффект от гальванического наращивания позволяет улучшить теплопроводящие характеристики деталей, придавая им превосходные свойства, а также защищая от воздействия различных веществ, к тому же гальваническое наращивание имеет низкий коэффициент трения, обладает очень высокой прочностью сцепления покрытия с поверхностью детали. Кроме того, этот способ позволяет получить отличные поверхности, имеющие зеркальный вид. Выбором соответствующей технологии восстановления деталей можно снизить затраты на 40% от затрат на их промышленное производство. Сложно переоценить, насколько ценно гальваническое наращивание в современном производстве, так как развитие технологий позволило сделать процесс более совершенным.

Список литературы

- [1] Денисов А.С. Анализ эксплуатационных дефектов коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, Б.Ф. Тугушев, Е.Ю. Горшенина, А.А. Видинеев // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. № 6. С. 30-38.
- [2] Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1980. 400 с.
- [3] Автомобильные и тракторные двигатели. Ч. II. Конструкция и расчет двигателей / Под ред. И.М. Ленина. М.: Высшая школа. 1976. 280 с.

УДК 629.113.004.67

ДУГОВАЯ ШИРОКОСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

ARC WIDE-LAYER WELDING-UP IN RESTORATION OF WEARED PARTS OF AUTOMOBILES

Тугушев Борис Федорович, Бойков Николай Викторович,
Воробьев Алексей Алексеевич, Косьяненко Владислав Сергеевич
*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов, Россия*

Boris Tugushev, Nikolay Boykov, Aleksey Vorobiev, Vladislav Kosiyanenko
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

Аннотация

Представлена методика расчета толщины металлопокрытия. Показаны математические зависимости и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: *восстановление, наплавка, кинематика процесса, толщина металлопокрытия.*

Abstract

A method of calculating the thickness of the metal coating. Showing mathematical relationships and make appropriate.

Key words: *rebuilding, welding-up, kinematics of process, thickness of the metal*

Введение

В современных технологиях восстановления изношенных деталей основную роль играют наплавочные металлопокрытия. В то же время получила распространение широкослойная наплавка рабочих поверхностей колеблющимся электродом (рис. 1а, 1б). Ее применение позволяет избежать многих недостатков, свойственных традиционным методам наплавки по винтовой линии, а именно уменьшить вероятность возникновения трещин и пор в металлопокрытиях, повысив тем самым надежность восстановленной детали [1].

1. Модели и методы

1.1. Постановка задачи

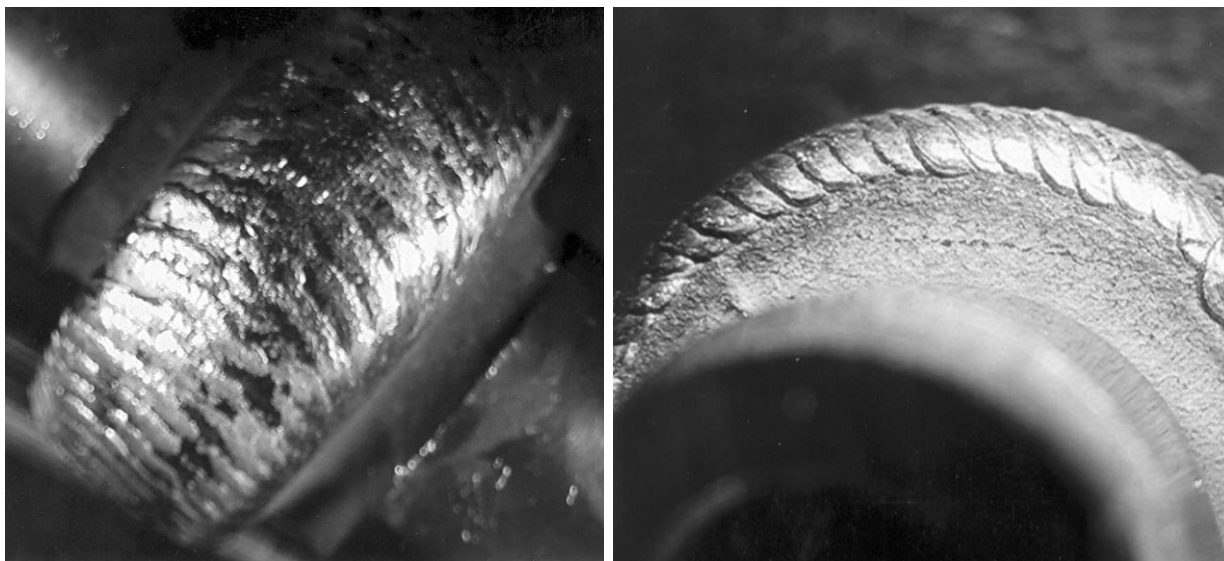
Для получения эффективного технологического процесса, применяя широкослойную наплавку колеблющимся электродом, необходимо решить вопрос обеспечения достаточных величин припусков на последующую механическую обработку поверхностей. В связи с этим возникает потребность определения функциональной зависимости между основными элементами режима широкослойной наплавки и геометрическими характеристиками покрытия.

1.2. Основная часть

Кинематика процесса широкослойной наплавки цилиндрической поверхности детали произвольного профиля описывается уравнением

$$\bar{v}_H = \bar{v}_1 + \bar{v}_2, \quad (1)$$

где \bar{v}_H - вектор скорости наплавки; \bar{v}_1 - вектор линейной скорости вращательного движения точки, расположенной в зоне наплавки; \bar{v}_2 - вектор скорости движения наплавочной горелки.



а

б

Рисунок 1. Поверхность шейки распределительного вала двигателя ВАЗ с металлопокрытием, нанесенным широкослойной наплавкой колеблющимся электродом: фронтальный (а) и боковой (б) виды

В силу того, что $\bar{v}_1 \perp \bar{v}_2$, уравнение (1) в скалярной форме приобретает вид:

$$v_H = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \quad (2)$$

где v_H, v_1, v_2 - модули соответствующих векторов скоростей.

Линейную скорость вращательного движения точки, расположенной в зоне наплавки (рис. 2), можно определить по формуле

$$v_1 = \omega_1 \cdot |EF|, \quad (3)$$

где ω_1 - мгновенная угловая скорость вращения наплавляемой поверхности;

$|EF|$ - длина радиус-вектора, проведенного из мгновенного центра вращения детали до точки, расположенной в зоне наплавки.

Уравнение для средней скорости возвратно-поступательного движения наплавочной горелки, в соответствии с [2], имеет вид:

$$\tilde{v}_2 = \frac{u}{\pi} \cdot \omega_2, \quad (4)$$

где \tilde{v}_2 - средняя скорость возвратно-поступательного движения наплавочной горелки; u – ширина наплавляемого участка; ω_2 - угловая скорость вращения вала привода механизма перемещения горелки.

Подставляя в уравнение (2) выражения для скоростей из формул (3) и (4), получим зависимость для средней скорости наплавки:

$$\tilde{v}_H = \sqrt{\omega_1^2 \cdot |EF|^2 + \frac{u^2}{\pi^2} \cdot \omega_2^2}, \quad (5)$$

где \tilde{v}_H - средняя скорость наплавки.

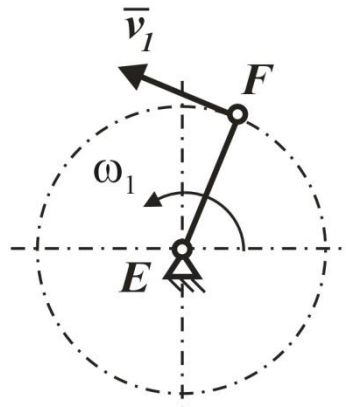


Рисунок 2. Кинематическая схема вращательного движения наплавляемой поверхности

В частном случае, при применении кривошипно-шатунного механизма перемещения горелки, мгновенная скорость ее возвратно-поступательного движения относительно наплавляемой поверхности (рис. 3) определяется в соответствии с уравнением [3]:

$$v_2 = |OH| \cdot \omega_2 \cdot \left(\sin \varphi + 0,5 \cdot \frac{|OH|}{|GH|} \cdot \sin 2\varphi \right), \quad (6)$$

где $|OH|$ - величина радиуса кривошипа; φ - угол поворота кривошипа; $|GH|$ - длина шатуна.

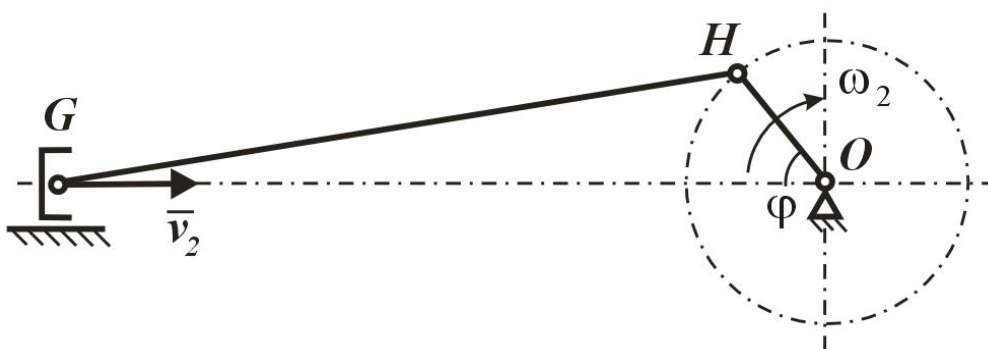


Рисунок 3. Кинематическая схема возвратно-поступательного движения наплавочной горелки

С учетом формул (3) и (6), выражение (2) принимает вид:

$$v_H = \sqrt{\omega_1^2 \cdot |EF|^2 + |OH|^2 \cdot \omega_2^2 \cdot \left(\sin \varphi + 0,5 \cdot \frac{|OH|}{|GH|} \cdot \sin 2\varphi \right)^2}. \quad (7)$$

В дальнейших рассуждениях, при выводе математической зависимости толщины слоя, наносимого при широкослойной наплавке колеблющимся электродом, от основных параметров процесса, будем использовать аппарат дифференциального исчисления.

Положим, что на элементарно малом участке поверхности площадью dF наплавлен объем металла, равный dV . Тогда зависимость между этими величинами может быть представлена дифференциальным уравнением

$$dV - h \cdot dF = 0, \quad (8)$$

где dV - дифференциал функции объема наплавленного металла; h - толщина наплавленного покрытия; dF - дифференциал функции площади наплавляемой поверхности.

В свою очередь, наплавка элементарно малого участка поверхности площадью dF происходит в результате нанесения покрытия с определенным шагом наплавки и за определенное количество двойных ходов горелки. То есть в рассматриваемом случае это можно представить в виде:

$$dF - u \cdot s \cdot dn_s = 0, \quad (9)$$

где s - шаг наплавки; dn_s - дифференциал функции количества двойных ходов наплавочной горелки.

Для упрощения реальной ситуации принимаем схему наплавки с условной траекторией движения электрода по наплавляемой поверхности (рис. 4). По принятым допущениям участок такой поверхности представлен в виде прямоугольника $KACM$.

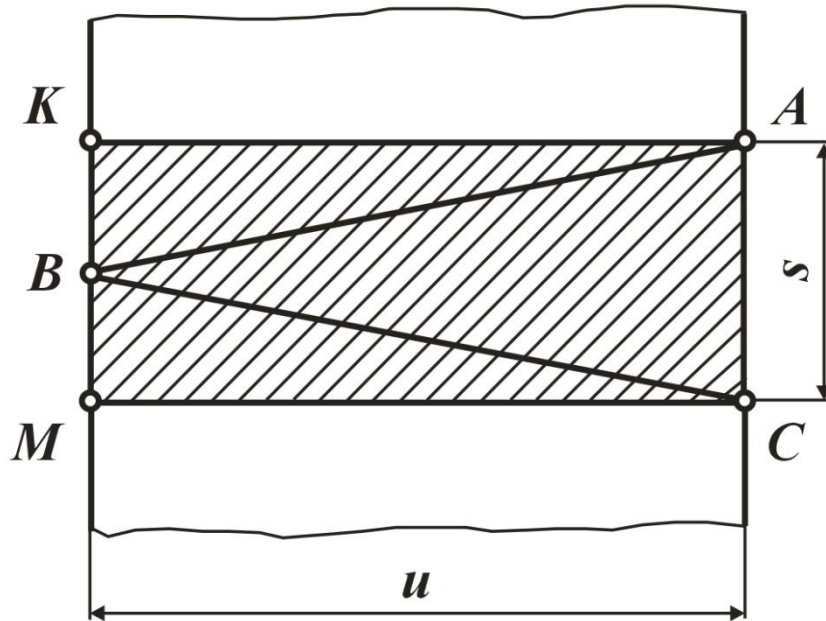


Рисунок 4. Условная схема наплавки с траекторией движения электрода по наплавляемой поверхности

В первом приближении (при $v_1 \ll v_2$, что соответствует реальным условиям широко-слойной наплавки) можно принять траекторию движения электрода относительно наплавляемой поверхности в виде ломаной линии, элементами которой являются отрезки $[AB]$ и $[BC]$. Тогда количество двойных ходов горелки может быть представлено формулой

$$n_s = \frac{v_{HT} \cdot t}{|AB| + |BC|}, \quad (10)$$

где n_s - количество двойных ходов наплавочной горелки; v_{HT} - технологически необходимая скорость наплавки; t - время наплавки; $|AB|, |BC|$ - длины соответствующих элементов траектории движения электрода, составляющих двойной ход.

Из рис. 4 видно, что

$$|AB| = |BC| = \sqrt{u^2 + \frac{s^2}{4}}. \quad (11)$$

Таким образом уравнение (10) можно представить в виде:

$$n_s = \frac{v_{HT} \cdot t}{\sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}}. \quad (12)$$

Дифференцируя это уравнение по dt , получим:

$$\frac{dn_s}{dt} = \frac{v_{HT}}{\sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}}. \quad (13)$$

В этом случае дифференциал функции количества двойных ходов наплавочной горелки может быть представлен в виде:

$$dn_s = \frac{v_{HT} \cdot dt}{\sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}}. \quad (14)$$

Здесь справедливым является уравнение

$$dn_s - \frac{v_{HT} \cdot dt}{\sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}} = 0. \quad (15)$$

При условии применения в качестве наплавочного материала электродной проволоки, пусть за элементарно малый промежуток времени наплавки dt ее израсходованный объем будет составлять dV_{IP} . Тогда расход наплавочного материала будет описываться дифференциальным уравнением

$$dV_{IP} - 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot v_{IP} \cdot dt = 0, \quad (16)$$

где dV_{IP} - дифференциал функции объема проволоки, израсходованной на наплавку; d - диаметр электродной проволоки; v_{IP} - скорость подачи проволоки; dt - элементарно малый промежуток времени наплавки.

Следует учесть то положение, что при дуговой наплавке не весь объем подаваемого электродного материала переходит в объем наносимого металлопокрытия. Здесь имеет место разбрызгивание расплавленного металла, а также стекание с наплавляемой поверхности. Поэтому справедливым является выражение

$$dV - \eta \cdot dV_{IP} = 0, \quad (17)$$

где η - коэффициент эффективности наплавки.

Выражения (8), (9) и (15) являются дифференциальными уравнениями первого порядка в полных дифференциалах. Решая эти три уравнения совместно относительно dV , получим:

$$dV = u \cdot s \cdot h \cdot \frac{v_{HT} \cdot dt}{\sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}}. \quad (18)$$

Выражения (16) и (17) также являются дифференциальными уравнениями в полных дифференциалах. Их совместное решение относительно dV имеет вид:

$$dV = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \eta \cdot v_{\text{ПР}} \cdot dt. \quad (19)$$

Приравнивая правые части уравнений (18) и (19) и выражая из полученного равенства толщину наплавленного слоя, будем иметь зависимость:

$$h = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v_{\text{ПР}} \cdot \sqrt{4 \cdot u^2 + s^2}}{4 \cdot u \cdot s \cdot v_{\text{НТ}}} \cdot \eta. \quad (20)$$

Вывод формулы (20), основанный на анализе дифференциальных уравнений, позволил определить выражение для h в общем виде вне зависимости от того, являются ли основные входящие в него параметры стационарными, либо они нестационарными.

2. Обсуждение полученных результатов

1) Для обеспечения технологически необходимой скорости наплавки должно соблюдаться условие:

$$v_{\text{НТ}} \approx \tilde{v}_H. \quad (21)$$

2) При использовании кривошипно-шатунного механизма привода наплавочной горелки для осуществления ее возвратно-поступательного движения, принимая скорость наплавки из формулы (7) равной технологически необходимой скорости наплавки в выражении (20), можно аналитически определить толщину наносимого металлопокрытия в любой точке образующей по всей ширине наплавляемой поверхности.

3) Все это позволяет учесть величины эксплуатационного износа и припуски на последующие после наплавки операции термической и механической обработки восстанавливаемой поверхности.

Список литературы

- [1] Денисов А.С. Анализ эксплуатационных дефектов коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, Б.Ф. Тугушев, Е.Ю. Горшенина, А.А. Видинеев // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. № 6. С. 30-38.
- [2] Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1980. 400 с.
- [3] Автомобильные и тракторные двигатели. Ч. II. Конструкция и расчет двигателей / Под ред. И.М. Ленина. М.: Высшая школа. 1976. 280 с.

УДК 62-77

**МЕТОД ТЕПЛОВОЙ ТОМОГРАФИИ – ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЛЯ БЕЗРАЗБОРОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**A METHOD OF THERMAL IMAGING – PROSPECTS FOR THE USE OF
IN-PLACE DIAGNOSTICS OF UNITS AND PARTS OF VEHICLES**

Хатунцев Владимир Владимирович, Гончаров Дмитрий Анатольевич
Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

Vladimir Khatuntsev, Dmitriy Goncharov
Michurinsk State Agricultural University, Michurinsk, Russia

Аннотация

В работе приведены виды теплового неразрушающего контроля. Рассказывается о методе тепловой томографии и оборудовании, реализующем этот метод диагностики.

Ключевые слова: *тепловые методы, неразрушающий контроль, томография.*

Abstract

The paper presents the types of thermal non-destructive testing. The article describes the method of thermal tomography and equipment that implements this method of diagnosis.

Key words: *thermal methods, non-destructive testing, tomography.*

В тепловых методах неразрушающего контроля (ТНК) используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых раковин, полостей, трещин, не проваров, инородных включений и т.д., всевозможных отклонений физических свойств объекта контроля ОК от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т.п.

1. Виды и способы ТНК

Различают пассивный и активный ТНК. При пассивном ТНК анализ тепловых полей изделий производят регистрацией их собственного теплового излучения. Активный ТНК предполагает нагрев объекта внешним источником энергии.

Основным информационным параметром при ТНК является локальная разность температур между дефектной T_a и бездефектной T_b областями объекта. Знак перепада зависит от соотношения теплофизических свойств дефекта и изделия и исследуемой поверхности [1]. При нагреве изделий, содержащих дефекты, плохо проводящие тепло (типа газовых включений), перепад положителен для поверхности, подвергнутой нагреву (т.е. место дефекта характеризуется локальным повышением температуры), и отрицателен для противоположной стороны. В случае дефекта, проводящего тепло

лучше основного изделия (металлические вкрапления), знак перепада изменяется на обратный.

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локального температурного перепада. Координаты места перепада, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах являются функцией большого количества факторов. Эти факторы можно подразделить на внутренние и внешние. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном, процесса развития температурного перепада. Внешними факторами являются характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля (чаще всего величина коэффициента конвективной теплоотдачи), мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Временной ход перепада характеризуется кривой с максимумом. Это заставляет в каждом конкретном случае оптимальным образом выбирать момент регистрации температурного перепада. Величина t зависит от тепло- и теплопроводности изделия и дефекта и глубины залегания дефекта.

Момент наступления максимального перепада и глубина залегания дефекта обычно связаны линейной зависимостью, причем угол наклона соответствующей прямой зависит от теплофизических свойств изделия и дефекта. В зависимости от типа материала и глубины залегания дефекта величина времени перепада температур металлов колеблется от долей секунд до десятков секунд, для неметаллов она может составлять десятки минут.

Увеличение мощности нагревателя и уменьшение интенсивности теплообмена приводит к росту уровня нагрева изделия и лучшему выявлению дефектов.

Способы активного ТНК.

Существуют следующие способы активного теплового контроля изделий [2]:

1. Кратковременный локальный нагрев изделия с последующей регистрацией температуры той же (при одностороннем контроле) или противоположной области (при двустороннем контроле). По истечении некоторого времени (чтобы изделие успело остыть) переходят к следующей точке и т.д. Так будет пройдена вся поверхность изделия, причем измеренная температура дефектных областей будет существенно отличаться от температуры бездефектных участков.

2. С использованием сканирующей системы, состоящей из жестко закрепленных друг относительно друга источника нагрева и регистрирующего прибора (например, радиометра), перемещающихся с постоянной скоростью вдоль поверхности образца.

3. Одновременный нагрев поверхности образца вдоль некоторой линии с последующей регистрацией температуры вдоль той же линии (при одновременном контроле) или вдоль аналогичной линии с противоположной поверхности образца (при двустороннем контроле). Подобная регистрация может быть осуществлена, например, прибором «Термопрофиль».

4. Одновременный нагрев всей поверхности образца и последующая одновременная регистрация температурного распределения на этой же или на противоположной поверхности. Подобный способ контроля может быть осуществлен при помощи тепловизора.

Эффективность выявления дефектов каждым из описанных способов теплового контроля уменьшается от первого к четвертому, а производительность – возрастает. Области применения ТНК приведены в таблице 1.

Таблица 1. Области применения ТНК

Область	Способ, объекты контроля, выявляемые дефекты
Авиакосмическая индустрия	ИК-влагометрия; дефекты структуры композитов, готовых панелей, клеевых соединений, защитных покрытий
Микроэлектроника	Лазерный контроль пайки, сварки: ИК-томография полупроводников, БИС, дефекты теплопроводов.
Машиностроение	Дефектоскопия антикоррозионных покрытий, обнаружение мест подповерхностного расслоения; композитных структур
Лазерная техника	Контроль термонапряжений в лазерных кристаллах, ТФК квантронов, световой прочности элементов силовой оптики
Материаловедение	Тепловая диагностика напряженного состояния объектов на основе термоэластического эффекта, контроль ТФК конструкционных материалов
Строительство	Контроль теплопроводности строительных материалов, защитных ограждений, обнаружение пустот, промоин и т.д.
Нефтехимия	Термографический контроль уровня жидкостей в резервуарах
Атомная энергетика	Тепловая дефектоскопия ТВЭЛ, анализ пористости материалов, контроль напряженного состояния металла
Автомобильная промышленность	Тепловая дефектоскопия шин, покрытий, упрочняющих покрытий, качества закалки и термоупрочнения
Энергетика	Тепловизионный контроль статоров, защитных покрытий, термоизоляции
Агрокомплекс	Контроль ТФК продуктов, дефектоскопия деталей с/х техники

2. Тепловая томография

Тепловая томография – метод визуализации внутренних сечений объекта с помощью тепловых эффектов. Его можно реализовать импульсным облучением объекта плоским равномерным пучком излучения и последовательной регистрацией «тепловых отпечатков» дефектов или неоднородностей теплофизических параметров контролируемой структуры на противоположной стороне изделия с помощью быстродействующего тепловизора. Один из вариантов тепловой томографии основан на регистрации на термограммах в различные моменты времени тепловых изображений дефектов, расположенных на различной глубине. Записывая эти изображения, например, в цифровое ОЗУ, можно затем последовательно просматривать строение слоев изделия на различной глубине. Этот метод получил название метода хронологических термограмм или динамической тепловой термографии. Исходной зависимостью теории является зависимость температурного перепада над дефектом от времени. Другой вариант тепловой томографии основан на использовании алгоритмов реконструкции изображений, используемых в традиционной технике томографа. Например, система трехмерного контроля внутренних тепловых неоднородностей объекта может быть основана на использовании «эффекта миража». С помощью цилиндрической линзы на поверхности изделия фокусируется лазерное излучение в виде узкой полоски. Вспомогательный лазерный луч направляется вдоль этой полоски над поверхностью изделия (например, полированной кремниевой пластинки и т.п.). Объект последовательно перемещается в направлении, перпендикулярном освещаемой полоске, а после каждого цикла перемещения поворачи-

чивается относительно оси, совпадающей с направлением излучения. С помощью позиционно-чувствительного фотоприемника получают матрицу «проекций» для всех положений объекта, а затем восстанавливают изображение по стандартным алгоритмам. Для трехмерного контроля используют второй пробный луч, направляемый параллельно первому над обратной стороной объекта.

Использование данного метода реализовано в различных тепловизионных приборах. В основу принципа действия тепловизионных приборов положено двухмерное преобразование собственного теплового излучения от объектов и местности, или фона, в видимое изображение, что является одной из высших форм преобразования и хранения информации. Наличие в поле зрения регистрируемого теплового контраста позволяет визуализировать на мониторе полутоновые черно-белые, или адекватные им «псевдоцветные», тепловизионные изображения [3, 4].

Тепловизионная техника обладает рядом достоинств и присущих только ей возможностей: обнаружение удаленных только теплоизлучающих объектов (или целей) независимо от уровня естественной освещенности, а также до определенной степени - тепловых и других помех (дождя, тумана, снегопада, пыли, дыма и др.) [5].

Вывод

Использование метода тепловой томографии нашло применение в различных областях промышленности. Этот метод также может быть использован для безразборного диагностирования различных дефектов узлов и деталей транспортных средств. Например, дефектоскопия антикоррозионных покрытий, тепловая дефектоскопия шин, упрочняющих покрытий, качества закалки и термоупрочнения ответственных деталей трансмиссии и двигателя.

Список литературы

- [1] *В.В. Клюев* Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев и др.; Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. - 488 с.
- [2] *О.Н. Будадин* Тепловой неразрушающий контроль изделий: Научно-методическое пособие / О.Н. Будадин и др. М.: Наука, 2002. - 472 с.
- [3] *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. М.: Мир, 1988. - 41 с.
- [4] *А.Г. Чумаков, С.В. Епифанов, А.В. Олейник, В.Е. Костюк, В.Г. Перетертов* Моделирование температурного состояния охлаждаемой турбинной лопатки с вихревой матрицей в процессе тепловой дефектоскопии / А.Г. Чумаков, С.В. Епифанов, А.В. Олейник, В.Е. Костюк, В.Г. Перетертов // *Авиационно-космическая техника и технология: науч.-техн. журн.* – 2006. — № 8(34). – С. 124-128.
- [5] *Vavilov V., Grinzato E., Bizon P.* Some New Ideas in Dinamic Thermal Tomography // *QIRT-96^ Book of abstracts of Eurotherm Seminar, Stuttgart, Germany, 1996, p. D11p-D12p*

УДК 631.316.022

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

**PERSPECTIVE WAYS OF RECOVERY AND HARDENING OF THE WORKING
BODIES OF TILLAGE MACHINES**

Шарафиев Азамат Анасович, Адигамов Наиль Рашатович,
Адигамова Мадина Наильевна

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Azamat Sharafiev, Nail Adigamov, Madina Adigamova
Kazan State Agrar University, Kazan, Russia

Аннотация

Перечислены и проанализированы существующие методы восстановления работоспособности и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, с указанием используемых порошковых материалов и особенностей технологии упрочнения.

Ключевые слова: *металлокерамика, наплавка, рабочие органы, упрочнение.*

Abstract

The existing methods of restoration of working capacity and strengthening of working bodies of tillage machines are listed and analyzed, indicating the powder materials used and the features of the hardening technology.

Key words: *cermet, welding, working bodies, hardening.*

Введение

Проблема износа рабочих органов почвообрабатывающих машин остается крайне актуальной в современном сельском хозяйстве по всему миру. Износ рабочих органов оказывает значительное влияние на качество выполнения полевых работ, а также является причиной немалых финансовых затрат на поддержание работоспособности почвообрабатывающих и посевных агрегатов. Причиной этих проблем является постоянный контакт с почвенной средой поверхностей рабочих органов вместе с недостаточным уровнем их твердости относительно абразивных элементов, содержащихся в почве [1, 2].

1. Современные способы восстановления рабочих органов

Основным способом восстановления геометрических параметров изношенных рабочих органов почвообрабатывающих машин является приварка новой режущей части с последующим упрочнением поверхности износостойкими материалами. Также известны способы приклеивания или пайки керамических и металлокерамических пластин для восстановления геометрических форм рабочего органа. Благодаря оснащению рабочих органов культиватора специальными наконечниками из металлокерамического матери-

ала, в зависимости от условий испытаний, степень износа уменьшилась в 4-9 раз по сравнению с неупрочненными органами [3].

Одним из широко распространённых современных методов является плазменная наплавка твердых порошковых сплавов. Для этого процесса применяют такие материалы как ПГ-С27, ПГ-ФБХ-6-2, ПС-14-60. Данный метод позволяет повышать износостойкость рабочих органов до 2,7 раз [4].

Перспективным направлением является применение композиционных металлокерамических компонентов для упрочнения новых рабочих органов или изношенных. Результаты современных исследований позволяют повысить ресурс рабочих органов до 5...7 раз, однако связаны с применением дорогих компонентов для создания металлокерамических твердых сплавов [5,6]. Поэтому актуальными остаются исследования возможностей композиционных материалов, состоящих из более дешевых компонентов, таких как оксиды алюминия Al_2O_3 и кремния SiO_2 , а также карбида бора B_4C .

2. Вибродуговое упрочнение с применением металлокерамических паст (МКП)

2.1. Исследуемые составы металлокерамических паст (МКП)

Перед началом процесса упрочнения МКП наносится на упрочняемую поверхность и высушивается до затвердевания. Паста состоит из металлокерамического порошка и жидкого стекла в качестве связующего звена. Основой (матрицей) порошкового материала являются стальные порошки типа ПГ-10Н-01, ПГ-СР4 или ПР-Н67Х18С5Р4. Использование стальной матрицы позволяет повысить стойкость полученной поверхности к ударным и деформирующим нагрузкам. В качестве армирующего керамического материала применяется карбид бора B_4C или оксид кремния SiO_2 , что связано с их высокой твердостью, абразивной и коррозионной стойкостью. Использование в составе композиционного материала как криолит способствует улучшению процесса зажигания и горения дуги. Использование азотсодержащих веществ (например, нитрата аммония NH_4NO_3 или карбамида NH_2CONH_2) положительно влияет на качество получаемого покрытия, в связи с образованием, при их термодиссоциации, нитридов, которые в свою очередь являются упрочняющими компонентами. Алюминий в виде порошка используется для раскисления железа, а также образования керамической фазы путём превращения его в оксид алюминия Al_2O_3 и, при последующем расплавлении, в корунд [7].



Рисунок 1. Изображения зубьев борона после нанесения МКП

В ходе исследований в стенах Казанского ГАУ использовались пасты со следующим содержанием и соотношением компонентов: порошок типа ПГ-10Н-01, выполняющий функцию стальной матрицы (наплавочного порошка) – 40...60%, сверхтвердые керамические включения в виде карбид бора B_4C – 10...40%, криолит (который способствует улучшению стабильности и качества горения дуги) Na_3AlF_6 – 10...15%, алюминиевый порошок дисперсностью 1,5...2,0 мкм – 10...15%. 50% водный раствор натриевого жидкого стекла Na_2SiO_3 в качестве связующего звена. Разное соотношение компонентов паст значительно влияют на процесс упрочнения и характеристики полученных поверхностей. Например, при слишком высоком содержании армирующих керамических компонентов МКП хуже наплавляются и уменьшаются показатели твердости упрочненной поверхности относительно других образцов. Толщина полученного металлокерамического покрытия зависит от толщины наносимой пасты, однако чрезмерное количество пасты отрицательно сказывается на качестве зажигания и горения электрической дуги между электродом и упрочняемой поверхностью.

2.2. Особенности и режимы упрочнения вибродуговым способом

Доступным и легким для внедрения методом при упрочнении является метод вибродугового упрочнения (ВДУ) с использованием металлокерамических порошков и применением графитовых электродов [8]. Для этого возможно применение совместной разработки кафедры «Технический сервис» Казанского ГАУ и ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии устройства для вибродугового упрочнения (рисунок 2).



1 - блок управления; 2 – вибратор с креплением для электрода; 3 – графитовый электрод; 4- инвертор сварочный

Рисунок 2. Общий вид установки

Установка используется вместе с инверторным источником тока 4, пультом управления 1 и вибратором 2 с закрепленным в нем графитовым электродом 3 диаметром 8 мм. Между графитовым электродом и упрочняемым лезвием с нанесенным слоем пасты зажигают электрическую дугу прямого действия обратной полярности, в результате чего за счет термодиссоциации компонентов пасты происходит термодиффузионное насыщение упрочняемой поверхности азотом и углеродом. Процесс ведут на следую-

щих режимах: сила тока - 80...90А, напряжение - 60...65 В, частота вибрации графитового электрода - 100...120 колебаний в секунду. Одновременно с термодиффузионным насыщением при горении электрической дуги на упрочняемом лезвии из компонентов пасты образуется металлокерамическое покрытие. Вибрация графитового электрода позволяет получить более плотное и прочное металлокерамическое покрытие, а его периодическое перемещение позволяет упрочнить все лезвие рабочего органа. Толщина металлокерамического покрытия составляет 1,0...1,2 мм при толщине слоя нанесенной пасты в 2,0...2,5 мм, глубина термодиффузионного упрочнения - 1,5...1,6 мм, твердость упрочненной поверхности - 80...85 HRC [9].

2.3. Результаты лабораторных и полевых исследований

Лабораторные испытания на образцах и полевые исследования рабочих органов почвообрабатывающих машин показали, что износостойкость рабочих поверхностей деталей машин при соответствующем подборе режимов обработки и составов МКП позволяют повысить ресурс работы этих деталей в 2...2,5 раза по сравнению с аналогами [10].

Для подтверждения результатов лабораторных исследований в 2016 году по заданию Министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ были проведены полевые исследования упрочненных стрелчатых лап на базе сельскохозяйственного предприятия «Урал» Кукморского района Республики Татарстан. Для испытания было упрочнено 20 новых стрелчатых лап для культиваторов КПС-4 типоразмера 330 (рисунок 3).



а) серийная новая лапа

б) упрочненная новая лапа

Рисунок 3 – Стрелчатые лапы

Перед весенними полевыми работами на базе СХП «Урал» было скомплектовано два культиватора КПС-4 с новыми рабочими органами: стрелчатыми лапами с упрочнением и без упрочнения.

Опытные культиваторы выполнили весь запланированный объем весенних полевых работ на полях СХП «Урал». Один культиватор КПС-4 обработал 600 га пашни, второй культиватор КПС-4 обработал 650 га пашни. На рисунке 4 приведены фотографии стрелчатых лап после завершения всего объема весенних полевых работ (650 га).



Слева – серийная лапа; справа – серийная упрочненная лапа

Рисунок 4. Стрельчатые лапы после наработки 650 га

Из этой фотографии видно, что стрельчатые лапы, упрочненные виброугловым способом с использованием подобранных составов металлокерамических порошков, полностью сохранили свои геометрические размеры и могут быть использованы в дальнейшем. Полевые испытания в СХП «Урал» показали, что за период наработки стрельчатые лапы КПС-4 не изменили своих геометрических размеров в отличие от серийных лап. Таким образом, использование технологии виброуглового упрочнения с использованием металлокерамических порошков позволяет не только повысить износостойкость и ресурс работы стрельчатых лап, но и сохранить их геометрические размеры в процессе культивации, что весьма важно для поддержания заданных агротехнических требований

Заключение

Проблема восстановления и упрочнения рабочих органов является одной из актуальных проблем современного сельского хозяйства и не обделена вниманием все новых исследователей. Несмотря на наличие хороших результатов достигнутых в ходе исследований, все еще необходимо вести работу в области оптимизации применяемых материалов и методов. Также необходимо уменьшение временных, трудовых и финансовых затрат на упрочнение каждой единицы детали, без ущерба для получаемых поверхностей.

Список литературы

- [1] *Бартенев И.М.* Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин // Лесотехнический журнал. – 2013. – №3. – с. 114 – 123

- [2] *Крупин А. Е.* Особенности эксплуатационного изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий // Вестник НГИЭИ. – 2010.– №1. – с.53–59
- [3] *Гончаренко, В.В., В.А. Добриков, С.С. Бирюков* Способ восстановления и упрочнения лемехов плугов // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1 (1). – с.230-234.
- [4] *N. R. Adigamov, S. N. Sharifullin and R. Y. Solovev.* Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines // Phys.: Conf. Ser., – published: 14 January 2016, 012050. – vol: 2016. – num: 669.
- [5] *Адигамов Н.Р., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Шарифуллин С.Н.* Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей // Журнал «Сварочное Производство» – 2016. – №2,
- [6] *Литовченко, Н.Н., В.Н. Куликов* Электродуговое упрочнение деталей нанесением металлокерамических покрытий // Машиннотехнологическая станция. – 2011. – №4. – с. 50-51.
- [7] *Титов Н.В., Н.Н. Литовченко, В.Н. Коротков* Метод вибродуговой наплавки металлокерамики деталей техники, работающей в условиях абразивного износа // Труды ГОСНИТИ. – 2013. - Т.111. Ч.2. - с. 219-222.
- [8] *Титов Н.В., И.А. Петриков, Н.А. Кондрахин* Применение метода карбовибродугового упрочнения для повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 1 (5).–с.130-137
- [9] *Коломейченко А.В., Н.В. Титов, В.В. Виноградов* Влияние керамических компонентов пасты на твердость упрочненных карбовибродуговым методом поверхностей // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т.118. – с. 140-145
- [10] *Титов Н.В. А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев* Исследование твердости и износостойкости рабочих органов машин, упрочненных вибродуговой наплавкой с применением металлокерамических материалов. // Сварочное производство. – 2014. – №9. – с. 33-36.

UDC 621.311.24

A COOLER FOR DENSE-ARRAY CPV RECEIVERS BASED ON METAL FOAM

Yuri Flitsanov
Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Abstract

Open-cell metal foams were experimentally evaluated as heat transfer enhancers in a cold plate suitable for concentrating photovoltaic (CPV) receivers. Aluminum based foams with 20, 30 and 40 pores per inch (PPI) were tested in a compact heat exchanger with forced convection of water over a range of flow rates and heating rates. Heat transfer rate and pressure drop were characterized as a function of water flow rate through the heat exchanger. The results were compared to a commercially available cooling plate solution and to previous studies with different configurations of water-cooled metal foams. The results show a better combination of heat transfer and pressure drop performance with the metal foam solution compared to the commercial cooler.

Key words: *concentrating photovoltaics (CPV), porous media, metal foam.*

Introduction

In this work, we consider another extended-surface solution, where the cooling plate contains a metal foam insert in the flow channel. A typical slab of metal foam is shown in Fig. 1. Metal foams are commercially available and are already used in a wide range of other applications such as lightweight structural and architectural materials, filters, acoustic attenuators, catalysts in chemical and electro-chemical reactors, and more (García-Moreno, 2016). The general advantages of metal foams for heat transfer applications include large surface area per unit volume, high conduction heat transfer (with suitable metals such as aluminum and copper), and low density leading to low weight of the heat exchanger (Ozmat et al., 2004). When metal foam is used as a filler in a cooling plate, heat transfer from the plate wall to the coolant fluid is enhanced by two effects: heat conduction along the metal struts that constitute the foam structure and act as fins, and mixing of the fluid caused by the tortuous path of the fluid around the struts. Some investigations suggest that the mixing (dispersion) effect is the dominant mechanism for heat transfer enhancement (Hunt and Tien, 1988). Theoretical analyses of flow and heat transfer in metallic foams frequently use simplified models of the pore structures geometry, such as regular polygonal unit cells formed by thin circular cylinder struts (Fourie and Du Plessis, 2002; Lu et al., 1998). However, for a more realistic characterization of the behavior of real foams, experimental investigations and empirical correlations are always needed.

1. Results and discussion

1.1. Metal foam samples

We have tested open-pore metal foams samples of 20, 30 and 40 PPI (pores per inch) made of AlSi7Mg from M-pore GmbH, Germany. The relevant properties of these samples are shown in Table 1. Each sample was sized 30mm×30 mm to match the heated area of the heat exchanger, and 5mm thick to fill the entire flow channel.

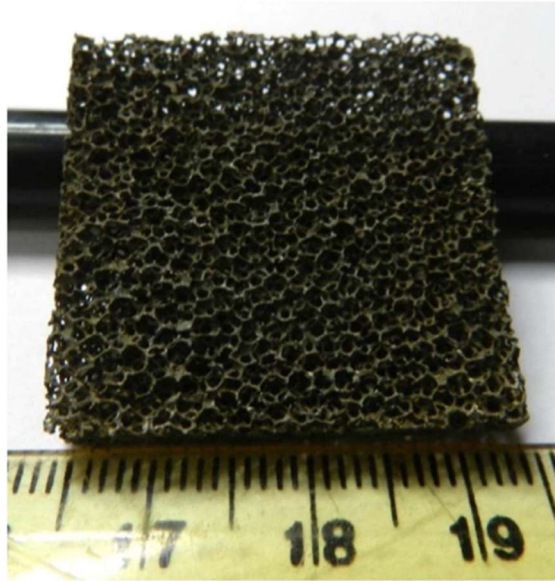


Figure 1. Picture of sample metal foam (40 PPI, AlSi7Mg, from M-pore GmbH, Germany)

For each sample the experiment was performed over a range of heater power (20–770W) and a range of water flow rates (16–250 L/h). The water inlet temperature was held constant during each experiment at about 20°C. After reaching steady state at each flow rate, the temperatures and pressure differential were recorded on the PC, and the flow rate and heaters electrical power were read and recorded manually. The test of each sample was repeated four times to ensure repeatability. The experiments were repeated over the same range of flow rates and heater power also with an empty heat exchanger cavity (water flow in a clear channel), in order to isolate the effects due to the inlet and outlet configuration and to establish a baseline of heat transfer without an extended surface geometry.

1.2. Pressure drop

The pressure drop was first measured with an empty channel, to establish the baseline that includes the pressure drop in the inlet and outlet sections of the cooling plate. Then the measurements were performed for the same flow rates with the three samples inserted in the channel. Fig. 2 presents the results for all measurements, showing that the differences are small, leading to the conclusion that most of the pressure drop was not a result of the metal foam presence in the channel. The inlet and outlet of the heat exchanger contain sharp turns and therefore account for the dominant pressure loss. The empty channel accounts for 83–87% of the total pressure drop with the 40 PPI sample, over most of the range of flow rates, and even higher fractions with the other samples.

1.3. Convective heat transfer

Each experiment was repeated four times with different power of the electrical heaters. Water outlet temperature varied between 20.7 °C for the lowest heating power, and 32.0°C for the highest. Fig. 3 shows a comparison of the four sets of NuH results vs. ReH for the 40 PPI sample. The differences among the four sets are approximately within the experimental

uncertainty, indicating that the results are in-dependent of the electrical power input. The Nusselt number variation for an experiment with an empty channel as baseline, and for two metal foam samples of 20, 30 and 40 PPI. The dashed lines are curve fits to the form $NuH \propto Re^\alpha$, where $\alpha \approx 0.5$ for all three curves. The improvement in heat transfer compared to the empty channel case is about 25% with the 20 PPI foam, and 40–50% with the 30 PPI and 40 PPI foams. This is a smaller improvement than some published values. For example, Kim et al. (2001) report an order of magnitude increase compared to an empty channel, but in their experimental setup the baseline case is a developed laminar flow. In our current setup, the heat exchanger has inlet and outlet ports with sharp bends, similar to a realistic heat exchanger in a CPV receiver. This creates considerable mixing rather than smooth developed flow, which enhances the heat transfer even in the absence of the foam insert. The current baseline case has then already quite high heat transfer rate as seen in Fig. 4.

Fig. 4 shows a comparison of the heat transfer results for the 20 PPI and 40 PPI foams to the correlation proposed by Kim et al. (2001). Note that the correlation prediction is different for the two cases due to different Darcy number values, which depend on the permeability of the metal foam. The correlation was based on similar experiments but with a channel height of 9mm vs. 5mm in the present setup, providing higher extended surface area for heat transfer. Therefore, somewhat lower heat transfer rates are reasonable in the current experiment. Another difference is the use of air in Kim et al. (2001) vs. water here as the coolant fluid. While the values of the Nusselt number are of the same order of magnitude in the comparison shown in Fig. 4, the values of the heat transfer coefficient are much higher in the case of water as the heat transfer fluid, due to the much higher thermal conductivity of water. Therefore, as expected, cooling with water is much more effective comparing to cooling with air.

1.4. Comparison to a commercial cooling plate

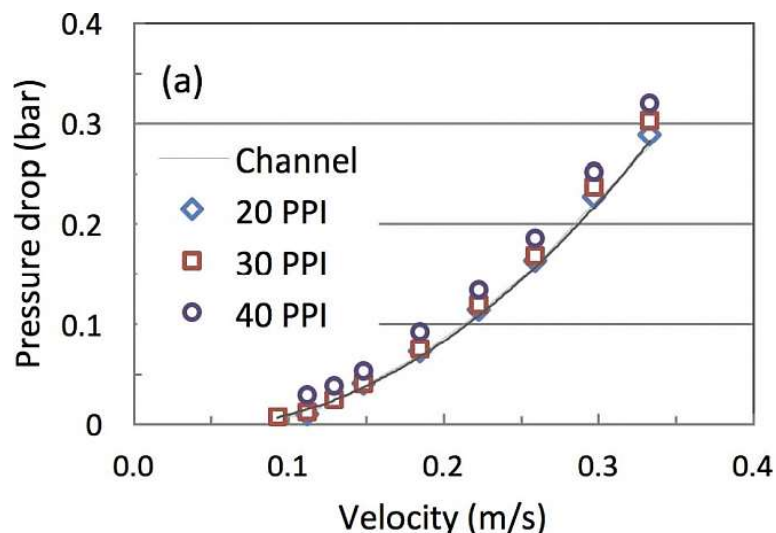


Figure 2. Total pressure drop vs. superficial velocity for the empty channel, and the channel with the three metal foam inserts of 20, 30 and 40 PPI

Fig. 5 shows that the thermal resistance of the 40 PPI aluminum foam based cooling plate is approximately 30% lower compared to the Curamik case having the same pressure drop value. When applied with CPV cells, the lower thermal resistance means that cell temperature

can be lower with the metal foam cooler, leading to an increase in cell efficiency. Note that the same pressure drop does not necessarily imply the same water flow rate.

A similar cooling plate from Curamik was used with an array of GaAs cells under concentrated radiation (Loeckenhoff et al., 2008). Adjusting the reported thermal resistance to the area used here, the result is 0.022 K/W, consistent with the range shown in Fig. 6. However, the pressure drop was not reported so it is not possible to add this result in the figure. Fig. 5 also shows thermal resistance and pressure drop results from two other studies of water cooled metal foam heat exchangers. Metal foams made of copper with smaller pores of 60 PPI and 100 PPI, porosity of 0.7–0.9, and smaller channel height of 2mm, were taken from Zhang et al. (2005). The heat exchanger size in this experiment was 12 mm × 13 mm and the results were scaled to match the heat transfer area of Exel and Schulz-Harder (1998). Interestingly, the performance of the 60 PPI copper foam with smaller pores and thinner channel is very close to the performance of the 40 PPI aluminum foam with larger pores and thicker channel. The smaller surface area and lower thermal conductivity of the aluminum foam were compensated by the larger flow channel cross section, to reach the same performance values. The second set of results from Exel and Schulz-Harder (1998) with 100 PPI copper foam of lower porosity shows much higher pressure drop for the same thermal resistance, indicating that it is not a good solution for the heat exchanger.

Results for aluminum foam with compression and brazing of the foam to the base plate are also shown in Fig. 5, featuring the best sample (92–06) from the set reported in Boomsma et al. (2003). The sample size was 40 mm × 40 mm and the results were adjusted to match the heat transfer area of Exel and Schulz-Harder (1998). The thermal resistance is significantly lower, showing a performance advantage of the compressed version relative to the plain foam case. However, the advantage is significant in the high flow rate, high pressure drop region. For a cooling solution with low flow and low pressure drop, the plain foam option provides similar or possibly even better heat transfer performance compared to the compressed foam option.

1.5. CPV receiver performance comparison

To demonstrate the impact of the differences between the cooling plate solutions, consider the following example of performance of a CPV receiver. The receiver contains Spectrolab C1MJ triple junction cells with efficiency temperature coefficient of $-0.05\%/C$ (Segev et al., 2012) (absolute change in efficiency), and is subject to incident flux of 1000 kW/m². The heat flux to be removed by the cooling plate is $q_h = 500$ kW/m², following the assumption stated above that about 50% of the incident flux is converted to heat, and the temperature difference between the cells and the cooling water is then

$$\Delta T = q_{th} AR_{th} \quad (1)$$

The reduction in cell efficiency relative to the ideal case of zero temperature difference can then be calculated using the temperature coefficient. In addition, the parasitic electrical power needed to pump water through the heat exchanger is

$$Q = \frac{\Delta PV}{\eta_{pump}} \quad (2)$$

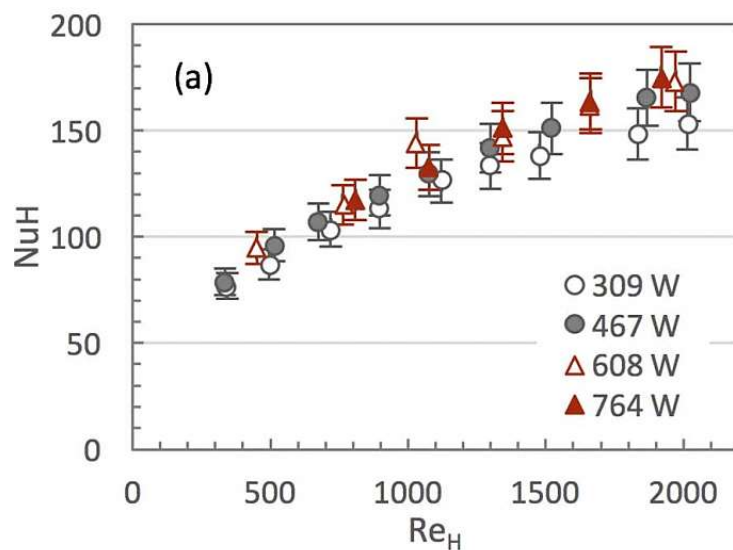


Figure 3. Comparison of NuH in four experiments at different heating power with the 40 PPI sample. Scatter of the results is approximately within the measurement uncertainty range

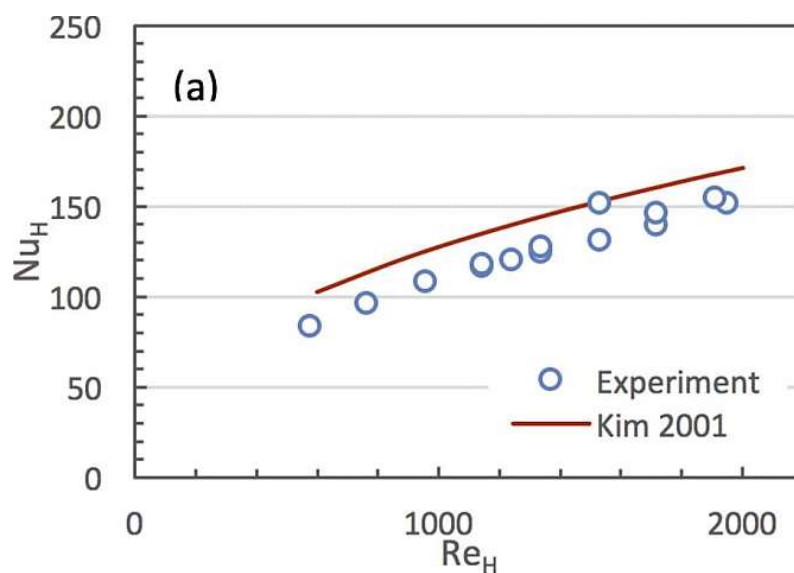


Figure 4. Comparison of Nusselt number vs. the correlation of Kim et al. Kim et al. (2001) for 20 PPI foam

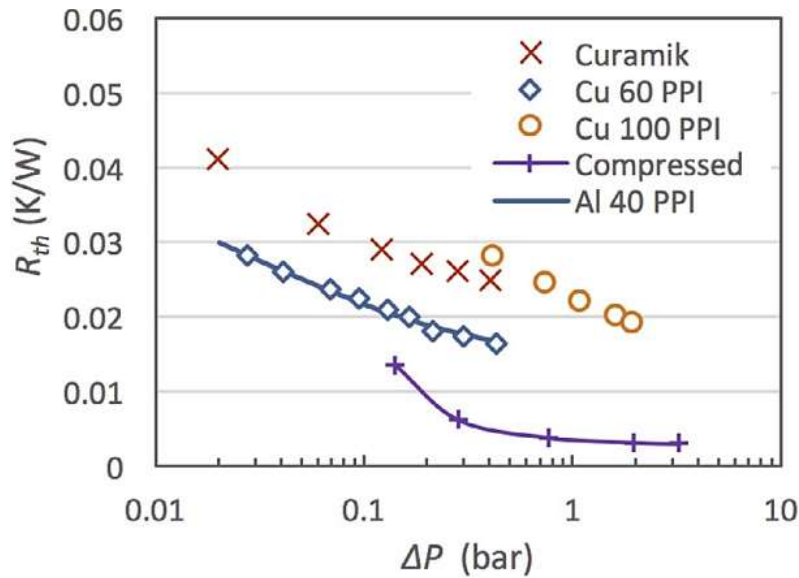


Figure 5. Thermal resistance vs. pressure drop for three cooling plates: Curamik (version QUA 11 layers, AlN 0.63 mm, from Exel and Schulz-Harder (1998)), copper foam (60 PPI with porosity 0.8–0.9, and 100 PPI with porosity 0.7–0.8, from Zhang et al. (2005)), compressed aluminum foam (sample 92–06 from Boomsma et al. (2003)), and plain aluminum foam (40 PPI)

V is the volume flow rate of water through the heat exchanger, and η pump is the efficiency of the water pump. Fig. 6 presents the loss due to cell temperature decreases with higher flow rate, but the pump electricity consumption increases, leading to an optimal flow rate in both cases that minimizes the overall loss. The minimal values are 2.2% for the Curamik option (water flow rate 2.5 L/min, temperature difference 41°C), and 1.7% for the metal foam option (water flow rate 4.1 L/min, temperature difference 30°C). The lower flow resistance of the metal foam allows higher water flow rate and significantly better heat transfer. This leads to lower cell temperature and an advantage of 0.5% in CPV receiver efficiency for the foam heat exchanger. Considering that the cell efficiency is around 35% at its operating temperature (Segev et al., 2012), this advantage corresponds to an increase of about 1.5% in the amount of electricity produced by the cell. The significantly lower cell temperature may also be beneficial in reduction of long term thermally induced degradation of the cell performance.

2. Discussion of the results

The use of metal foam as extended surface in a heat exchanger suitable for dense array CPV receiver water cooling, as well as for other high-power electronic components, was investigated experimentally. The metal foam was applied as a simple insert in the heat exchanger channel, without additional means such as compression and brazing that can improve heat transfer but also increase complexity and cost. The performance of the foam based heat exchanger, considering the combination of heat transfer rate and pressure loss, was found to be competitive when compared vs. commercial cooling plate solutions. The advantage in heat transfer performance is translated to an advantage in cell and receiver efficiency. In the example shown, the advantage vs. the commercial cooler option is 0.5% increase in cell efficiency, or about 1.5% increase in the amount of electricity produced.

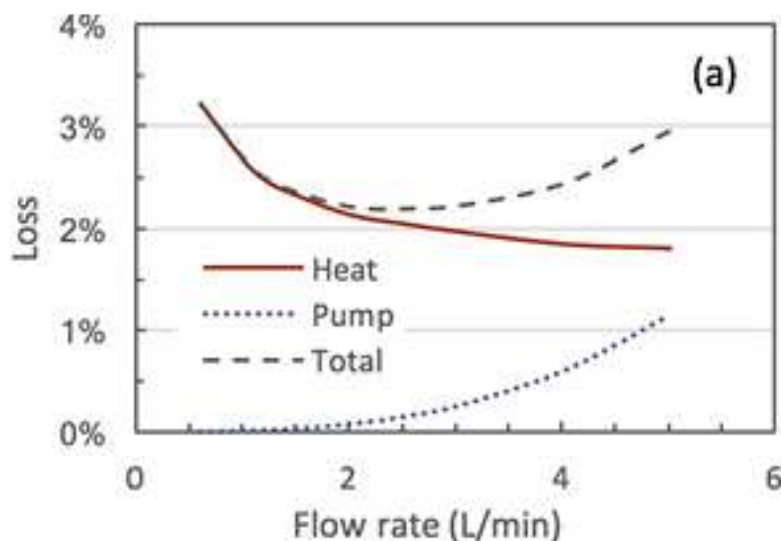


Figure 6. Relative losses vs. water flow rate due to elevated cell temperature and to pump electricity consumption in CPV receivers based

Further performance improvement can be achieved with foam compression, as shown by comparison to other published results. The compression option should be considered carefully to verify that the compression process is repeatable, and that the resulting pressure drop is not excessive. The option of plain foam without compression and without brazing to the base plate offers a simpler construction of the heat exchanger and already provides improved performance compared to the considered commercial cold plate solution. Therefore, this may lead to a lower cost solution, another important consideration in selecting the best approach for CPV receivers.

The heat exchanger performance shown here for a 40 PPI aluminum foam of 5 mm thickness match very closely the corresponding results based on another experiment with 60 PPI copper foam of 2 mm thick-ness. This demonstrates that the design of a metal foam heat exchanger has high flexibility, and desired performance goals may be accomplished with different combinations of materials, dimensions and coolant flow rates.

The pressure loss across the heat exchanger can be traced mainly to the inlet and outlet ports, which contain sharp bends in the water flow path. The metal foam porous medium contributed only a small fraction, about 15% of the overall pressure drop. It is likely that the flow connections can be designed to have a smoother flow path with lower resistance to flow, leading to smaller loss and higher performance ad-vantage than shown here.

The heat exchanger investigated here was quite small (3 cm) compared to CPV receiver sizes needed for industrial scale concentrators (e.g., 10 cm for a dish in Loeckenhoff et al. (2008), and much larger for tower systems). The results cannot be immediately applied to larger systems without a thorough investigation of size related effects. These may include for example the impact of losses through the external boundaries, which are usually more significant in smaller systems; and possible designs of larger receivers, which may require modular tiling of heat exchangers, and arrangement of the inlet and outlet ports and piping interconnections. Performance should be investigated under real-world conditions, including for example solar flux variations, and the behavior of real CPV cells. It is also important to note that commercial cooling plates and substrates have already been developed to contain many convenient features for installation of electronic components, and such features should be included in any future development of metal foam based cooler. The main conclusions of this work are:

- A metal foam based cooler is a promising solution for dense array CPV receiver, with competitive performance and potential for low cost fabrication.
- Additional investigation is needed to develop more detailed engineering solutions, and characterization under realistic conditions of a CPV receiver.

References

- [1] Akbarzadeh A., Wadowski T. Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. *Appl. Therm. Eng.*, 1996, no. 16 (1), pp. 81-87.
- [2] Barrau J., Perona A., Dollet A., Rosell J. Outdoor test of a hybrid jet impingement/microchannel cooling device for densely packed concentrated photovoltaic cells. *Sol. Energy*, 2014, no. 107, pp. 113-121.
- [3] Boomsma K., Poulikakos D. The effects of compression and pore size variations on the liquid flow characteristics in metal foams. *J. Fluids Eng.*, 2002, no. 124 (1), pp. 263-272.
- [4] Boomsma K., Poulikakos D., Zwick F. Metal foams as compact high performance heat exchangers. *Mech. Mater.*, 2003, no. 35 (12), pp. 1161-1176.
- [5] Calmidi V., Mahajan R. Forced convection in high porosity metal foams. *J. Heat Transfer*, 2000, no. 122, pp. 557-565.
- [6] Exel K., Schulz-Harder J. Water cooled DBC direct bonded copper substrates. In: 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 98). IEEE, Aachen, 1998, pp. 2350-2354.
- [7] Fourie J., Du Plessis, J. Pressure drop modelling in cellular metallic foams. *Chem. Eng. Sci.*, 2002, no. 57 (14), pp 2781-2789.
- [8] García-Moreno F. Commercial applications of metal foams: their properties and production. *Materials (Basel)*, 2016, no. 9(2), pp. 20-24.
- [9] Hun M., Tien C. Effects of thermal dispersion on forced convection in fibrous media. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1988, no. 31(2), pp. 301-309.
- [10] Kamath P., Balaji C., Venkateshan S. Experimental investigation of flow assisted mixed convection in high porosity foams in vertical channels. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2011, no. 54(25-26), pp. 5231-5241.
- [11] Kandlikar S., Hayner C. Liquid cooled cold plates for industrial high-power electronic devices — thermal design and manufacturing considerations. *Heat Transf. Eng.*, 2009, no. 30(12), pp. 918-930.
- [12] Kim S., Kang B., Kim J. Forced convection from aluminum foam materials in an asymmetrically heated channel. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2001, no. 44(7), pp. 1451-1454.
- [13] Loeckenhoff R., Dimroth F., Oliva E., Ohm A., Wilde J., Faiman D., Biryukov S., Melnichak V., Kabalo S., Bokobza D., Bett A.W. Development, Characterisation and 1000 Suns Outdoor Tests of GaAs Monolithic Interconnected Module (MIM) Receivers. *Prog. Photovolt Res. Appl.*, 2008, no. 16, pp. 101-112.
- [14] Ozmat B., Leyda B., Benson B. Thermal applications of open-cell metal foams. *Mater. Manuf. Process.*, 2004, no. 19(5), pp. 839-862.
- [15] Segev G., Mittelman G., Kribus A. Equivalent circuit models for triple-junction concentrator solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2012, no. 98, pp. 57-65.

**ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С
СОПРЕДЕЛЬНЫМИ ПОДСИСТЕМАМИ**

УДК 656.2:629.4

ВЛИЯНИЕ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ТРЕТЬИХ ЛИЦ ПО ДОГОВОРУ ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

THE INFLUENCE OF ATTRACTING SUPPORTERS UNDER THE CONTRACT OF TRANSPORT EXPEDITION TO THE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM

Богачев Аркадий Евгеньевич, Малахов Алексей Иванович
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Arkady Bogachev, Alexey Malakhov
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблематика привлечения третьих лиц в транспортно-экспедиционную деятельности и при этом производится анализ влияния данного явления на логистику перевозок грузов и транспортную систему в целом.

Ключевые слова: транспортная экспедиция, перевозка, логистика.

Abstract

The article deals with the problems of attracting third parties to the transport-forwarding activity and at the same time analyzes the impact of this phenomenon on the logistics of cargo transportation and the transport system as a whole.

Key words: transport expedition, transportation, logistics.

Введение

Стратегия развития экономики России, а также сопутствующее динамическое развитие транспортных услуг неуклонно влекут за собой необходимость модернизации существующих транспортных и логистических коридоров в стране, да и перевозочного процесса в целом. Следует отметить, что транспортные перевозки являются важной составляющей валового национального продукта нашей страны. Но, доля существующих транспортных компаний, которые способны в полной мере держать на высоком уровне транспортный комплекс, и соответственно развивать рынок по оказанию транспортных услуг представлена в Российской Федерации в незначительной степени. Таким образом, транспортная экспедиция, к сожалению, в сложившейся ситуации, занимает лишь нишу посреднической деятельности между грузоотправителями (грузополучателями) и перевозчиком.

Активное движение вперед научно-технического прогресса двигает за собой и совершенствование технологий различных сфер деятельности человечества. Для прогрессивности 21 века характерно интенсивное развитие производственных комплексов и, соответственно, перевозок грузов различными видами транспорта, обеспечивающих их функционирование. Таким образом подвержен развитию не только сам перевозочный процесс, но также сопутствующие транспортные услуги [1].

К сожалению, транспортная экспедиция в сложившемся законодательстве РФ в полной мере не отражает существующую действительность транспортно-экспедиционных услуг [2]. Что, в свою очередь, и представляет научный интерес исследования влияния

транспортно-экспедиционной деятельности на транспортно-логистическую систему.

1. Транспортная экспедиция в транспортно-логистической системе

Многообразие транспортно-экспедиционных услуг неизбежно приводит к возникновению спорных моментов и сложностей в осуществлении регламентирования взаимоотношений между участниками транспортной экспедиции, которые возникают из-за особенностей регулирования динамически изменяющейся транспортно-логистической системы. В настоящее время все чаще встречаются подходы к рассмотрению транспортно-экспедиционной деятельности как неотъемлемой части перевозочного процесса. Но, все так же, остается открытым вопрос - действительно ли транспортная экспедиция является неразрывной составляющей процесса перевозки грузов.

В данном случае, следует задуматься будет ли договор перевозки превалировать над договором транспортной экспедиции, в соответствии с которым будет осуществляться организация перевозки груза. Таким образом, возможно правильнее рассматривать перевозочную и транспортно-экспедиционную деятельности как параллельные или последовательные независимые процессы транспортной системы.

При этом следует учитывать возможность внедрения процедуры перезаключения данных договоров при условии взаимного согласия сторон. Что, в свою очередь, позволит минимизировать временные издержки на оформление договорной документации и тем самым сводя на нет бюрократическую волокиту по вопросу их заключения [3].

Проводя анализ особенностей транспортной экспедиции, можно заметить аспект наличия вариативности позиционирования экспедитора как непосредственно грузоотправителя или же в качестве посредника в случае осуществления заключения с перевозчиком договора перевозки грузов от имени клиента. Данное обстоятельство нашло свое отражение в п.1 ст. 801 Гражданского кодекса Российской Федерации [4].

При этом велика вероятность возникновения спорных моментов при осуществлении вариативного моделирования ситуаций, которые связаны с взаимоотношениями между участниками перевозочного процесса, и определения их ответственности в различных случаях. К примеру, если договор перевозки груза заключается от имени клиента, то обязанность передачи груза перевозчику в надлежащем качестве с учетом упаковки возлагается на клиента, как грузоотправителя. При этом все претензии перевозчика, связанные с неприятием груза к перевозке, будут адресованы также клиенту, а не экспедитору. Следует учитывать, что клиент не вправе предъявлять претензии к экспедитору по данному вопросу, кроме случаев, если в договоре транспортной экспедиции указано возложение обязанности за доставку груза в надлежащем качестве до перевозчика непосредственно на экспедитора.

Сложнее выглядит ситуация, когда клиентом были переданы экспедитору права на груз в соответствии с договором транспортной экспедиции. При этом, все претензии перевозчика, связанные с неприятием груза к перевозке должны адресоваться экспедитору, который выступает в качестве грузоотправителя. Но, в случае, когда присутствует документальное подтверждение факта передачи груза надлежащего качества от клиента экспедитору, возможно возникновение такой ситуации как отсутствие непосредственной отправки груза и соответственно доставки его грузополучателю. Стоит отметить, что в законодательстве Российской Федерации статьей 803 ГК РФ предусмотрена ответственность экспедитора за невыполнение или ненадлежащее выполнение своих обязанностей по заключенному договору [4]. Соответственно, на экспедитора возлагается обязанность возмещения ущерба клиенту, связанного с ненадлежащим исполнением услуг в силу Федерального Закона «О транспортно-экспедиционной деятельности» и по условиям дого-

вора транспортной экспедиции [5]. При этом, отсутствует возможность просчитать величину риска, связанную с потерями клиента при невыполнении своих обязательств перед грузополучателем в рамках договора купли-продажи, поставки или иного вида договора. Возможно возникновение такой ситуации, которая повлечет за собой разрыв контрактных взаимоотношений между клиентом и получателем груза, при наличии вины за неисполнение данных обязательств у третьего лица - экспедитора.

2. Проблематика наличия третьих лиц в транспортной экспедиции

Наличие третьих лиц в перевозочном процессе несомненно увеличивает возможные риски срыва договорных поставок. Острая конкуренция, при этом, актуализирует проблему возникновения потери доверия и, возможно даже, разрыва контрактных отношений между партнерами, вызванного по причине задержки и недопоставки грузов, и, соответственно, влекущей за собой потери клиентом весомой доли прибыли с невозможностью определения размера упущенной выгоды.

В отличие от договора перевозки, договор транспортной экспедиции обладает одной особенностью, заключающейся в том, что в соответствии со ст. 805 ГК РФ экспедитор вправе привлекать третьих лиц для выполнения транспортно-экспедиционных услуг, в случае, если в договоре прямо не указано о необходимости выполнения обязательств лично экспедитором [4]. Однако, законом не предусмотрена необходимость обязательного извещения экспедитором клиента об привлечении других лиц в процесс обеспечения транспортно-экспедиционной деятельности. Необходимо учитывать тот факт, что привлечение третьих лиц экспедитором, не освобождает его от ответственности за исполнение условий договора. В качестве примера можно привести дело № 2-530/2016, рассмотренное Островским районным судом Костромской области, по которому компания-экспедитор обратилась с иском о взыскании убытков в порядке регресса к водителю, который был привлечен как третье лицо для осуществления доставки товара [6]. По материалам дела ответчик был привлечен в качестве третьего лица обществом, имевшим договор с грузоотправителем. В процессе выполнения обязанностей по перевозке, груз был доставлен в место назначения, но был выявлен факт его несоответствия требуемому количеству и качеству. Однако, за экспедитором, по решению другого суда была признана вина за ненадлежащее исполнение своих обязательств по договору и с него был взыскан ущерб. Следует отметить, что, на основании ст. 805 ГК РФ водителя привлекли в качестве третьего лица, а возложение на него обязательств по доставке груза не в коей мере не освобождает экспедитора от ответственности по выполнению условий договора транспортной экспедиции. При этом, водитель доставил груз как есть, по полученной заявке, а также его не ознакомляли с содержанием условий договора транспортной экспедиции в части его обязательств. Суд, в свою очередь, установил, что водителем были выполнены его обязательства и отсутствовали договорные взаимоотношения с истцом. Таким образом, являются необоснованными доводы истца о наличии ответственности у водителя за убытки в соответствии с решением дела по иску клиента к экспедитору, где были установлены судом сумма ущерба и обстоятельства перевозки груза. Соответственно, судом было принято решение отказать экспедитору в исковых требованиях к водителю.

Анализ судебной практики по аналогичным делам показывает факт наличия неурегулирования на законодательном уровне вопросов, которые прямо связаны с привлечением третьих лиц в транспортно-экспедиционную деятельность, а также порядка их взаимоотношений и ответственности в соответствии с условиями заключенного договора транспортной экспедиции. Следует учитывать то, что существует возможность возникновения таких ситуаций, когда подобные споры будут несомненно оказывать негативный эффект

на установление крепких и доверительных связей между грузоотправителем и грузополучателем как бизнес-партнеров по заключенным между ними договорам [7]. Данный фактор также может оказать влияние на доходную составляющую коммерческих организаций, и, в свою очередь, также на формирование имиджа компаний как на внутрисекторском, так и на международном рынке.

3. Правовые особенности транспортной экспедиции и необходимость регулирования привлечения третьих лиц

Данная проблематика указывает на наличие острой необходимости законодательного регулирования порядка привлечения третьих лиц для исполнения договорных обязательств в транспортной экспедиции. Возможно стоит задуматься об ограничении использования других лиц путем введения законодательного положения, указывающего на обязательное разрешение данного действия, которое можно представить в следующей трактовке: «Экспедитор вправе привлечь к исполнению своих обязанностей других лиц, если это оговорено договором транспортной экспедиции». Более кардинальной мерой может выступить полный запрет экспедитору на привлечение третьих лиц для осуществления им транспортно-экспедиционной деятельности по исполнению услуг в соответствии с договором.

В условиях транспортной экспедиции существует возможность одностороннего выхода из обязательств по договору транспортной экспедиции. На основании ст. 806 ГК РФ, стороны имеют право в одностороннем порядке отказаться от исполнения договора транспортной экспедиции, но при этом они обязаны уведомить о данном обстоятельстве другую сторону в разумный срок [4]. Однако, законодательно не оговорен тот промежуток времени, за который необходимо провести процедуру предупреждения о расторжении договорных обязательств. Таким образом, придется полагаться на восприятие разумности сторонами при возникновении необходимости одностороннего прекращения договора.

В случае наличия третьих лиц при одностороннем расторжении договора транспортной экспедиции сложно оценить последствия проведения данной процедуры вследствие возможной вариативности вовлеченности данных участников в организацию перевозки грузов. В свою очередь, при выходе третьих лиц из транспортной экспедиции, с экспедитора не снимается ответственность за исполнение условий договора, но при этом данное обстоятельство окажет большое влияние как на саму организацию перевозочного процесса, так и на экономическую составляющую.

Необходимо отметить, что ст. 806 ГК РФ предусмотрена обязанность стороны, заявившей об отказе, при одностороннем расторжении договора транспортной экспедиции, возмещения другой стороне договора всех убытков, вызванных прекращением этих обязательств [4].

Данная норма дополняется в пункте 5 статьи 6 Закона «О транспортно-экспедиционной деятельности», в которой говорится, что экспедитор либо клиент в случае отказа от исполнения договора транспортной экспедиции в одностороннем порядке возмещает все убытки другой стороне, которые были вызваны расторжением данного договора, и выплачивает штраф в размере десяти процентов от суммы затрат, которые были понесены при этом экспедитором или клиентом [5].

Также необходимо учитывать тот факт, что законодательно не предусмотрено введение других договорных неустоек за отказ от исполнения заключенного договора в одностороннем порядке, в связи с правомерностью данного действия.

Следовательно, необходимо обращать внимание на тот факт, что в случае расторже-

ния договора транспортной экспедиции в одностороннем порядке в связи с неправомерными действиями второй стороны, нельзя применять нормы ст. 806 ГК РФ. При данных обстоятельствах правомерно использовать нормы главы 25 данного Кодекса, которые, в свою очередь, определяют ответственность за неисполнение обязательств [4].

Стоит обратить внимание на возможность возникновения ситуации обременения наличием обязательного договора перевозки, либо его разновидностей с односторонним выходом одной из сторон из договора транспортной экспедиции по организации данной перевозки груза. Наличие вариативности последствий данного обстоятельства диктует необходимость поиска путей законодательного регулирования оговоренной проблемы.

Всё вышесказанное, указывает на тот факт, что при одностороннем расторжении договора транспортной экспедиции с привлечением третьих лиц, на последних не распространяются нормы процедуры выхода из обязательств, предусмотренные законодательством для транспортно-экспедиционной деятельности. В свою очередь выход из процесса транспортной экспедиции третьих лиц, задействованных в процессе организации перевозки не предполагает обязательность процедуры расторжения договора транспортной экспедиции. Для транспортно-логистической системы данные обстоятельства не благотворно окажут влияние как на сам процесс перевозки, так и на процесс его оптимальной организации. А выход одной из трех сторон процесса транспортной экспедиции окажет материальные последствия для двух других сторон, связанных другими договорными обязательствами.

Данные обстоятельства и выявленные особенности свидетельствуют о необходимости более детального законодательного регулирования присутствия третьих лиц при выполнении обязательств, оговоренных договором транспортной экспедиции при организации процесса перевозки грузов различными видами транспорта.

4. Влияние участия третьих лиц и транспортной экспедиции на транспортно-логистическую систему

Волатильность и конкурентность рынка влекут за собой и метаморфозы перевозочного процесса, как непосредственно процесса по транспортировке груза из точки отправления в точку назначения. Таким образом, перевозчик, преследуя тенденции конъюнктуры рынка транспортных услуг, а также стремясь обеспечивать возрастающую потребность в комплексности услуги по доставке груза “точно в срок” и “от двери до двери”, старается расширять свою деятельность для удовлетворения потребностей клиента. С другой стороны, клиент старается не привлекать перевозчика, который осуществляет только лишь доставку груза различным видом транспорта, без сопутствующей организации перевозочного процесса.

Исследуя как транспортно-экспедиционную, так и перевозочную деятельности, которые осуществляются реальными компаниями, можно сделать вывод о смешении понятий транспортной экспедиции и перевозки, а также обозначить отсутствие подхода по их разграничению всеми участниками транспортно-технологического процесса. Так, транспортная экспедиция, в настоящее время представляется в виде организации процесса перевозки в призме логистического его обеспечения с осуществлением непосредственно самой перевозки груза. С другой стороны, перевозка грузов отражается как неотъемлемая часть транспортно-экспедиционной деятельности, которая непосредственно составляет ее предмет.

Стоит обратить внимание на факт того, что договор перевозки законодательно не предусматривает возможность выполнения обязательств по перевозке груза различным видом транспорта кроме перевозчика третьими лицами. Однако, при этом для обеспечения выполнения услуг, связанных с организацией перевозки по договору транспортной

экспедиции, экспедитор вправе привлечь иных лиц, если клиентом в договоре четко не было обозначена невозможность их участия при осуществлении транспортно-экспедиционной деятельности.

Всё вышеизложенное позволяет сделать вывод о многогранности и комплексности актуальных проблем транспортной экспедиции, которые вызваны наличием противоречий между существующей законодательной базой и реальными практическими результатами исполнения услуг, осуществляемых в рамках транспортно-экспедиционной деятельности, которые требуют выработку подхода по их совершенствованию как при участии в процессе организации перевозки грузов третьих лиц, так и без них.

В свою очередь, комплексный анализ судебной практики по делам, вытекающим из отношений по договорам транспортной экспедиции, указал на наличие законодательного неурегулирования процесса привлечения третьих лиц для выполнения транспортно-экспедиционных услуг, порядка их взаимоотношений с другими участниками транспортной экспедиции и ответственности в соответствии с заключенным договором об организации перевозочного процесса.

Список литературы

- [1] *Вороткова А.С., Богачев А.Е.* Проблематика восприятия договора транспортной экспедиции как договора перевозки // Транспорт. Тенденции развития современной науки материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 65-66.
- [2] *Вороткова А.С., Богачев А.Е.* Исследование возможности развития транспортной экспедиции // Тенденции развития современной науки Сборник тезисов докладов научн. конф. студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. Липецк, 2017. С. 507-509.
- [3] *Шапранова А.С., Богачев А.Е., Сулова О.А.* Исследование возможности пролонгирования договоров на эксплуатацию путей необщего пользования и договоров на подачу и уборку вагонов // Тенденции развития современной науки Сборник тезисов докладов научн. конф. студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. Липецк, 2017. С. 686-687.
- [4] Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) [Текст]: Федеральный закон от 26.01.1996 № 14-ФЗ // Собрание законодательства. -1996. - № 5. - Ст. 410.
- [5] О транспортно-экспедиционной деятельности [Текст]: Федеральный закон от 30.06.2003 № 87-ФЗ // Собрание законодательства. - 2003. - № 27, (ч. 1). - Ст. 2701.
- [6] Решение по делу 2-530/2016 от 23.06.2016 [Электронный ресурс] - Электрон. текстовые дан, РосПравосудие, 2017. - Режим доступа: <https://rospravosudie.com/>
- [7] *Коваленко М.О., Либерман Б.А.* Изменения в правилах перевозки грузов и пассажиров транспортными компаниями в РФ // В книге: Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Часть 1. Липецк, 2018. С. 129-130.

УДК 656

МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ПОДАЧИ (УБОРКИ) ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

THE METHOD OF CALCULATING WAITING TIME AT THE FEEDER (CLEANING) OF CARS ON THE RAILWAY TRACK UNCOMMON USE

Ворошнин Никита Валерьевич, Сулова Ольга Анатольевна
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Nikita Voroshnin, Olga Suslova
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

Актуальность темы обусловлена важностью взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования. Несогласованность действий перевозчика, ветвевладельцев, грузовладельцев, экспедиторов, операторов железнодорожного подвижного состава приводит к проблемам в организации обслуживания путей необщего пользования. Предлагаемый аналитический метод позволит определить максимально оправданное время подачи и уборки вагонов с грузовых фронтов.

Ключевые слова: *путь необщего пользования, грузовой фронт, интеллектуальные транспортные системы.*

Abstract

The relevance of the topic is due to the importance of interaction between public and non-public railway transport. Inconsistency of actions of the carrier, branch owners, cargo owners, freight forwarders, operators of railway rolling stock leads to problems in the organization of maintenance of non-public ways. The proposed analytical method will allow to determine the most reasonable time of delivery and cleaning of wagons from freight fronts.

Key words: *non-public way, cargo front, intelligent transport systems.*

Введение

На путях необщего пользования происходит погрузка более 90 % и выгружается около 80 % всех грузов, которые перевозит магистральный транспорт страны. Совокупность затрат на перевозки транспортом необщего пользования составляет в среднем 15 – 20 % себестоимости продукции. Одной из главных задач Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года является снижение транспортных издержек, в том числе с помощью более эффективного функционирования железнодорожного транспорта необщего пользования.

Железнодорожные пути необщего пользования выполняют целый ряд функций:

- межцеховые и внутрицеховые перевозки сырья и топлива как внутри одного предприятия, так и между разными предприятиями, расположенными на одном пути.

- погрузка и выгрузка грузов.

В результате выполнения этих функций создаются особенности эксплуатации путей необщего пользования, которые заключаются в том, что технологический процесс их работы связан как с технологическим процессом работы обслуживаемого ими предприятия, так и технологическим процессом работы станции и железной дороги примыкания.

Одной из задач инновационного развития ОАО «РЖД» является эффективное функционирование магистрального железнодорожного транспорта. Развитие интеллектуальных систем (ИТС) управления перевозочным процессом является приоритетом инновационного развития холдинга ОАО «РЖД» и позволит достичь высокой эффективности деятельности за счет инновационного развития и технологической модернизации [1].

1. Система «пути необщего пользования - станция примыкания»

Система «пути необщего пользования - станция примыкания» - наиболее сложная в транспортном процессе. На её функционирование оказывает влияние большое количество факторов, таких как особенности технологии работы, технические характеристики ее элементов, характер производства, род груза и другие. Внедрение интеллектуальной системы взаимодействия путей необщего пользования и станции примыкания позволит решить целый ряд задач:

- тактическое, текущее и стратегическое планирование каждого участника производственного процесса в реальном времени на основе прогноза развития ситуации при расхождении плана с фактом;

- внедрение оценки информационного и технологического взаимодействия всех участников единого технологического процесса в рамках сменно-суточного и текущего планирования, а также исполнения и контроля исполнения утвержденных оперативных планов;

- внедрение пооперационной и экономической оценки выполняемых технологических процессов;

- разработка новых средств контроля технологической дисциплины за счет средств предупреждения нарушений [2].

При определении договорных сроков, в течение которых станция должна подать или убрать вагоны с грузовых фронтов, следует учитывать множество условий работы станций примыкания, работы маневровых локомотивов, порядка поступления вагонов. Расчет сроков должен производиться на основе следующих условий:

1. методика расчета максимально допустимого, оправданного техническим оснащением и технологией работы станции примыкания времени ожидания обслуживания $T_{обсл}^{дог}$ должна быть простой в использовании и понятной сторонам договора;
2. расчет параметра $T_{обсл}^{дог}$ должен учитывать особенности работы станции, которая обслуживает пути необщего пользования;
3. расчет параметра $T_{обсл}^{дог}$ основан на определении очереди на обслуживание маневровым локомотивом станции примыкания путей необщего пользования;
4. расчет ведется аналитическим методом. Результат расчета - величина максимально оправданного времени ожидания обслуживания.

Могут быть следующие варианты обслуживания грузовых фронтов:

- один локомотив обслуживает грузовые фронты всей станции или отдельные маневровые районы;
- два и более локомотива обслуживают грузовые фронты без специализации их на обслуживании разных маневровых районов. Если специализация локомотивов жесткая, то определяется для каждого района отдельно;
- локомотив, обслуживающий все пути необщего пользования или какой-то маневровый район, выполняет кроме подачи и уборки вагонов и другие маневровые операции (формирование, расформирование, обслуживание станций участка, и др.).

2. Расчет времени ожидания обслуживания подачи (уборки)

Среднее время ожидания уборки или подачи зависит от среднесуточного числа групп вагонов N_{n-y} , которые подаются или убираются с грузовых фронтов, а так же времени на подачу или уборку вагонов, числа групп вагонов в подаче, подаваемых или убираемых с последовательно расположенных грузовых фронтов, продолжительности работы локомотивов Θ (час).

Для одного локомотива, который работает круглосуточно, время будет определяться как:

$$\Theta = 24 - t_{\text{техн}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{техн}}$ – технологическое время на смену локомотивных бригад, а так же техническое обслуживание локомотива.

Для двух и более неспециализированных локомотивов:

$$\Theta = (24 - t_{\text{техн}}) * N_{\text{лок}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{лок}}$ – число локомотивов.

При использовании локомотивов на дополнительных работах (k)

$$\Theta = (24 - t_{\text{техн}}) * N_{\text{лок}} - \sum_{i=1}^k t_i^{\text{доп}}, \quad (3)$$

где $t_i^{\text{доп}}$ – время выполнения локомотивом других операций.

В это время так же может быть включено время занятия горловин парков и путей, задействованных при подаче и уборке вагонов. Например, если обслуживание путей необщего пользования производится с пересечением главных путей, то занятость их операциями приема, отправления и пропуска поездов влияет на время ожидания подачи или уборки.

Формулу (3) расчета возможного времени использования локомотивов на подаче-уборке вагонов на пути необщего пользования можно считать универсальной для всех вариантов обслуживания.

Считая, что может быть совмещение в одной подаче нескольких групп вагонов для разных путей необщего пользования, расположенных в одном районе, а также совмещение подачи с уборкой вагонов на одном подъездном пути, необходимо ввести коэффициент совмещения подач, как среднее количество групп вагонов в одной подаче-уборке- (k_c). В случае неравномерного поступления вводится коэффициент неравномерности (k_n).

С учетом этого среднюю величину очереди на подачу можно записать:

$$\lambda = \frac{N_{n-y} * 24}{\theta * k_c} * k_n. \quad (4)$$

При выраженной сезонной неравномерности прибытия вагонов расчет может производиться отдельно для разных сезонов.

Для определения время ожидания подачи (уборки) вагонов необходимо знать среднее время цикла выполнения одной подачи или уборки ($T_{ц}$) для станции примыкания. Оно зависит от расстояния подач-уборок и набора выполняемых операций (подборка подачи, непосредственное следование локомотива, остановки для открывания и закрывания ворот, перевода стрелок, расстановка вагонов на фронте и др.) [3].

$$T_{обсл}^{дог} = \lambda * T_{ц}. \quad (5)$$

Если рассматриваемый путь необщего пользования находится на промежуточной или на грузовой станции, куда вагоны прибывают сборным или передаточным поездом, а маневровое обслуживание производится локомотивом станции или поездным локомотивом, то максимальное время на ожидание подачи определится также по формуле:

$$T_{обсл}^{дог} = N_{ср} * T_{ц}, \quad (6)$$

где $N_{ср}$ – среднее число подач, приходящихся на один передаточный или сборный поезд.

Если промежуточную станцию обслуживает локомотив соседней станции, то время ожидания подачи должно быть увеличено на время, в течение которого указанный локомотив может начать работы на рассматриваемой станции.

Время, в течение которого вагоны должны быть убраны с пути необщего пользования после обработки, теоретически определяется по формуле:

$$T_{обсл}^{дог} = \tau_{ср} * t_{груз}, \quad (7)$$

где $\tau_{ср}$ - интервал (из графика местной работы) между сборными поездами, с которыми приходят и уходят вагоны рассматриваемого пути необщего пользования, час; $t_{груз}$ - среднее время выполнения грузовых и дополнительных операций с вагонами на рассматриваемом пути необщего пользования, час.

Теоретически же срок грузовой обработки вагонов на пути необщего пользования далеко не всегда выполняется, и вагоны могут не успеть отправиться с ближайшим сборным поездом. В таком случае время, за которое перевозчик должен убрать вагоны с пути необщего пользования, должно быть не больше, чем интервал между сборными поездами того направления, куда отправляются обработанные вагоны. То есть:

$$T_{обсл}^{дог} = \tau_{ср}. \quad (8)$$

Заключение

Договорное время ожидания обслуживания пути необщего пользования должно находиться в интервале от двух часов, установленных Правилами перевозок грузов, до максимально оправданного времени, расчет которого можно выполнить по предложенному методу.

В том случае, если на станции примыкания установлена некая очередность обслуживания пути необщего пользования, то в формулы (5) и (6) должны быть внесены изменения, касающиеся размера очереди на маневровое обслуживание рассматриваемого

пути.

Международная научно- практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» проводится на базе ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» при поддержке Управления дорог и транспорта Липецкой области. Данная конференция преследует цели определения и систематизации актуальных проблем и тенденций в области инфокоммуникационных и интеллектуальных технологий на транспорте, обмен результатами деятельности научных школ, ведущих ученых и представителей бизнеса.

Конференция работает в рамках следующих основных направлений:

- 1) Интеллектуальные транспортные системы и безопасность дорожного движения;
- 2) Моделирование, автоматизация и управление транспортными процессами и компонентами;
- 3) Автомобиле- и тракторостроение, навесное и прицепное оборудование. Перспективные материалы, оборудование и технологии технического сервиса транспортных средств;
- 4) Транспортно-логистические закономерности взаимодействия железнодорожного транспорта с сопредельными подсистемами;

Данный файл содержит пример оформления тезисов, предоставляемых для включения в сборник материалов конференции.

Список литературы

- [1] *Попов А.Т., Воронина О.В.* Исследование влияния неритмичности производственных процессов на количество вагонов в обороте. - *Транспорт Урала*. 2016. №3 (50). С. 54-59.
- [2] *Сай В.М., Портнова О.Ю.* Исследование математической модели прогнозирования подачи-уборки вагонов на промышленные предприятия. - *Транспорт Урала*. 2015. №3 (46). С. 86-92.
- [3] *Хахишвили Ю.А., Ворошнин Н.В., Попов А.Т.* Проблема дефицита грузовых вагонов. — *Транспорт. Тенденции развития современной науки* Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2 частях. 2018. С. 133-135.

УДК 625.46

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДАХ

METHODOLOGY OF DESIGNING OF GROUND RAIL TRANSPORT SYSTEMS IN CITIES

Дудкин Евгений Павлович, Черняева Виктория Андреевна,
Доронищева Светлана Андреевна
*Петербургский Государственный университет путей сообщения Императора
Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

*Evgeni Dudkin, Viktoriya Cherniaeva, Svetlana Doronicheva
Emperor Alexander I State Transport University, St. Petersburg, Russia*

Аннотация

Опыт проектирования наземных рельсовых транспортных систем в городах направлен на разработку и внедрение комплексных стратегий с учётом экономических, социальных и экологических взаимосвязей, при этом должно быть обеспечено комплексное проектирование всех видов городского общественного транспорта и организация их совместной эксплуатации, а выбор транспорта должен осуществляться на основании технико-экономического обоснования с учетом экологических характеристик различных видов транспорта, уровня автомобилизации и плотности населения, планировочных особенностей города. Цель: определение последовательности, методов обоснования роли рельсовых транспортных систем в общей транспортной системе города. Методы: метод профессора Д. С. Самойлова, основу которой составляет распределение работы городского пассажирского общественного транспорта по группам вместимости подвижного состава, метод определения эффективности капитальных вложений при проектировании развития существующих и строительства новых линий городского рельсового транспорта

Abstract

Experience in designing urban rail transport systems in cities is aimed at developing and implementing integrated strategies taking into account economic, social and environmental interconnections, while the integrated design of all types of urban public transport and the organization of their joint operation should be ensured. The choice of transport should be based on the feasibility study taking into account the environmental characteristics of different various types of transport, the level of motorization and the density of population and the city's planning features. Purpose: determination of the sequence, methods of substantiating the role of rail transport systems in the overall transport system of the city. Methods: Professor D.S. Samoilov's method, which is based on the distribution of urban passenger public transport by capacity groups of rolling stock, the method of determining the effectiveness of capital investments in designing the development of existing and building new lines of urban rail transport based on their comprehensive technical and economic assessment, conducted in terms of capital, operating costs, significant socio-economic, environmental effects and losses arising during the construction and operation of infrastructure. Results:

на основе их всесторонней технико-экономической оценки, проводимой с точки зрения капитальных, эксплуатационных затрат, значимых социально-экономических, экологических эффектов и потерь, возникающих в период строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры. Результаты: предложены последовательность, методы обоснования роли рельсовых транспортных систем в общей транспортной системе города.

Ключевые слова: наземные рельсовые транспортные системы, рельсовый транспорт, городской транспорт, средняя напряженность пассажиропотока, вместимость подвижного состава, методика проектирования транспортных систем, технико-экономическое обоснование.

the sequence, methods to justify the role of rail transport systems in the overall transport system of the city are suggested.

Key words: land rail transport systems, rail transport, urban transport, average passenger traffic intensity, rolling stock capacity, transport system design techniques, feasibility study.

Введение

Опыт проектирования наземных рельсовых транспортных систем в городах направлен на разработку и внедрение комплексных стратегий с учётом экономических, социальных и экологических взаимосвязей, при этом должно быть обеспечено комплексное проектирование всех видов городского общественного транспорта и организация их совместной эксплуатации, а выбор транспорта должен осуществляться на основании технико-экономического обоснования с учетом экологических характеристик различных видов транспорта, уровня автомобилизации и плотности населения, планировочных особенностей города

Методика проектирования наземных рельсовых транспортных систем в городах

На первом этапе проектирования наземных рельсовых транспортных систем определяется доля перевозок, освоение которых может осуществляться рельсовым транспортом различной вместимости. В соответствии с методикой, предложенной профессором Д.С. Самойловым городам в соответствии со значением средней напряженности пассажиропотока соответствуют определенные размеры пассажиронагрузок на сети, которым в свою очередь должна соответствовать провозная способность пассажирского транспорта. Поскольку провозная способность прямо пропорциональна вместимости подвижного состава, можно определить долю, приходящуюся на рельсовый транспорт, отвечающий потребностям различных городов. Распределение маршрутов по вместимости подвижного состава должно осуществляться исходя из интересов пассажиров, т. е. принятия равных интервалов движения на всех маршрутах, и, в то же время, удовлетворять основное требование транспортных предприятий — соблюдать нужный коэффициент наполнения подвижного состава [1].

Анализируя зарубежный и отечественный опыт конструирования подвижного состава, закономерности распределения перевозок в городах можно определить проектную долю перевозок, приходящуюся на рельсовый транспорт в зависимости от прогнозируемой средней напряженности пассажиропотока на маршрутах. Средняя напряженность пассажиропотока на маршрутах является наиболее общим показателем, характеризующим численность населения, планировочные особенности, уровень экономического развития городов:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{м}} \cdot l_{\text{ср}} \cdot \delta_{\text{н}}}{\delta_{\text{л}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{пер}}}, \quad (1)$$

где: $\delta_{\text{ср}}$ – средняя напряженность пассажиропотока на маршрутах, тыс.пасс.-км/км в сутки; $\delta_{\text{л}}$ – линейная плотность транспортной сети, км/км²; $l_{\text{ср}}$ – средняя дальность поездки пассажира, км; $\delta_{\text{н}}$ – плотность населения, тыс.жит./км²; $k_{\text{м}}$ – маршрутный коэффициент; $V_{\text{м}}$ – маршрутная подвижность на городском пассажирском транспорте, $k_{\text{пер}}$ – коэффициент пересадочности.

Проведенный анализ (рис. 1-7) показал, что наземный рельсовый транспорт различной вместимости может осваивать значительные объемы перевозок в городах, среднее значение напряженности пассажиропотока которых колеблется в диапазоне от 3 до 67 тыс.пасс.-км/км в сутки.

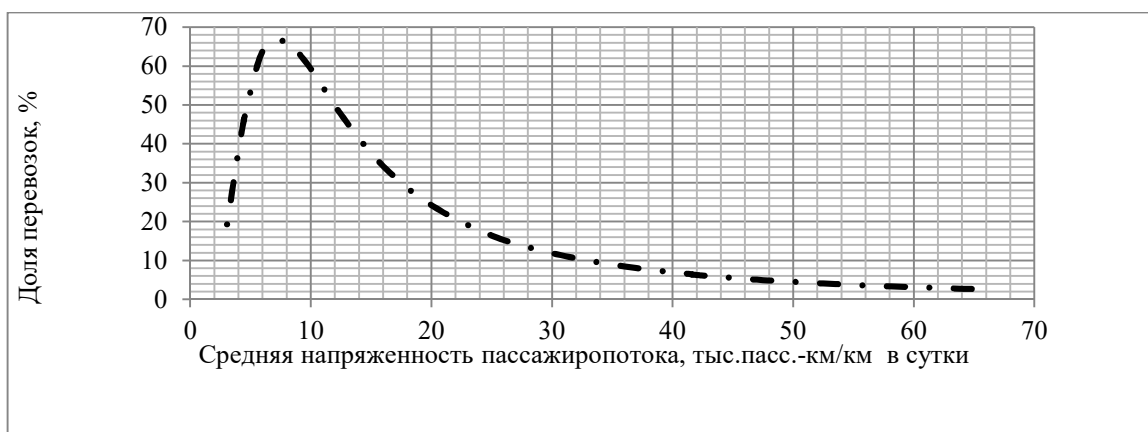


Рисунок 1. Трамвай четырехосный

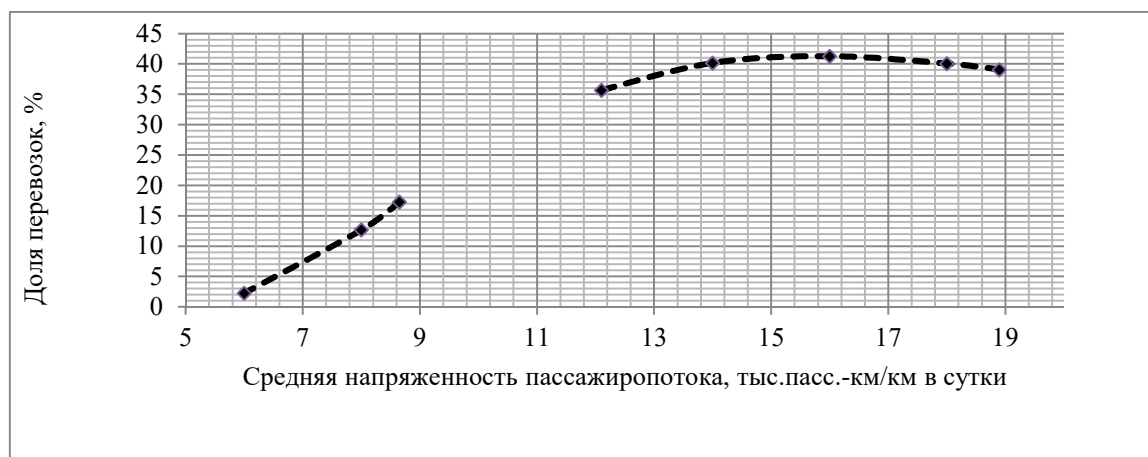


Рисунок 2. Трамвай шестиосный сочлененный

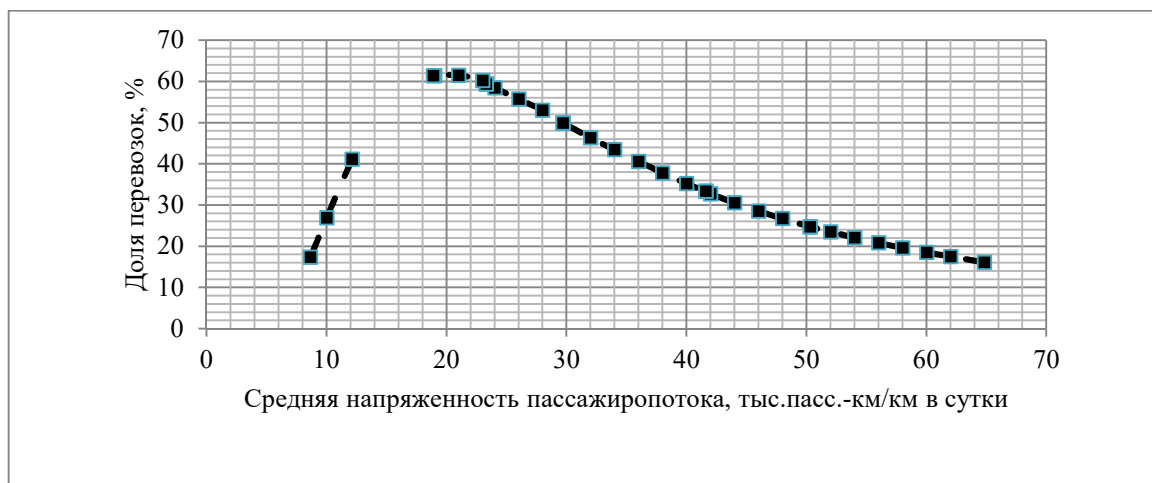


Рисунок 3. Трамвай восьмиосный сочлененный

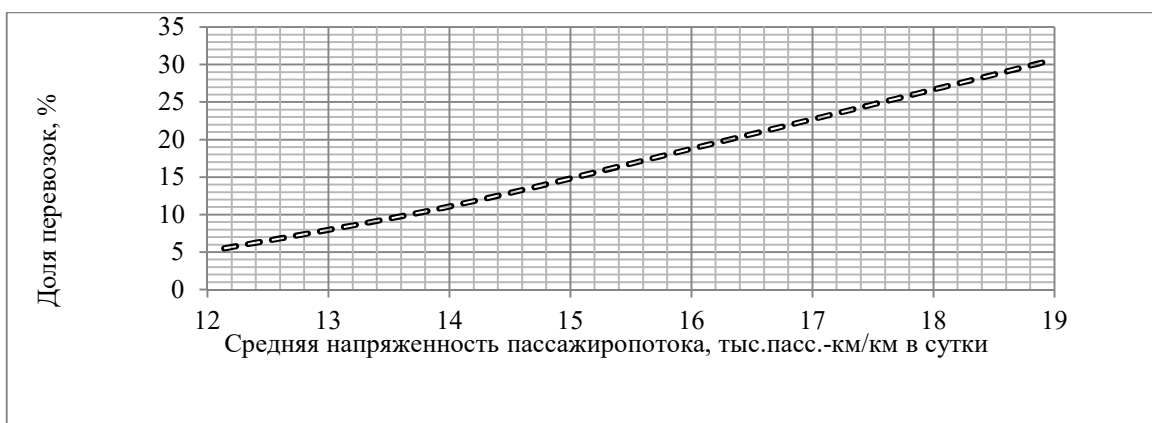


Рисунок 4. Городская железная дорога, LRT (2 вагона)



Рисунок 5. Городская железная дорога (4 вагона)



Рисунок 6. Городская железная дорога (6 вагонов)

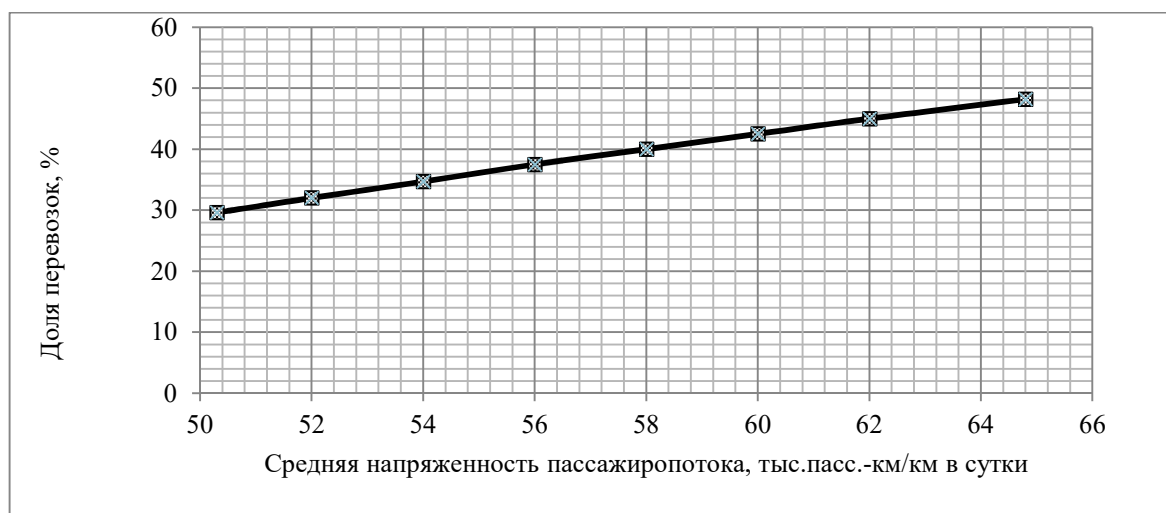


Рисунок 7. LRT (6 вагонов)

Результатом первого этапа является определение объемов перевозок, возможных для освоения наземным рельсовым транспортом различной вместимости. Полученные данные позволяют сделать вывод о достаточности или необходимости проведения дополнительных мероприятий по развитию рельсового транспорта в городах.

Для дальнейшего обоснования выбора рельсовых транспортных систем (второй этап проектирования) можно использовать устоявшиеся подходы к проведению технико-экономического обоснования, основанные на расчете различных показателей эффективности инвестиционных проектов, позволяющие учитывать социально-экономические и экологические аспекты развития рельсовых транспортных систем при переводе возникающих эффектов или ущербов к денежному эквиваленту, руководствуясь Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов [2].

Основной концепцией, заложенной в основу методики является определение эффективности капитальных вложений при проектировании развития существующих и строительства новых линий городского рельсового транспорта на основе их всесторонней тех-

нико-экономической оценки, проводимой с точки зрения капитальных, эксплуатационных затрат, значимых социально-экономических, экологических эффектов и потерь, возникающих в период строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры. При этом должно обеспечиваться полное соответствие всем действующим техническим регламентам, национальным и межгосударственным стандартам, руководящим документам и рекомендациям.

Согласно вышеуказанному документу [2] для оценки эффективности мероприятий рекомендуется использовать показатели сравнительной эффективности, которые дают возможность выбрать наиболее рациональное решение из числа анализируемых вариантов при учете только изменяющихся по вариантам частей затрат и результатов, что снижает трудоемкость оптимизации решения.

Для решения рассматриваемой задачи в качестве критерия оценки сравнительной эффективности можно принять минимальное значение показателя интегральных дисконтированных затрат (ДЗ), которое определяют по следующей формуле (2):

$$\begin{aligned} \text{ДЗ}_\nu = & \sum_{t=1}^T \sum_{t=1}^{t_\nu} K(1+E)^{-(t-1)} + \sum_{t=1}^T \text{ОП}_t (1+E)^{-(t-1)} + \sum_{t=t_\nu}^T C_t (1+E)^{-(t-1)} \\ & + \sum_{t=t_\nu}^T K_{ti}(1+E)^{-(t-1)} - \sum_{t=1}^T \text{Э}_t (1+E)^{-(t-1)} \\ & - \sum_{t=1}^T D_t (1+E)^{-(t-1)} + \sum_{t=1}^T Y_t (1+E)^{-(t-1)} \end{aligned} \quad (2)$$

где ν – порядковый номер рассматриваемого варианта; K – капитальные затраты, учитываемые при оценке сравнительной эффективности, млн. руб.; ОП_t – операционные потери в период выполнения строительных, ремонтных работ, млн. руб.; C_t – затраты на содержание, млн. руб.; K_{ti} – затраты на осуществление i – го ремонта, млн. руб.; Э_t – социально-экономический эффект, млн. руб.; Y_t – экологический ущерб, млн. руб.; D_t – доходы транспортных предприятий, млн. руб.; T – расчетный период, год; t – порядковый номер шага расчетного периода; t_ν – срок строительства сравниваемых вариантов, год; i – порядковый номер ремонта ($i = 1, \dots, k$); E – безрисковая социальная норма дисконта в относительных единицах измерения.

Результатом второго этапа проектирования является выбор наиболее рационального решения развития транспортной системы города из числа анализируемых вариантов с учетом, в том числе социально-экономических и экологических характеристик рельсового транспорта.

Список литературы

- [1] *Самойлов Д.С.* Городской транспорт. Учебник для вузов – 2-е издание, переработанное и дополненное – М. Стройиздат, 1983 – 384 с, ил.
- [2] *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов* (вторая редакция), Москва. Экономика. 2000.

УДК 656.2

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ**

**THE OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL INTERACTION OF INDUSTRIAL
ENTERPRISES AND OPERATORS**

Коберницкий Артем Александрович

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Kobernitsky Artem

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В данной статье показаны основы технологического взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний. Транспорт является одной из важнейших отраслей материального производства, осуществляющей перевозки пассажиров, грузов и т.д. От качества транспортной составляющей, качества взаимодействия смежных видов транспорта между собой, железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, зависит и вся технология промышленного производства. Поэтому, вопрос по оптимизации транспортно-логистических закономерностей взаимодействия железнодорожного транспорта с определенными подсистемами носит актуальный характер в условиях современной рыночной экономики с точки зрения усовершенствования и модернизации полного технологического процесса производства.

Ключевые слова: технологический, логистический, взаимодействие, железнодорожный транспорт.

Abstract

This article shows the basics of technological interaction of industrial enterprises and operators. Transportation is one of the most important branches of material production, carrying passengers, cargo, etc. The entire technology of industrial production depends on the quality of the transport component, the quality of interaction between related modes of transport among themselves, rail transport of general and non-public use. Therefore, the issue of optimizing the transport-logistic patterns of the interaction of rail transport with certain subsystems is topical in the current market economy in terms of improving and modernizing the full technological process of production.

Key words: technological, logistics, interaction, the railway transport.

Введение

В настоящее время в процессе развития железнодорожного транспорта становится наиболее важным показателем обеспечения качественной транспортной деятельности и безопасности, а также привнесения новшества в сферу транспорта.

Как при перевозке на дальние расстояния с большими объемами перевозок, так и на

короткие расстояния железнодорожный транспорт является одним из самых выгодных и конкурентных видов транспорта. Независимо от климатических условий с наименьшими транспортными издержками он имеет приоритет на промышленных предприятиях.

В свой состав железнодорожный транспорт включает четыре основных компонента:

- железнодорожные пути (рельсошпальная решетка, балластный слой, верхнее и нижнее строение пути);
- терминалы (станции, имеющие своё путевое развитие и связывающие между собой различные перегоны);
- подвижной состав (вагоны);
- тяговые средства (локомотивы и т.д.).

Железнодорожный транспорт в России - одна из крупнейших железнодорожных сетей в мире, эксплуатационная протяжённость которой составляет примерно 124 тыс. км, в том числе около 85,3 тыс. км приходится на пути общего пользования. По протяженности своих железнодорожных линий Россия занимает второе место, уступая США и опережая Китай.

Известно, что на путях необщего пользования зарождается и погашается свыше 80 % грузопотока, перевозимого магистральным транспортом, а основные фонды промышленного транспорта сопоставимы с основными фондами ОАО «РЖД», причем магистральный транспорт выполняет в основном перевозки, а промышленный – погрузочно-разгрузочные работы [1].

На сегодняшний день «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») являются одной из крупнейших магистральных транспортных систем мира общего пользования. Они обеспечивают почти 43,3% совокупного грузооборота своими перевозками. Железных дорог общего пользования активно взаимодействуют с промышленной транспортной системой для удовлетворения всех потребностей участников перевозочного процесса.

При рассмотрении вопроса о взаимодействия двух и более смежных видов транспорта, на нашем примере это – железнодорожный транспорт общего и необщего пользования, можно увидеть множество несоответствий, «несовершенных подходов», которые тормозят и, следовательно, удорожают транспортировку продуктов от производителей до потребительской базы.

Вопрос по оптимизации взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожных транспортов носит актуальный характер с точки зрения уменьшения транспортных издержек, уменьшения упущенной выгоды и т.д. Решение этих вопросов базируется на глубоком знании закономерностей работы железнодорожного транспорта, внедрении прогрессивной инновационной технологии, современных методов управления с применением информационных технологий, ЭВМ, экономико-математического аппарата и т.д.

1. Характеристика и значение промышленного железнодорожного транспорта

Промышленные железные дороги берут своё начало с XVIII века. В то время, промышленные сооружения, фабрики, предприятия практически отсутствовали, поэтому транспорт, который обслуживал данные промыслы, был слабо развитым. Проектирование и строительство промышленных железнодорожных дорог и подъездных путей велось бессмысленно, без учета оптимального расположения путей относительно производственных сооружений, без учета перспективы развития на будущее и т.д., что делало промышленную транспортную систему неэффективной.

Своё бурное развитие промышленная транспортная система получила после Октябрьской социалистической революции. В связи с резким развитием черной и цветной металлургии, машиностроения, угольной и химической промышленности, с образованием крупных промышленных комплексных систем значение и роль промышленного транспорта возросла в разы. Теперь, уровень развития промышленного транспорта должен был соответствовать уровню развития той или иной промышленности. Актуальными стали проблемы проектирования и строительства довольно развитой железнодорожной промышленной сети с учетом оптимального взаимодействия её с магистральной транспортной сетью России.

На промышленном железнодорожном транспорте зарождается большая часть всех грузо- и вагонопотоков. На нем осуществляется около 96% общей погрузки и 85% общей выгрузки. Промышленный железнодорожный транспорт обеспечивает взаимодействие между цехами предприятия внутри сети, осуществляет подачу сырья для производства готовой продукции, вывозит готовую продукцию и отходы производства через подъездные пути на сеть общего пользования, тем самым, осуществляя взаимодействие транспортов общего и необщего пользования.

С точки зрения себестоимости готовой продукции предприятия, то затраты на промышленный транспорт составляет 12-20% цены продукта. Объем перевозок достигает 12 млрд. т. в год (примерно в 3 раза больше, чем магистральным транспортом), а грузооборот – 70,0 млрд. т*км. За счет относительно малой составляющей дальности перевозок на промышленном транспорте, становится очевидным, что удельный вес грузовых операций увеличивается в общем объеме перевозок.

Промышленный железнодорожный транспорт является важной и неотъемлемой частью грузовой транспортной системы России, полноправным участником перевозочного процесса, взаимодействуя с железнодорожным транспортом общего пользования на начально-конечных операциях перевозки грузов, обеспечивая транспортное обслуживание организаций и предприятий всех отраслей экономики.

Эффективность эксплуатации промышленного транспорта во многом определяется:

- уровнем разработки технологии работы путевого развития промышленных станций и узлов;
- качеством ее реализации с перспективой развития;
- степенью слаженного согласования работы различных видов транспорта, их взаимодействия;
- обеспечением устойчивого взаимодействия с производством отрасли; управлением работы транспорта и т.д.

2. Потенциал операторских компаний на современном транспортном рынке

В последнее время входит в моду определение компания – оператор. Эти перевозочные компании, которые транспортируют грузы от производственных до потребительских баз по сети Российских железных дорог. Сейчас насчитывается около 2450 владельцев – собственников подвижного состава, в руках которых находятся примерно 555 тыс. вагонов, что составляет около 60% общего парка вагонов РФ.

Появление операторских компаний на железнодорожном рынке РФ было неслучайным. Парк подвижного состава, парк локомотивов был в таком состоянии, что он работал уже на своём пределе, он был истощен. Поэтому, появление частных операторских компаний было крайне необходимо, что свидетельствуют нам реформы железнодорожного транспорта РФ, начиная с 2000-х годов.

Теперь, каждая частная компания – перевозчик за свой частный капитал ищет более эффективные способы по организации своего основного вида деятельности: подача подвижного состава промышленным предприятиям по соответствующим заявкам, договорам, вывозка готовой продукции и своевременная её транспортировки до получателя в целостности и сохранности.

Созданная конкуренция между новыми «передовыми» операторскими компаниями должна служить как двигатель современной экономики, современного прогресса в условиях сложившихся рыночных отношений.

С точки зрения развития железнодорожного транспорта данное «новшество» оказывает только положительное влияние. Если же рассматривать этот вопрос с точки зрения взаимодействия промышленного предприятия и перевозчика, то здесь возникает множество частично не решенных или вовсе нерешенных вопросов.

Важным параметром каждой операторской компании является свой информационный потенциал, который представляет собой комплекс ресурсов, которые предусматривают накопление, активное развитие и использование инновационных методов и технологий, специализированных инструментов внедрения и реализации, позволяющих использовать их в различных областях управления.

У каждого участника перевозочного процесса при взаимодействии промышленных предприятий и операторских компаний для обеспечения полного комплекса логистических систем бесперебойной работой всех транспортных звеньев по транспортировке продукции от мест производства непосредственно до потребителя должен быть информационный доступ к единой бесперебойной логистической цепочке, куда можно вносить информацию в режиме реального времени по поводу надобности или ненадобности того или иного вида подвижного состава для транспортировки продукции от производителя до выгрузки на месте назначения. Данная система будет сама выбирать оптимальный маршрут следования поездов, тип транспорта, необходимый перечень перевозочных документов, соблюдая сроки движения поездов, их погрузку и отгрузку, осуществляя обратную связь, сохранность количества и качества груза, безопасность движения и т.д.

Потенциал операторских компаний на железнодорожном рынке РФ улучшает показатели железнодорожной транспортной сети в целом: сокращается время оборота вагонов, уменьшаются технологические простои локомотивов, снижается стоимость транспортировки грузов (тарифной составляющей), что в значительной степени уменьшает себестоимость готовой продукции промышленных предприятий. Данная продукция сможет быстрее реализовать себя в условиях «жесткой» конкуренции на рынке товаров.

На сегодняшний день многие операторские компании не останавливаются на достигнутом. Стратегия их предполагает развитие на несколько десятков лет. Конкурируя между собой, компании – перевозчики совершенствуются, внедряя более технологичные инновационные проекты в своей отрасли.

На современном этапе использования всего потенциала операторской компании для более производительной работы необходимо, чтобы не только информационная система работала на пределе своём, но и каждый работник данной компании. Поэтому для каждого сотрудника должны быть созданы соответствующие стимулирующие условия. Только тогда они будут системно и рационально подходить к решению тех или иных задач транспортно – логистического управления.

3. Оптимизация технологического взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний. Интеллектуальные транспортные системы

Как говорилось выше, появления операторских компаний на рынке РФ привело не только к полному развитию и совершенствованию уже истощенного на тот момент каждого компонента железнодорожного транспорта, но и к увеличению участников перевозочного процесса.

Если раньше, до 2000-х годов, до реформы образования ОАО «РЖД», чтобы доставить готовую продукцию от производителя до потребителя, необходимо было участие только промышленного предприятия и Министерства путей сообщения РФ, то теперь, с появлением ОАО «РЖД» и её дочерних предприятий, компаний операторов, частных перевозчиков, взаимодействие происходит уже между тремя и более лицами: промышленное предприятие – производитель готовой продукции, ОАО «РЖД» – собственник сети железных дорог и парка подвижного состава и локомотивов, частная перевозочная операторская компания – собственник своего подвижного состава и т.д.

Для того чтобы доставить готовую продукцию до потребителя, крупным товаропроизводителям выгоднее привлекать сторонних перевозчиков, нежели покупать и содержать для перевозки продукции свой парк подвижного состава, что крайне увеличивает себестоимость готовой продукции, и как вследствие, становится сложнее реализовать этот продукт.

Операторские компании – это перевозчики «аутсорсеры», которым необходимо доставить вверенный им груз, и с этой работой они справляются довольно – таки не плохо. Имея свой диспетчерский персонал, эти компании по заявкам в определенные сроки привозят сырьё для производства, подают порожний подвижной состав для вывоза готовой продукции и т.д. Крупным промышленным предприятиям выгодно иметь дело с такими компаниями, поскольку, на основании неких договоров, данные перевозчики заинтересованы в крайне быстрые сроки подать свой подвижной состав промышленным предприятиям, в целостности и сохранности транспортировать готовый продукт из точки А в точку Б. Между ними практически отсутствуют штрафы за сверхнормативный простой вагонов на железнодорожных путях необщего пользования, нежели при взаимодействии с ОАО «РЖД».

Рассматривая взаимодействие промышленных предприятий и операторских компаний, нельзя забывать про третьего участника данного процесса – ОАО «РЖД», которые уже «диктуют» свои правила операторским компаниям, которые транспортируют грузы промышленных предприятий в своём подвижном составе. Работы промышленного предприятия с подвижным составом ОАО «РЖД» и операторских компаний практически не отличается, за исключением, что за простой своих вагонов на подъездных путях предприятий ОАО «РЖД» уже устанавливает большие сверхнормативные штрафы.

Из всего вышесказанного, следует сделать вывод, что вопрос по оптимизации технологического взаимодействия промышленного предприятия, ОАО «РЖД» и операторских компаний носит актуальный характер в условиях современной рыночной экономики, где каждый её участник в своих интересах хочет извлечь большие выгоды.

На мой взгляд, можно выделить следующие проблемы взаимодействия [2]:

- обеспечение баланса интересов участников перевозочного процесса как государственный приоритет;
- совершенствование взаимодействия участников перевозочного процесса;
- состояние тягового подвижного состава на путях необщего пользования;

- обновление и улучшение технического оснащения железнодорожного транспорта необщего пользования (в первую очередь, модернизация локомотивов и путевой железнодорожной техники);

- необходимость оптимизации технологических процессов и снижения издержек в части применения железнодорожного транспорта необщего пользования.

Для решение вышеуказанных проблем можно применить:

- совершенствование нормативной базы регулирования деятельности промышленного железнодорожного транспорта и его взаимодействия со структурами РЖД;

- разработка комплексной технологии, регламентирующей весь процесс производства, включая работы, выполняемые железнодорожным транспортом необщего пользования;

- разработка взаимоувязанной технологии работы промышленного транспорта с магистральным транспортом;

- внедрение автоматизированного управления промышленным транспортом как подсистемы АСУ предприятий;

- создание нормативной базы в вопросах обеспечения безопасности инфраструктуры и движения поездов на железнодорожном транспорте необщего пользования.

Предложения, представленные в Министерство транспорта РФ:

- создать Управление (Отдел) по работе с предприятиями железнодорожного транспорта необщего пользования;

- определить разработчика стандартов, отражающих требования безопасности технических средств, а также оценки соответствия продукции требованиям технических регламентов на путях необщего пользования;

- распространять передовой опыт модернизации тягового подвижного состава, используемого на подъездных путях;

- осуществлять государственный контроль за выполнением требований технических регламентов в сфере железнодорожного транспорта с привлечением экспертов в области промышленного железнодорожного транспорта [3,4].

Вопрос взаимодействия железнодорожных путей общего и необщего пользования сконцентрирован на стыке работ путей необщего пользования как промышленной транспортной системы и станции примыкания – магистрали путей сообщения.

Для более слаженной работы их взаимодействия необходимо прорабатывать ЕТП станции примыкания с точки зрения выбора наиболее благоприятного алгоритма оптимальной очередности обслуживания железнодорожных путей необщего пользования подвижным составом. Критерием выбора приема вагонов на промышленные железнодорожные пути и, соответственно, возвращения их обратно на магистраль должны быть эксплуатационные расходы. Данные расходы должны быть сведены к минимуму с учетом всевозможных ущербов и штрафов, санкций и выплат. Следовательно, в свою очередь, промышленная транспортная система должна согласовать планы подачи пребывающего подвижного состава непосредственно в производственные цеха. Только после полного согласования двух систем: производственные цеха – промышленная транспортная система, пути необщего пользования – магистральные железнодорожные линии будут сведены к минимуму эксплуатационные расходы:

- простой – вагоночасов на путях необщего пользования;
- нетехнологические простои – локомотивочасов под вагонами и т.д.

Несомненно, совершенствования железнодорожного вида транспорта как наиболее выгодного и перспективного невозможно без современных интеллектуальных систем.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) — это композиция взаимосвязанных подсистем анализа и оценки, прогнозирования, планирования, учета, контроля и стимулирования, построенных на специальном языке и взаимосвязанной нормативно-методической базе.

Принципы построения ИТС обусловлены принятием решений разной степени сложности, способных использовать всю менее определенную и точную информацию. К данным принципам относятся адаптивность, прогрессивность, комплексность, иерархичность, синергия. При этом должно достигаться совместное использование интеллектуального потенциала лиц, принимающих решения, и элементов искусственного интеллекта, реализованных на ЭВМ.

Известно, что запланированные графики движения и графики исполненного движения чаще всего не совпадают из-за возникновения по ходу движения поездов различных возмущающих воздействий. Поэтому, ИТС будет помогать диспетчерскому персоналу предугадывать данные нетехнологические задержки и простои, прокладывать маршруты с наиболее минимальными скрещивающимися маршрутами, что позволит ускорить и обезопасить весь транспортировочный процесс.

Соответственно, для работы ИТС каждый вид тягового и нетягового подвижного состава должен быть оснащен соответствующими датчиками, которые будут взаимодействовать со спутниковыми системами.

Интеллектуальные транспортные системы являются локомотивом развития инновационных отраслей экономики. Они должны создаваться для решения различного рода социально – экономических проблем.

Развитие рынка интеллектуальных транспортных систем в России и его интеграция в мировой рынок ИТС требуют законодательного и нормативно-технического регулирования. Только ответственная политика, участие государства как регулятора спорных возникающих вопросов в области ИТС позволит создать функциональную, эффективную, надежную и безопасную транспортную систему, обеспечивающую развитие инновационной и инвестиционной составляющих экономики Российской Федерации.

Список литературы

- [1] *Гарлицкий Е.И.* Совершенствование технологии обслуживания железнодорожных путей необщего пользования // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: 2015.
- [2] *Брагин А.М.* К вопросу о взаимодействии железнодорожного транспорта общего и необщего пользования // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 2 [Электронный ресурс].
- [3] Промышленный железнодорожный транспорт: проблемы и решения // РСП Эксперт. – 2014. №11.
- [4] Промышленный железнодорожный транспорт: сегодня и завтра // РСП Эксперт. – 2015. №1.

УДК 656.212.2

**СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

**WAYS OF OPTIMIZATION OF TRACK DEVELOPMENT OF CARGO
RAILWAY STATIONS BASED ON STRUCTURAL TECHNOLOGIES**

Корнилов Сергей Николаевич, Антонов Анатолий Николаевич,
Варжина Кристина Михайловна

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия*

Sergey Kornilov, Anatoly Antonov, Kristina Vargina
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена необходимостью усиления транспортной инфраструктуры, обеспечивающей своевременность всего перевозочного процесса. Цель исследования - повысить общую эффективность функционирования грузовых железнодорожных станций и транспортных узлов. Используемые методы - параметрическая, структурная, функциональная и системная оптимизация; структурные технологии. В результате разработаны: методика оперативного управления использованием путевого развития грузовой железнодорожной станции, методика перспективного планирования усиления путевого развития станций. Применение данных методик позволит сократить простои подвижного состава на путях грузовых станций, повысить пропускную способность участков, что в свою очередь повлияет на общую эффективность функционирования магистрального железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, грузовые станции, пропускная способность, направления оптимизации, структурные технологии, методика.*

Abstract

The relevance of the study is due to the need to strengthen the transport infrastructure, ensuring the timeliness of the entire transportation process. The purpose of the study is to improve the overall efficiency of the functioning of freight railway stations and transportation hubs. The methods used are parametric, structural, functional, and system optimization; structural technology. As a result, the following methods have been developed: the operational management method for using the track development of a freight railway station, the method of long-term planning for strengthening the track development of stations. The use of these techniques will reduce the downtime of rolling stock on the tracks of freight stations, increase the capacity of the sections, which in turn will affect the overall efficiency of the functioning of the main railway transport.

Key words: *railway transport, freight stations, throughput, optimization directions, structural technologies, methods.*

Введение

Ускорение роста экономики России, обеспечение внешнеэкономических и транзитных связей, процессы глобализации на мировом рынке ставят перед транспортом задачу опережающего развития мощностей для перевозки грузов, в частности требуют ускорения их переработки в транспортных узлах, образованных на стыках различных видов транспорта. В соответствии с прогнозируемыми параметрами развития экономики страны, представленными Министерством экономического развития и торговли Российской Федерации, объемы перевозок на железнодорожном транспорте должны увеличиться к 2020 г. на 35% (по сравнению с 2010 г.). Так же, при наблюдающемся росте перевозок через российские порты, необходимо учитывать, что более 45% перевалки грузов обеспечиваются с участием железнодорожного транспорта [4]. В этих перспективах необходимо дальнейшее усиление транспортной инфраструктуры, обеспечивающей своевременность всего перевозочного процесса. Решение этой важнейшей задачи становится все более актуальным и является на сегодняшний день одним из главных направлений совершенствования деятельности транспортной сети.

1. Постановка проблемы

Основным элементом транспортной инфраструктуры являются грузовые железнодорожные станции. Именно здесь осуществляются перегрузочные, погрузочно-разгрузочные операции, операции, связанные с хранением и сортировкой груза. Для обеспечения общей эффективности функционирования транспортных узлов необходимо обеспечить высокий уровень работы всех его составляющих элементов, в том числе и грузовых железнодорожных станций.

В настоящее время, в связи с реорганизацией ОАО «РЖД», весь вагонный парк находится в руках частных операторских компаний. Увеличение числа мелкопартионных отправок, количества сборных поездов приводят к значительному росту объемов работ и простоям подвижного состава в ожидании подачи-уборки. Все это усложняет работу станций и узлов.

Увеличение времени простоев и объема маневровых работ, снижение производительности, все это повлияло на неравномерность вагонопотоков на сети железных дорог. Колебания величины интервала поступления поездов на станции приводят к возникновению межоперационных простоев, неравномерной загрузке маневровых средств, к необходимости создания излишних резервов производственной мощности (пропускной и перерабатывающей способности объектов инфраструктуры и парков подвижного состава), привлечению дополнительного эксплуатационного персонала [1].

В результате всех вышеперечисленных негативных факторов возникает проблема недостатка пропускной способности грузовых железнодорожных станции для своевременного осуществления перевозок, что в свою очередь негативно сказывается на общей производительности всего транспортного узла. Решение данной проблемы требует комплексного подхода, так как оптимизация отдельных элементов путевого развития не позволит существенно повысить пропускную способность конкретных станций.

2. Моделирование процессов

Для решения данной проблемы разработана модель оптимизации путевого развития грузовой станции. В предлагаемой модели процесс оптимизации осуществляется за

счет изменения параметров схемы путевого развития, её функций и структуры (параметрическая, структурная, функциональная и системная оптимизации [2, 3]).

Для достижения наибольшего эффекта по увеличению пропускной и перерабатывающей способности, совместно с поэтапной оптимизацией путевого развития станции используется метод структурных технологий. Под структурными технологиями понимается совокупность технологических способов, позволяющих управлять свойствами структуры, приближая их к оптимальным в каждом состоянии системы [4, 5].

Укрупненный алгоритм разработанной модели представлен на рис. 1.

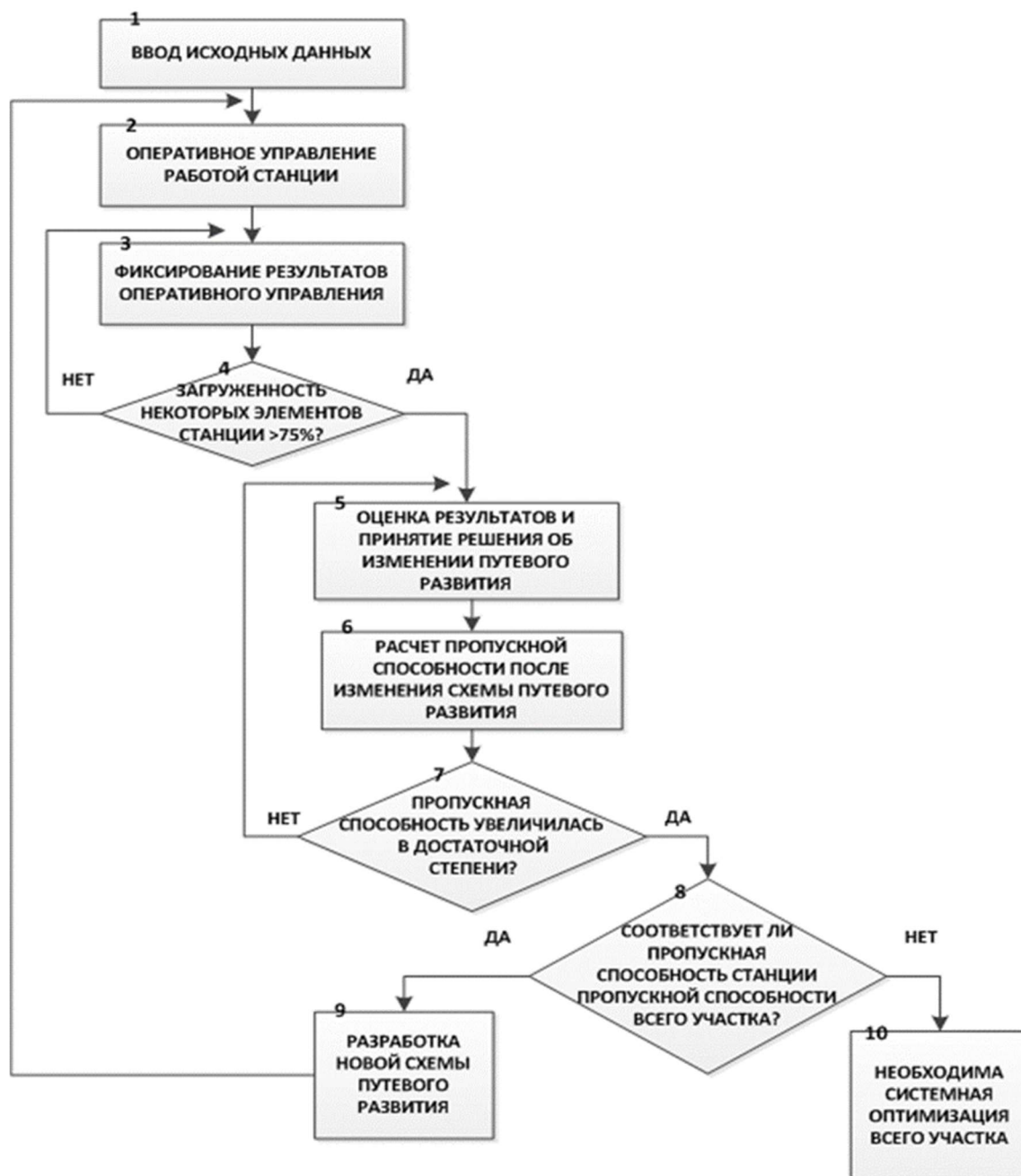


Рисунок 1. Алгоритм модели оптимизации путевого развития станции

Так как в процессе работы станции нередко возникают ситуации, при которых загруженность станции становится больше определенного значения (принято 75%), для их решения применяются методы структурных технологий. Это позволяет снизить загруженность до величины, не превышающей данный предел. Фиксируя и суммируя полученные результаты, выявляются места на схеме путевого развития, загруженность которых остается высокой после реализации оперативных решений. Когда загруженность определенных элементов станции составляет более 75% в течение периода моделирования, необходимо выполнить структурную оптимизацию, т.е. изменить схему путевого развития. После моделирования изменения схемы путевого развития производится расчет пропускной и перерабатывающей способности и если они увеличились в достаточной степени и соответствуют пропускной и перерабатывающей способности всего участка, то данную схему можно принять к реализации. В противном случае, необходима системная оптимизация всего участка.

На основании модели разработана методика оптимизации путевого развития грузовой станции. Даная методика является методикой перспективного планирования, то есть благодаря ее применению можно спланировать какие действия при сложившейся проблемной ситуации можно применить и какой результат будет достигнут.

Основным блоком в алгоритме модели оптимизации путевого развития станции является блок №2 – «Оперативное управление работой станции». В данном блоке используется определенный набор структурных технологий, применение которых позволит снизить загруженность станции и увеличить её пропускную способность. Алгоритм оперативного управления работой станции представлен на рис. 2.

Первый этап – «Ввод исходных данных». На данном этапе вводятся такие показатели, как занятость парков и отдельных путей, резервы пропускной способности, наличие локомотивов на станции и т.п.

Следующий этап – «Оценка степени загруженности станции». На втором этапе анализируется величина коэффициента загруженности каждого пути и парков путей для того, чтобы определить набор действий, необходимых для оптимизации работы станции.

Третий этап - логический блок, определяющий: превышает ли коэффициент загруженности 50%. Если загруженность станции меньше, ситуация в работе станции является стандартной, дополнительных мер не требуется и осуществляется переход к четвертому блоку, в котором регулирование работы осуществляется за счет стандартных приемов диспетчерского руководства.

Если загруженность превышает 50%, необходим переход к следующему этапу алгоритма – логическому блоку 5, в котором уточняется величина коэффициента загруженности станции. Если коэффициент не превышает 81%, необходимо выбрать соответствующие структурные технологии для нормализации нестандартной ситуации на станции. Описанные действия задаются в блоках 6 и 7. К данным структурным технологиям относятся: а) переброска переменных средств из одного района работы в другой; б) использование персонала, как переменное средство; в) изменение специализации приемоотправочных путей; г) возможность занятия ходовых и вытяжных путей. Если после применения необходимого набора действий загруженность станции снизилась, то нестандартная ситуация стандартизирована, и станция вновь работает в своем обычном режиме.

Если же коэффициент загруженности не приходит к своему нормальному значению и продолжает расти, необходимо применить иные структурные технологии. Данный выбор действий осуществляется в логических блоках 9 - 11. К данным структурным

технологиям относятся: а) использование свободных концов путей; б) изменение специализации парков путей; в) использование грузовых фронтов станции.

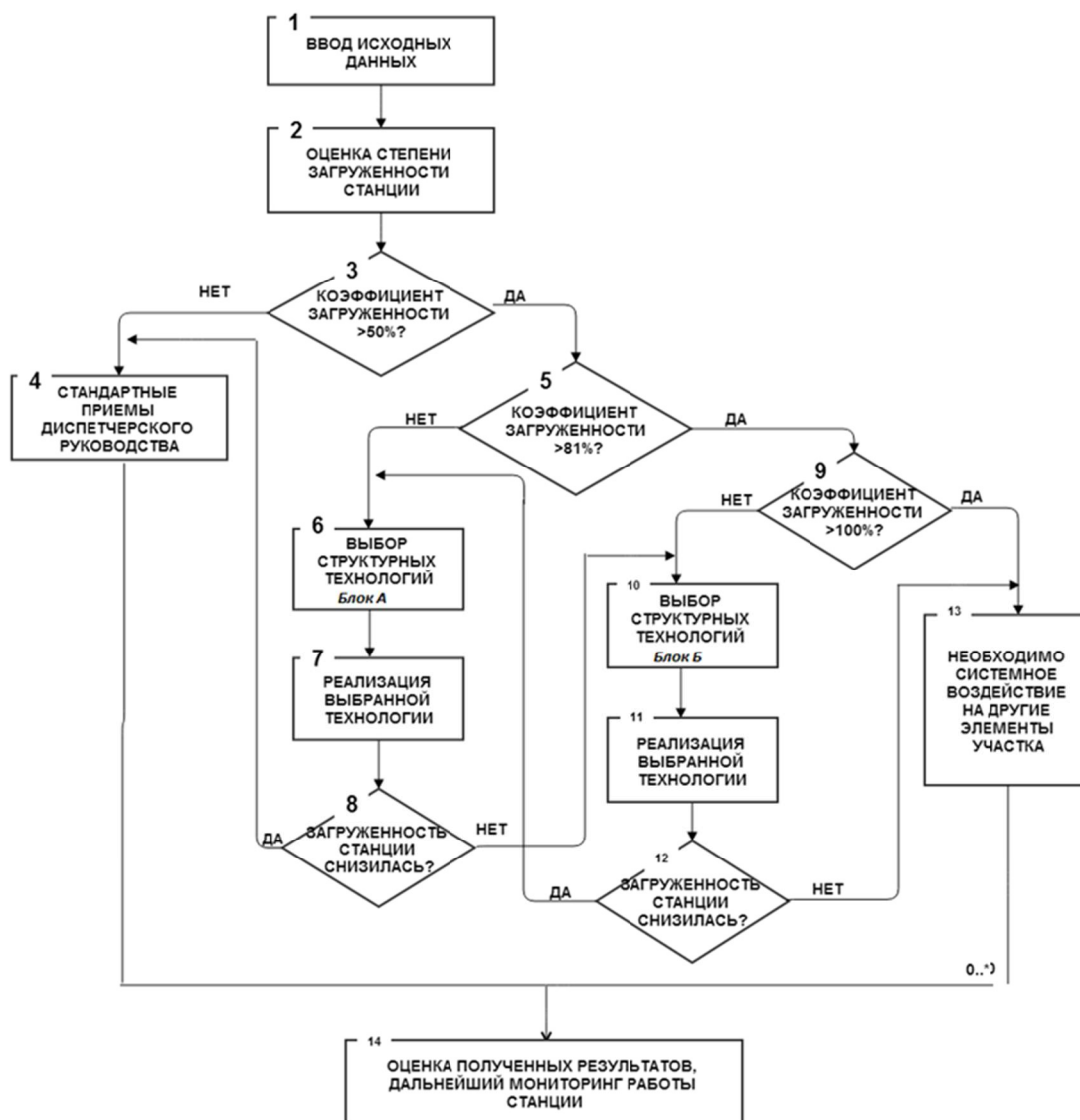


Рисунок 2. Алгоритм оперативного управления работой станции

Если после проведения данного набора действий загруженность снизилась – поставленная задача выполнена. При дальнейшем росте величины коэффициента загруженности необходим переход к блоку 13 – «Системное воздействие на другие элементы участка». На данном этапе диспетчер должен передать часть своих полномочий вышестоящим работникам (дежурному по станции, начальнику участка) с целью внесения изменений в технологию работы всего участка, в частности, корректировки графика движения поездов и временного уменьшения прибытия поездов на станцию.

Последним этапом в данном алгоритме будет оценка результатов и дальнейший мониторинг работы станции.

3. Перспективы применения результатов моделирования

На основе алгоритма разработана методика оперативного управления работой станции. Благодаря данной методике возможно, за счет применения метода структурных технологий, справиться с неравномерностью вагонопотоков, прибывающих на станцию, а так же нормировать показатель загруженности станции. Применение разработанной модели позволит в наибольшей степени увеличить пропускную способность как отдельных грузовых станций, так и транспортных узлов.

Применять описанные методики – методику перспективного планирования и методику оперативного управления можно по отдельности, или совместно. Поэтапное решение проблем, возникающих при работе станции, с применением необходимых методов структурных технологий или одного из четырех направлений оптимизации, позволит прогнозировать результаты реализации решений диспетчерского персонала. Кроме этого, совмещая в себе методы оперативного управления работой станции и перспективного планирования по увеличению путевого развития, разработанная методика дает возможность обеспечить своевременность всего перевозочного процесса, что в свою очередь повлияет на общую эффективность функционирования магистрального железнодорожного транспорта, и оптимизировать капитальные затраты на реконструктивные мероприятия.

Список литературы

- [1] Буракова А.В. Неравномерность как свойство транспортного процесса. «Наука и техника XXI века»: материалы международной заочной научно-практической конференции. — Новосибирск: «Априори», 2011. - 148 с.
- [2] Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Шаульскийкий Б.Ф. Основы логистики: учебное пособие. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. - 302 с.
- [3] Корнилов С.Н., Варжина К.М. Проблемы перевозочного процесса железнодорожного транспорта и возможные способы оптимизации путевого развития станций // Сб. науч. трудов SWorld. Материалы междунар. научно-практич. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2013». – Вып. 4. Том 2. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. - С. 47-52.
- [4] Панова И.В. Современные информационные технологии в управлении транспортно-логистическими потоками // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: Материалы междунар. конф. «Композит – 2010». - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. - С. 487-488.
- [5] Kornilov S., Lukjanov V., Antonov A. Efficiency Increase of Complex Production and Transport Systems Management // SHS Web of Conferences, vol. 35, 2017. Pp. 01100 (см. https://www.shs-onferences.org/articles/shsconf/abs/2017/03/shsconf_icie2017_01100/shsconf_icie2017_01100.htm).

УДК 656.2:629.4

НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРИ ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТАХ

NECESSITY TO STUDY THE ECOLOGICAL ASPECTS OF THE INNOVATIONAL TRANSPORT PROJECT

Борис Александрович Либерман

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Boris Liberman

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

Рассматривается необходимость включения функционала экологического влияния в модели оценки эффективности транспортных систем и инновационных решений в транспортных системах. Совершенствование методик принятия инвестиционных транспортных решений на основе многокритериального анализа с учётом комплексного экологического эффекта.

Ключевые слова: транспорт, экология, модели оптимизации.

Abstract

The necessity of including the functional of environmental impact in the model of assessing the effectiveness of transport systems and innovative solutions in transport systems is considered. Improving the methods of making investment transport decisions based on a multi-criteria analysis, taking into account the complex environmental effect.

Key words: transport, ecology, optimization models.

Введение

В соответствии с объявленным президентом России курсом на «технологический прорыв» в научном сообществе начался бум по прикладным направлениям развития и внедрения инновационных технологий. Выполнение поставленных амбициозных целей в короткие сроки всегда сопряжено с упрощением решаемых задач и концентрации на достижении главной целевой функции исследования. В виду сложности окружающего нас мира и протекающих в нем процессов человеку всегда приходилось для решения его практических задач пренебрегать какими-то параметрами и производить декомпозицию задачи. Это было обусловлено ограниченностью технического ресурса, позволяющего просчитать большое количество данных и выполнить моделирование сложных природных или технических объектов.

1. Постановка проблемы

На протяжении многих десятилетий, а может быть и более, процесс научного поиска оптимальных решений практически во всех областях человеческой деятельности исключал принятие в расчет экологической составляющей. Только на пороге нового тысячелетия стали появляться первые прикладные научные труды, которые как-то пытались

включать в оценку эффективности некоторые экологические аспекты [1]. Не исключением является и транспортная наука, которая долгие годы игнорировала в своих оценка фактор воздействия на окружающую среду. Причина этого вполне понятна: воздействие на природную среду от транспортных процессов многосторонне, переменчиво, зависит от большого количества факторов и не входит в область знаний и интересов учёных занимающихся транспортной проблематикой. Это пример очередной области знаний на стыке традиционных научных областей. Основным же препятствием для учёта экологических аспектов в оптимизационных транспортных моделях являлось отсутствие объективной методики оценки этих воздействий не в натуральном, а в денежном эквиваленте, необходимом для одномерности математической модели.

2. Краткий обзор традиционных способов

Традиционным подходом в управлении материальными потоками можно назвать интегрированную логистическую систему. Стандартным набором функций такой системы являются:

- построение логистической цепочки;
- формирование набора параметров по каждому звену системы;
- выбор критерия управления МП по каждому звену системы;
- анализ оценки вероятности появления риск-факторов в системы;
- анализ устойчивости работы звеньев системы;
- оценка переходных процессов МП;
- оценка надежности системы в целом.

Математическое описание входящего и выходящего потока позволяет количественно оценить переходные процессы материальных потоков в интегрированной логистической системе. При этом вся интегрированная логистическая система разбивается на векторные звенья, описываемые системой двух дифференциальных уравнений.

Уравнение, характеризующее преобразования грузопотока:

$$z(t) = \lambda \cdot x \cdot t + z(t_0) \cdot e^{(\mu - k_1^F \mu)t}, \quad (1)$$

где: $\lambda(t)$ – интенсивность подачи груза под погрузку, заданная как случайная величина
 $\mu(t)$ – интенсивность погрузки, заданная как случайная величина; k_1^F – интенсивность появления внешних риск-факторов в процессе погрузки.

Уравнение выходящего грузопотока:

$$y(t) = (1 - k_{np}^{общ}) \cdot (\lambda x t + z(t_0) \cdot e^{(\mu - k_1^F \mu)t}) + \varepsilon x(t), \quad (2)$$

где: $k_{np}^{общ}$ – вероятность возникновения внутренних риск-факторов в процессе погрузки;
 ε – погрешность измерения.

Рассматриваемая логистическая цепь характеризуется наличием большого количества факторов риска, которые можно разделить на постоянные и переменные. Постоянные – это факторы, которые приводят к постепенному снижению скорости и качеству выполняемых операций. Переменные – это внешние независимые от элемента факторы и редкие события [2].

Примерная схема моделирования переходного процесса в звене «Погрузка» приведен на рисунке 1. При этом элементы для принятия решений в условиях ярко выраженной неопределенности логистических цепей определяются с помощью теории нечетких множеств. В такой системе не всегда представляется возможным использовать вероятностные модели для описания процессов и явлений [3].

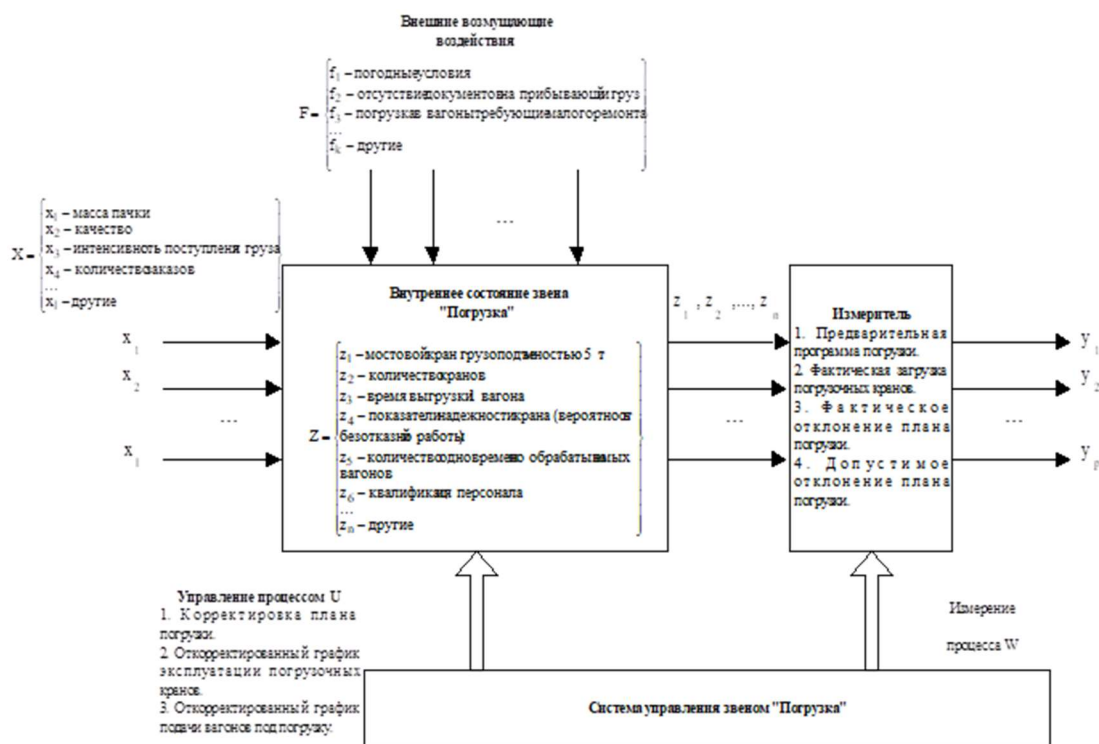


Рисунок 1. Пример моделирования переходных процессов в звене "Погрузка".

Применение таких моделей напрямую зависит от качества прогнозирования потоков и величины факторов риска. Существует большое количество методов прогнозирования: последовательных решений, делфи, оценки уровня потоков, ведущих индикаторов, метод использования динамических рядов и другие. Успешность применения каждого метода зависит от его соответствия конкретной ситуации, цели прогнозирования, горизонта прогнозирования, исходных данных, квалификации прогнозиста и тд. Это, в свою очередь, ставит в зависимость от этих переменчивых факторов прогнозирования успешность всей оптимизационной модели логистической системы [4].

3. Современные перспективные направления

Основным направлением в транспортной оптимизационной теории стала логистическая концепция. Опираясь на теорию систем и компромиссов логистическая концепция ставит своей задачей удовлетворение потребностей поставщиков и потребителей по принципу в нужное место, в нужном объеме в нужное время при минимуме транспортно-складских затрат.

Как видно из этого подхода, до сих пор являющегося незыблемым краеугольным камнем логистики, в нем нет ни слова про влияние на окружающую среду. На практике же все звенья логистической цепочки (производитель, потребитель, транспорт, склад и ряд посредников владеющих товаром или транспортным процессом) накладывают на задачу ряд своих ограничений и имеют свои оптимизационные параметры [5]. Для решения этой проблемы стали использоваться понятия системного подхода: общих затрат, финансовых обменов и подоптимизации. Функционалом при таком подходе становится минимизация общих издержек всех участников логистической цепочки при фиксированном

объеме обслуживания. Разновидность такой задачи может быть максимизация прибыли тех же участников, при ограничениях фиксированного объема. Пионерами внедрения в такой системный подход аспектов социальной, экологической и даже политической составляющей стали крупные европейские транспортные компании, назвав это направление логистикой общей ответственности. К сожалению, надо отметить, что современная глобальная тенденция изоляционизма в корне ломает принципы логистики общей ответственности, основанные на унификации технических средств транспортировки и выполнения погрузо-разгрузочных работ, документооборота, стандартизации, финансового и юридического сопровождения товародвижения в международном сообщении [6].

Заключение

Остаётся только надеяться, что общая потребность в сохранении и рациональном использовании природных ресурсов заставит вернуться и развить теории оптимизации с максимальным количеством участников товародвиженческих операций при условии минимизации негативного влияния на окружающую среду.

Список литературы

- [1] *Попов А.Т., Либерман Б.А.* Качество организации транспортных потоков и экология // Сахаровские чтения 2017 года: Экологические проблемы XXI века. Материалы 17-й международной научной конференции в 2-х частях. Под общей редакцией С.А. Маскевича, С.С. Позняка . 2017. С. 78-79.
- [2] *Багдасарян М.С., Богачев А.Е.* Исследование возможностей контейнеризации отгрузки готовой продукции ПАО НЛМК при расширении контейнерной площадки // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета посвящается 60-летию Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. Липецк, 2016. С. 223-225.
- [3] *Орлов А.С, Либерман Б.А.* Инновационные технологии в сфере транспорта. Инновации в позиционировании самоходного подвижного состава// Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета Часть 2, Липецк, Липецкой государственный технический университет 2016 г. С. 283-285.
- [4] *Либерман Б.А.* Экологические проблемы в науке и образовании // «Современные проблемы транспортного комплекса России» №1(7) том 6, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск 2016 г. С. 25-28.
- [5] *Гришина Д.О., Ковалевская А.А., Малахов А.И.* Некоторые аспекты безопасности на железной дороге // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 80-81.
- [6] *Либерман Т.И., Либерман Б.А.* Программные инструменты финансирования экологических мероприятий в регионе // Сборник: сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 18-й международной научной конференции. под общей редакцией С. А. Маскевича, С. С. Позняка. Минск 2018. с. 59-60.

УДК 656.2

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**ECONOMIC EVALUATION OF IMPROVEMENTS
IN ROLLING STOCK UTILIZATION**

Малахов Алексей Иванович, Богачев Аркадий Евгеньевич
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Alexey Malakhov, Arkady Bogachev
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются основные показатели использования железнодорожного подвижного состава, показан пример расчёта экономического эффекта их качественного улучшения.

Ключевые слова: *экономическая оценка, подвижной состав, нагрузка вагона*

Abstract

The article describes the main indicators of the use of railway rolling stock, calculated the economic effect of their qualitative improvement.

Key words: *economic valuation, rolling stock, load of railcar.*

Введение

Существенное влияние на основные параметры эксплуатационной работы железнодорожного транспорта оказывает улучшение показателей качества работы вагонов.

Наиболее значимое влияние они оказывают на снижение эксплуатационных расходов. Для того, чтобы оценить экономический эффект от улучшения качественных показателей работы подвижного состава необходимо учитывать не только как влияют изменения показателей на эксплуатационные расходы и потребность транспорта в капитальных вложениях, но и те дополнительные расходы, которые необходимы для достижения желаемого результата:

$$\Delta \varepsilon_{\text{п}} = (\Delta C_{\text{э}} - \Delta C_{\text{доп}}) + (\Delta K_{\text{э}} - \Delta K_{\text{доп}}) \cdot \varepsilon_{\text{н}} \quad (1)$$

где $\Delta \varepsilon_{\text{п}}$ – полный экономический эффект от улучшения конкретного показателя работы подвижного состава; $\Delta C_{\text{э}}$ – экономия эксплуатационных расходов; $\Delta C_{\text{доп}}$ – дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с улучшением показателя; $\Delta K_{\text{э}}$ – сокращение капитальных вложений в подвижной состав; $\Delta K_{\text{доп}}$ – дополнительные инвестиции, которые привлекаются для реализации мероприятий по улучшению показателей работы подвижного состава. Это затраты, связанные с модернизацией подвижного состава для достижения лучшей модификации, на усиление верхнего строения пути, устройств инфраструктуры, повышение уровня механизации работ и др.; $\varepsilon_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности капитальных затрат [1].

Дополнительные мероприятия, проводимые для достижения улучшения показателей работы подвижного состава не всегда сопровождаются увеличением затрат, в частно-

сти, если эти мероприятия имеют организационный характер. Достижение значимого экономического эффекта от улучшения использования подвижного состава происходит за счет экономии эксплуатационных расходов, что доказывают многочисленные расчеты.

Метод расходных ставок, как наиболее точный, используется при оценке влияния качественных показателей на расходы. Важную роль играет систематизированная оценка факторов, влияющих на улучшение показателей эксплуатационной работы, определение путей улучшения работы этих факторов, что диктуется необходимостью экономического обоснования анализа возможности и целесообразности их улучшения.

1. Повышение статической нагрузки вагона

Уровень использования вместимости и грузоподъемности вагона в момент погрузки определяет статическая нагрузка вагона.

На среднюю статическую нагрузку вагона влияет структура перевозимых грузов, выбор способов загрузки вагонов, способность рационального использования вагонного парка, дополнительная подготовка вагонов под погрузку [2].

Перевозимые грузы дифференцируются по плотности, объемности, специфике габаритов. Оптимальное использование грузоподъемности вагона достигается за счет грузов, имеющих более высокую плотность веса, в то же время объемные и габаритные грузы приводят к снижению статической нагрузки. Структура грузов, как объективный фактор, не зависит от железнодорожного транспорта. Использование оптимальных решений для загрузки вагонов в зависимости от структуры перевозимых грузов – основная задача транспорта [5].

Выбор рациональных способов загрузки вагонов способствует повышению средней статической загрузки вагонов:

- методов с уплотненной загрузкой: пакетирование, предварительная разборка объемных грузов, оптимальная упаковка грузов;
- методы с предварительной обработкой сырьевых грузов для снижения лишнего веса: обогащения, обезвоживания, брикетирования, прессования.

Необходимость дополнительной подготовки вагонов под погрузку предусматривает установление стоек и наращивание бортов на платформах и полувагонах для организации погрузки с «шапкой» в пределах допустимых габаритов перевозки. Максимальную эффективность показывает этот способ при перевозке леса и некоторых видов навалочных грузов, что позволяет повысить загрузку вагонов на 20-30%. При перевозке мелких отправок в крытых вагонах и контейнерах дополнительная подготовка подвижного состава включает установление стоек и перекладин для многоярусной погрузки грузов.

Стремление к рациональному распределению вагонного парка под погрузку включает использование специализированных вагонов: думпкаров, цементовозов, муковозов и др. для перевозки специфичных и сыпучих грузов. Необходимо учитывать объемную массу грузов при распределении подвижного состава под погрузку. Так, например, использование полувагонов при перевозке руды или угля позволяет увеличить статическую нагрузку в 1,25-1,5 раза по сравнению с использованием для этих целей платформ. При перевозке же лесных грузов (с учетом их разномерности по длине) в платформах средняя статическая нагрузка вагона будет на 10-15% выше, чем при их перевозке в полувагонах [3, 8].

Повышение статической нагрузки вагона позволит:

- сократить рабочий парка вагонов;
- уменьшить пробег подвижного состава;
- снизить объем работы подвижного состава в тонно-километрах брутто при тех же размерах грузооборота;
- повысить массу грузового поезда при той же его длине, что особенно важно для организации перевозочной работы транспорта при ограничении длины приемоотправочных путей станций.

Экономический эффект от повышения статической нагрузки вагона в общем виде определяется экономией эксплуатационных расходов:

$$\Delta \text{Э}_{\text{Р}_{\text{ст}}} = \sum \text{Р}_{\text{пер}} \cdot \left(\frac{1}{\text{Р}'_{\text{ст}}} - \frac{1}{\text{Р}_{\text{ст}}} \right) \cdot l_g \cdot c_{\text{зав}} \quad (2)$$

где $\sum \text{Р}_{\text{пер}}$ – объем перевозки грузов, т; $\text{Р}_{\text{ст}}$ и $\text{Р}'_{\text{ст}}$ – статическая нагрузка вагона до и после ее повышения, т ваг.; l_g – длина участка или средняя дальность перевозки, км; $c_{\text{зав}}$ – себестоимость 10 ткм в зависящей части, р./10 ткм.

При экономической оценке повышения статической нагрузки также могут быть определены конкретные составляющие экономии средств: экономия расходов на содержание и приобретение вагонного парка; экономия расходов на маневровую работу на станциях; сокращение расходов на поездную работу подвижного состава [6].

2. Повышение динамической нагрузки вагона

Для характеристики использования вагонов в процессе их движения используется термин динамическая нагрузка. С помощью этого термина можно охарактеризовать использование рабочего парка вагонов и парка груженых вагонов. Динамическая нагрузка груженого вагона взаимосвязана и зависит от уровня статической нагрузки на вагон:

$$\text{Р}_{\text{дин}}^{\text{гр}} = \frac{(\text{Р}_{\text{ст}} \cdot l_{\text{д}} \cdot K_{\text{т/э}})}{l_{\text{гр}}} \quad (3)$$

где $\text{Р}_{\text{ст}}$ – статическая нагрузка вагона, т/ваг.; $l_{\text{д}}$ – средняя дальность перевозок, км; $l_{\text{гр}}$ – груженный рейс вагона, км; $K_{\text{т/э}}$ – коэффициент соотношения тарифных и эксплуатационных тонно-километров.

Взаимосвязь статической и динамической нагрузки обуславливает наличие общих влияющих факторов, таких как :

- степень использования грузоподъемности вагона в момент погрузки;
- структура грузопотока на участках сети: соотношение легковесных и тяжеловесных грузов;
- состав вагонного парка, используемого в перевозках: доля вагонов, имеющих высокую грузоподъемность, и специализированных вагонов; использование вагонов с высокой грузоподъемностью ведет к увеличению динамической нагрузки рабочего и груженого вагона, применение специализированных вагонов влияет на динамическую нагрузку рабочего вагона и при наличии значительного порожнего пробега таких вагонов может привести к снижению показателя;
- средняя дальность пробега грузов: между средней дальностью перевозок и динамической нагрузкой груженого вагона существует прямая зависимость.

Экономический эффект от повышения динамической нагрузки вагона складывается

из следующего.

– увеличение массы перевозимых грузов нетто при той же работе дороги или отделения в тонно-брутто.

– экономия эксплуатационных расходов при увеличении динамической нагрузки происходит по многим составляющим: сокращаются расходы энергетических ресурсов; снижаются затраты на оплату труда локомотивных и ремонтных бригад подвижного состава, амортизационные отчисления, материалы; затраты на маневровую работу на станциях.

Расчеты показывают, что увеличение динамической нагрузки на 1 % при прочих равных условиях позволяет снизить себестоимость перевозок на 0,3–0,35 %.

2. Увеличение средней массы грузового поезда

Следует различать массу грузового поезда нетто Q_n , которая учитывает чистый вес груза в составе, и массу грузового поезда брутто $Q_{бр}$ – с учетом веса тары вагонов.

Нормативная масса грузового поезда брутто устанавливается в графике движения поездов, используется при расчете пробега поездов и формировании ниток графика движения поездов. Ее величина зависит от следующих факторов:

- длины приемоотправочных путей станций на участках дороги;
- состояния верхнего строения пути (профиль пути, текущее состояние и мощность элементов верхнего строения пути);
- мощности и технического состояния используемых локомотивов.

На величину средней массы грузового поезда также влияют:

- состав вагонного парка и его структура по типам вагонов (влияние на удельную сопротивляемость вагонов движению);
- степень использования грузоподъемности вагонов (статическая и динамическая нагрузки вагонов);
- доля порожних вагонов в поезде;
- методы вождения локомотивов (особенно важно при движении тяжеловесных поездов).

При определении экономического эффекта от повышения массы грузового поезда следует учитывать пути достижения результата. Если повышение веса поезда происходит за счет использования более мощных локомотивов или усиления верхнего строения пути, то при определении обобщенного экономического результата следует учитывать затраты на приобретение нового подвижного состава или усиление материалов верхнего строения пути [4].

Если вес поезда увеличивается за счет лучшего использования грузоподъемности вагонов, то экономический эффект формируется за счет экономии эксплуатационных расходов.

Повышение веса поезда является одной из наиболее эффективных мер сокращения перевозочных ресурсов транспорта. Это обеспечивает снижение эксплуатационных расходов, связанных с пробегом подвижного состава и обеспечивает экономию расходов на топливо или электроэнергию для тяги поездов [7].

Список литературы

- [1] *Попов А.Т., Малахов А.И.* Влияние основных параметров перевозочного процесса на доход операторской компании // Железные дороги мира: Научно-технический журнал, 2006, № 11, ISSN 0321-1495
- [2] *Минина И.В., Малахов А.И.* Инновационные грузовые вагоны повышенной грузоподъемности // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 189-191.
- [3] *Шуленина Е.А., Сулова О.А., Малахов А.И.* Перевозки грузов с использованием нескольких видов транспорта // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 188-189.
- [4] *Либерман Б.А.* Экологические проблемы в науке и образовании // «Современные проблемы транспортного комплекса России» №1(7) том 6, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск 2016 г. С. 25-28.
- [5] *Гришина Д.О., Ковалевская А.А., Малахов А.И.* Некоторые аспекты безопасности на железной дороге // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 80-81.
- [6] *Кривчикова Е.С., Малахов А.И., Богачев А.Е.* Альтернатива маневровому транспорту // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 164-166.
- [7] *Шелякина И.С., Сулова О.А., Малахов А.И.* Бережливое производство как метод сокращения оборота вагонов // Тенденции развития современной науки. Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. Ч.2. Липецк, 2017. С. 690-692.
- [8] *Хахишвили Ю.А., Попов А.Т., Малахов А.И.* История развития хопперов // Транспорт. Тенденции развития современной науки. Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2018. С. 142-144.

УДК 625.032.32

**КОНТРОЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ - КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛУБРИКАТОРОВ НА ПУТЯХ
ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**OF FRICTION COEFFICIENT CONTROL AS A WAY TO ASSESS THE
EFFECTIVENESS OF THE LUBRICATORS ON TRACKS OF INDUSTRIAL
RAILWAY TRANSPORT**

Малахов Максим Вячеславович

*Петербургский Государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

Maxim Malahov

Emperor Alexander I State Transport University, St. Petersburg, Russia

Аннотация

Одной из проблем промышленного ж.д. транспорта является повышенный боковой износ рельсов. Применяемые технологии лубрикации позволяют значительно снизить этот показатель. Предлагаемый подход с помощью оперативного контроля коэффициента трения в защищаемой зоне позволит значительно сократить сроки оценки эффективности внедрения и использования лубрикаторов.

Ключевые слова: боковой износ, лубрикатор, коэффициент трения, трибометр

Abstract

One of the problems of industrial railway transport is the increased lateral wear of the rails. The applied technologies of lubrication allow to reduce this figure. The proposed approach to using the operational control of the coefficient of friction with the protected zone will significantly reduce the time to assess the effectiveness of the introduction and use of lubricators.

Key words: lateral wear, lubricator, friction coefficient, tribometer

Условия эксплуатации железнодорожного транспорта промышленного предприятия обусловлены как сферой его деятельности, так и ограниченностью площадей для расположения подъездных и внутризаводских путей, стесненностью размещения объектов железнодорожной инфраструктуры. Все это определяет специфические особенности работы промышленных железных дорог – большая доля кривых малых радиусов в общем километраже развернутой длины подъездных путей, низкие скорости, повышенные осевые нагрузки и ряд других [1].

Для промышленных железных дорог особое значение имеет проблема высокой интенсивности бокового износа рельсовых нитей при движении подвижного состава в криволинейных участках пути. При движении в кривых, происходит увеличение, по сравнению с прямолинейными участками, силы трения гребня колеса о боковую грань рельса по причине дополнительного горизонтального воздействия на рельс за счет цен-

тробежной силы. При этом происходит наложение процессов качения и проскальзывания в точках контакта вследствие набегания реборды на рельс. Гребень колеса скользит по боковой грани головки рельса при одновременном качении бандажа по ее поверхности катания. В результате в зоне контакта гребня и боковой поверхности головки рельса происходит рост напряжений сдвига, которые значительно больше напряжений в зоне качения, и, как следствие, появляется повышенный износ рельса. Процессы износа гребней колес и бокового износа рельсов имеют взаимно кумулятивный эффект, т.е., изношенные гребни колес усиливают боковой износ головок рельсов, а рельсы с увеличенным боковым износом еще интенсивнее изнашивают гребни колес [2].

Основными факторами, оказывающими влияние на интенсивность износа в кривых, являются:

- радиусы криволинейных участков пути;
- места расположения кривых (на подъеме, площадке или спуске);
- фактические осевые нагрузки;
- расчетные скорости движения;
- климатические условия района;
- конструкция обращающегося на участке подвижного состава, т.е.

интенсивный износ в системе «колесо – рельс» обусловлен силами трения, возникающими в зоне контакта, и является объективным процессом [1].

За последние десятилетия в нашей стране и за рубежом проводились исследования по практической и теоретической оценке различных методов снижения бокового износа рельсовых нитей на железнодорожном транспорте. Одним из наиболее эффективных способов защиты от повышенного износа гребней колес и боковых поверхностей головок рельсов признана лубрикация контактных поверхностей. За счет уменьшения сил сопротивления движению экипажа по рельсам, лубрикация снижает расход топливно-энергетических ресурсов на тягу, повышает ресурс колес и рельсов, снижает вероятность схода вследствие "вползания" гребня колеса на головку рельса, улучшает экологические показатели, в частности, снижается уровень шума на площадках промышленных предприятий в зонах размещения железнодорожной инфраструктуры [2].

Цикл исследований на путях промышленных предприятий работы стационарных комплексов лубрикации «СПРУТ», проведенные специалистами ФГБОУ ВО ПГУПС в течение 2010-2012гг, подтвердили результативность использования технологии смазки в криволинейных участках железнодорожных путей для снижения бокового износа.

Так в результате работы рельсосмазывателя «СПРУТ-02» на путях ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» на кривой $R=350$ м интенсивность износа боковой грани головки наружного рельса снизилась: в "сухой" период — в 4,32-6,39 раза, в период интенсивных осадков — в 2,23-3,04 раза. На кривой $R=430$ м интенсивность износа боковой грани головки наружного рельса в дождливый период снизилась в 2,13-3,09 раза [3].

Отмечено, что естественная смазка (снег, дождь) снижает интенсивность бокового износа рельсов в 2 раза. Вместе с тем, эффект от искусственной лубрикации даже во влажных погодных условиях сохранился.

Продолжительность исследований по каждому из участков составляла не менее полугода, что диктовалось необходимостью сбора достаточного объема статистических данных абсолютных значений бокового, вертикального и приведенного износа головки рельса, в т.ч. с учетом погрешности измерительной аппаратуры, интенсивности износа и т.п.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что интенсивность бокового износа описывается зависимостью [3]:

$$\Delta h = A \cdot \mu, \quad (1)$$

где: μ - коэффициент трения на боковой рабочей поверхности рельса;

A - расчетный коэффициент, введенный для упрощения расчетов.

$$A = \beta \cdot \theta \cdot 1000 g \cdot d \cdot P \cdot \sec \tau, \quad (2)$$

где: β - коэффициент, учитывающий качество рельсовой стали; для "сырых" рельсов $\beta = 1,00$; для термоупрочненных — 0,50-0,66; θ - фактор износа; d — высота гребня колеса, мм; P - осевая нагрузка, тс; τ - угол наклона рабочей поверхности гребня колеса к горизонту.

При характерной для промышленного транспорта однородности вагонного и локомотивного парков, а также при применении метода к конкретному объекту исследования (кривой) с постоянными геометрическими и конструктивными параметрами можно предположить, что эффективность лубрикации $K_{ии}$ пропорциональна изменению коэффициента трения на исследуемой боковой поверхности.

$$K_{ии} = \frac{\mu}{\mu_{смаз}}, \quad (3)$$

где: $\mu_{смаз}$ - коэффициент трения на боковой рабочей поверхности рельса после нанесения лубриканта.

Тогда для выявления эффективности лубрикации достаточно определить фактический коэффициент трения.

Определение фактического коэффициента трения производится с помощью трибометров - приборов для измерения силы трения на поверхности рельсов. Примером такого прибора может служить портативный рельсовый трибометр, выпускаемый ООО ПК МЕЛИОР (РБ, Витебск). Трибометр замеряет силу трения между колесом и рельсом и а?? вычисляет коэффициент трения. Цифровое значение коэффициента трения отображается на ЖК дисплее. Трибометр состоит из измерительного устройства, аккумуляторной батареи и зарядного устройства батареи. Для работы с трибометром необходим один оператор. Для измерения трибометр размещается на рельсе, включается питание и оператор начинает движение вдоль рельса, перемещая измерительную головку. Цикл измерения начинается при превышении скорости перемещения значения 0,5 км/час. Колебания скорости движения оператора компенсируются алгоритмом вычисления и практически не влияют на результат измерения. Емкость аккумуляторной батареи трибометра обеспечивает его непрерывную работу в течение не менее 4 часов. Внешний вид прибора показан на рис.1.



Рисунок 1. Трибометр рельсовый производства ООО ПК МЕЛИОР.

Прибор позволяет производить измерения коэффициента трения в диапазоне от 0,05 до 0,75 с погрешностью 3 %, что попадает в необходимый диапазон коэффициентов трения в паре колесо - рельс – (0,1 - 0,45) [3,4].

Использование прибора позволит значительно сократить сроки оценки эффективности работы лубрикационных комплексов, а, при необходимости, и осуществлять корректировку настроек установленных комплексов в эксплуатации, причем как стационарных, так и локомотивных. Для этих целей достаточно включить контроль коэффициента трения на рабочих поверхностях рельсовых нитей в регламент работ при текущем содержании путей.

Список литературы

- [1] Малахов М.В. "Анализ методов уменьшения бокового износа рельсов на путях промышленного транспорта" Промышленный транспорт XXI век 2016 - №3-4.
- [2] Мелентьев Л.П. "Влияние дефектов подвижного состава на путь". Путь и путевое хозяйство. №11 - 1998.
- [3] Башлыков А.В., Дудкин Е.П., Малахов М.В., Чернядьев В.В. "Повышение эффективности лубрикации на промышленных железных дорогах" Наука и транспорт. №3 - 2012. СПб.
- [4] <https://meliop.bel/g353735-produktsiya-zheleznodorozhnogo-naznacheniya>.

УДК 625.71

**УЛУЧШЕНИЕ СЕТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
(НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**IMPROVING THE NETWORK OF MUNICIPAL ROADS (ON THE EXAMPLE OF
LENINGRAD REGION)**

Пегин Павел Анатольевич, Ильин Алексей Анатольевич
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора
Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

Alexey Ilyin, Pavel Pegin
Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Аннотация

Анализ существующих и ввод новых параметров для оценки состояния сети муниципальных автомобильных дорог.

Ключевые слова: *сеть автомобильных дорог, протяженность дорог муниципального и местного значения, оценка состояния транспортной сети, плотность дорожной сети.*

Abstract

Analysis of existing and introduction of new parameters to assess the state of the network of municipal roads.

Key words: *road network, length of municipal and local roads, assessment of the transport network, density of the road network.*

Введение

В 2013 году постановлением правительства Ленинградской области № 397 была утверждена государственная программа Ленинградской области «Развитие дорог Ленинградской области» в соответствии с которой протяженность автомобильных дорог составляющих муниципальную сеть должна составить 20889 км. Увеличение протяженности автомобильных дорог неизбежно повлечет за собой изменение ряда параметров, таких как: протяженность сети, плотность сети и интенсивность движения, как по всей сети, так и по её отдельным участкам. При оценки измененной сети муниципальных автомобильных дорог Ленинградской области необходимо учитывать этих параметров.

Дополнительно, с целью её улучшения, предлагается учитывать ряд параметров:

- Протяженность автомобильных дорог (регионального и федерального значения);
- Протяжённость железнодорожных путей общего пользования;
- Наличие водных сетей;
- Наличие аэропортов;
- Наличие автовокзалов и автостанций;
- Наличие транспортных узлов.

При учете существующих и вновь введенных параметров, оценка сети будет более полной, что позволит улучшить транспортную оценку муниципальных районов, входящих в состав Ленинградской области.

В соответствии со статьей 8 Федерального закона «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» критерии отнесения автомобильных

дорог общего пользования к автомобильным дорогам общего пользования регионального или межмуниципального значения и перечень автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения утверждаются высшим исполнительным органом государственной власти субъекта Российской Федерации». На сегодняшний день, в Ленинградской области движение автотранспорта осуществляется по 928 дорогам регионального значения [2].

В ноябре 2013 года правительством Ленинградской области принята государственная программа «Развитие дорог Ленинградской области», согласно которой к 2024 году протяженность дорог муниципального и местного значения должна увеличиться на 63 километра и составить 20889 км (рисунок 1) [3].

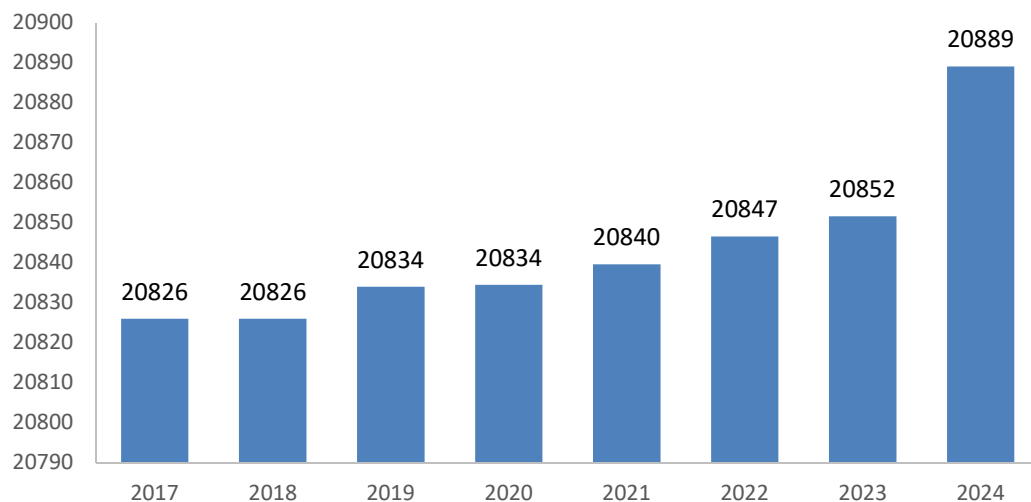


Рисунок 1 - Протяженность сети автомобильных дорог Ленинградской области общего пользования (муниципального и местного значения)

В существующих методиках наиболее часто, для оценки состояния транспортной сети региона и обеспечение транспортной доступности населения используют такие параметры как - плотность (густота) путей сообщения (формула 1), плотность (густота) сети (формула 2), коэффициент Энгеля (формула 3) [4]:

$$P_s = \frac{L_э}{S} \cdot 1000, \quad (1)$$

где $L_э$ – эксплуатационная длина дорог, км; S – площадь территории региона, км²;

$$P_n = \frac{L_э}{H} \cdot 10000, \quad (2)$$

где H – численность населения;

$$K_э = \frac{L_э}{\sqrt{S \cdot H}}. \quad (3)$$

Для объективных оценок сети муниципальных автомобильных дорог необходимо ввести дополнительные параметры и проанализировать факторы, наиболее сильно влияющие на её формирование.

Следует отметить тот факт, что «Ленинградская область представляет собой гармоничное соединение культурно-исторической среды и разнообразного природного ландшафта» Протяженность Ленинградской области с севера на Юг составляет порядка 320 км с запада на восток порядка 500 км. Территориально она расположена на Восточно-Европейской равнине. Крупнейшими возвышенностями являются: Лемболовская, Ижорская, Лодейнопольская, Вепсовская и Тихвинская гряды. По берегам Финского залива и

Ладожского озера, а также в долинах крупных рек расположены низменности. Совокупность данных элементов рельефа и ландшафта повлияла на формирование сети дорог Ленинградской области.

Исторически территория современной Ленинградской области входила в состав Водской, Шелонской и Обонежской пятин Новгородской феодальной республики [6]. Формирование существующей сети автомобильных дорог шло параллельно с развитием её территории. На границе своих владений для защиты Новгородцами были построены города-крепости: Копорье, Орешек, Корела, Ям, Ивангород. Соединялись эти города с Новгородом с помощью дорог, проложенных вдоль русел рек.

Северная война дала толчок в развитии дорог Санкт-Петербургской губернии. «Первоочередной задачей Петр I считал налаживание бесперебойного сообщения Санкт-Петербурга с центральными районами страны, и прежде всего с Москвой» По решению Петра I в 1705 году начались геодезические работы на существующем тракте Москва-Санкт-Петербург с целью улучшения её проектного положения.

На ряду со строительством «главной дороги», особое внимание уделялось строительству дорог к царским резиденциям Петергофу и Царскому селу.

Перечень основных Шоссейных дорог находившееся в ведении Санкт-Петербургского земства на начало XX века включал в себя 11 участков (таблица 1) [6].

Таблица 1 – Перечень основных Шоссейные дорог находившееся в ведении Санкт-Петербургского земства на начало XX века.

Название шоссе или его конечные пункты	Время начала строительства	Протяженность в верстах
Красное Село-Ропша	1848	11,27
Красное Село - Стрельна	1845-1888	11,54
Красное Село – Кипень	1848	13,26
Мыза Знаменская - Ропша	1842	13,13
Нарва - Кипень	1863	99,04
Стрельно-Кипень	1845-1888	23,5
Стрельно-Петергоф	1845-1888	7,0
Царское село- Петергоф	1846	23,48
Гатчина-Кипень	1887	18,39
Колпино-Ям ижора	1845-1888	4,8
Царское Село - Гатчина	1845-1888	18,36

Исторически сложилось так, что к началу XX века была сформирована «опорная сеть» автомобильных и железных дорог Ленинградской области.

В целом на формирование автомобильных сети Ленинградской области повлияло её положение по отношению к Санкт-Петербургу, который является крупным транспортным узлом сухопутных, речных, морских и воздушных путей сообщения. Общая протяженность путей на территории Ленинградской в пять раз выше, чем в среднем по стране и составляет порядка 3 тыс. км [7].

Плотность сети автомобильных дорог в западных районах области больше по сравнению с восточными районами.

Плотность дорожной сети выше, чем средняя по стране в 4 раза [7].

Для оценки сети муниципальных дорог, на основе взаимодействия с другими транспортными путями (железнодорожным, водным и воздушными), имеющимися в регионе,

предлагается использовать следующие параметры:

1. Протяженность автомобильных дорог (регионального и федерального значения);
2. Протяжённость железнодорожных путей общего пользования;
3. Наличие водных сетей;
4. Наличие аэропортов;
5. Наличие автовокзалов и автостанций;
6. Наличие транспортных узлов;

Введение новых параметров оценки существующей сети муниципальных автомобильных дорог позволит определять перспективы развития муниципальных образований Ленинградской области.

В настоящее время улучшение сети муниципальных автомобильных дорог производится административным путем на территории одного муниципального района. Применение метода, основанного на комплексной оценке всех типов транспортных узлов, расположенных как на территории муниципального образования, так и за его пределами в зоне влияния позволит улучшить сеть автодорог.

Список литературы

- [1] Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации [Текст]: федер. закон от 08 ноября 2007г. (ред.от 03.августа 2008 года). - (http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72386/80895977dd531939f3c1d5b4e9f3abc41f78dd99/).
- [2] О внесении изменения в постановление правительства ленинградской области от 27 ноября 2007 года n 294 "Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального значения" [Текст]: постановление правительство ленинградской области от 15 сентября 2017 года № 371. – (<http://docs.cntd.ru/document/436766893>).
- [3] Об утверждении государственной программы Ленинградской области «Развития дорог Ленинградской области» [Текст]: постановление правительство ленинградской области от 14 ноября 2013 года № 397 (ред. от 11 ноября 2014, 30 мая 2014 года, 31 октября 2014 года, 18 февраля 2015 года, 16 июня 2015 года, 12 октября 2015 года, 30 декабря 2015 года, 02 августа 2016 года, 23 декабря 2016 года, 12 мая 2017 года, 19 июля 2017 года). ([http:// docs.pravo.ru/ document/view/55674269/ /?not_paid_redirect=1](http://docs.pravo.ru/document/view/55674269/?not_paid_redirect=1)).
- [4] *Строева, Г. Н., Слободчикова Д. В.* Обеспечение транспортной доступности населения как важное направление социально-экономического развития региона, Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2016, Том7. №4.С.673-679.
- [5] *Первушина Е.В.* Ленинградская область. История. Культура. Традиции. – СПб.: Изд-во «паритет», 2017.-384 с.: ил.
- [6] Дороги Ленинградской области [Текст]: Историко-документальное издание. - СПб, Лики России, 2004. -216 страниц.
- [7] *Даринский А.В., Фролов А.И.* География Ленинградской области.-СПБ.: Издательство «Глагол», 2008.-128с.:ил.

УДК 656.225

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРИЗАВОДСКИХ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ДИНАМИКЕ**

**MODELING OF THE SYSTEM OF ORGANIZATION OF INTRAFACORY
TRANSPORT FLOWS IN DYNAMICS**

Попов Алексей Тимофеевич, Сулова Ольга Анатольевна,
Воронина Ольга Вадимовна

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Aleksey Popov, Olga Syslova, Olga Voronina
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В представленной работе проанализированы проблемные вопросы существующей организации внутризаводских перевозок, приводится описание предложенной модели организации внутризаводских перевозок, в основу которой принята динамическая транспортная задача с задержками; рассмотрены трудности адаптации аппарата динамической транспортной задачи с задержками для решения вопроса усовершенствования системы организации перевозок по контактному графику, показан механизм использования предложенной модели.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, внутризаводские перевозки, контактный график, динамическая транспортная задача с задержками, организация перевозок.*

Abstract

In the presented work, problematic issues of the existing organization of in-plant shipments are analyzed, a description of the proposed model of organization of intra-plant shipments, which is based on a dynamic transport problem with delays, is presented; the difficulties of adapting the dynamic transport task apparatus with delays to solve the problem of improving the organization of transportation by the contact schedule are shown, the mechanism of using the proposed model is shown.

Key words: *railway transport, intrafactory transportation, contact schedule, dynamic transport task with delays, transportation organization.*

Введение

Внутризаводские перевозки крупных металлургических комбинатов спланированы, организованы и функционируют по контактному графику [1, стр. 29]. Методика расчёта контактного графика предполагает, что производственные процессы на предприятии по критериям интервалов времени и количества выпускаемой продукции стабильны и ритмичны. Однако, как показали исследования авторов, представленные в работах [1-7], в реальной действительности это не так. «Неравномерность основного производства проявляется в колебаниях объемов производства и потребления продукции, в отклонениях

начала и окончания грузовых операций от заданных временных параметров» [1]. В результате значение фактической величины времени полного технологического оборота Q_B больше расчетного (из-за смещений во времени начала и окончания грузовых операций). Использование коэффициента неравномерности в перевозках j -го типа груза K_H^j при расчёте контактного графика способствует тому, что расчёт производится на равномерные грузопотоки, увеличенные в K_H^j раз, без учёта колебаний объемов производства продукции и потребления сырья производственными цехами [1]. И, как следствие, возникает необходимость в наличии запаса резервных порожних и груженых вагонов.

Описание модели организации внутривозовских перевозок

Динамическая транспортная задача с задержками (далее – ДТЗЗ), принятая в качестве математической модели организации внутривозовских перевозок, позволит получить оптимальный план перевозок, основной особенностью которого являются минимальные транспортно-производственные расходы, состоящие из стоимости на транспортировку грузов, их хранение и потерь из-за несвоевременного прибытия груженых или порожних вагонов в зависимости от потребности цехов-потребителей.

В основу математической модели положена модификация ДТЗЗ, разработанная в работах [8-10]. Оптимальный план перевозок получим путем минимизации транспортных расходов при согласованных производственных программах цехов-поставщиков и цехов-потребителей $J = J_1 + J_2$.

$$J_1 = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y S_{ij}^*(t) \cdot v_{ij}^*(t) \cdot \Delta t + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^y S_j^B(t) \cdot X_j^B(t) \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$J_2 = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y S_{ji}^{**}(t) \cdot v_{ji}^{**}(t) \cdot \Delta t + \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^x S_i^A(t) \cdot X_i^A(t) \cdot \Delta t, \quad (2)$$

при условии соблюдения следующих ограничений:

1. динамики запасов порожних вагонов

$$X_i^A(t+1) = X_i^A(t) + \sum_{j=1}^y v_{ji}^{**}(t - t_{ji}) - Z_i^A(t);$$

2. динамики запасов груженых вагонов

$$X_j^B(t+1) = X_j^B(t) + \sum_{i=1}^x v_{ij}^*(t - t_{ij}) - Z_j^B(t);$$

3. процесса перехода порожних вагонов в вагоны с грузом

$$Z_i^A(t - t_{ii}) = \sum_{j=1}^y v_{ij}^*(t) \Leftrightarrow;$$

4. процесса перехода груженых вагонов в порожние

$$Z_j^B(t - t_{jj}) = \sum_{i=1}^x v_{ji}^{**}(t);$$

5. неотрицательности резервов и объемов подач

$$\begin{aligned} v_{ij}^*(t) &\geq 0; \\ t + t_{ij} &\leq T; \\ X_j^B(t) &\geq 0; \end{aligned}$$

$$v_{ji}^{**}(t) \geq 0 ;$$

$$t + t_{ji} \leq T ,$$

где: x - объемы производства цехов-производителей $A_i, i = \overline{1, x}$; y - объемы спроса цехов-потребителей $B_j, j = \overline{1, y}$; $v_{ij}^*(t)$ - количество вагонов с грузом, отправляемых из A_i и прибывающих в B_j в момент времени $(t + t_{ij})$, причем $t + t_{ij} \leq T$, период оптимизации $[0; T]$, $T \in Z_0, Z_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$; t_{ij} - продолжительность транспортировки от A_i до B_j ; $v_{ji}^{**}(t)$ - количество порожних вагонов, отправляемых из B_j и прибывающих в A_i в момент времени $(t + t_{ji})$, причем $t + t_{ji} \leq T$; t_{ji} - продолжительность транспортировки от B_j до A_i ; $S_{ij}^*(t)$ - затраты на транспортировку вагона с грузом от A_i до B_j ; $S_{ji}^{**}(t)$ - затраты на транспортировку порожнего вагона от B_j до A_i ; $S_j^B(t)$ - стоимость хранения единицы груза в момент времени t у j -го цеха-потребителя; $S_i^A(t)$ - стоимость хранения единицы подвижного состава в момент времени t у i -го цеха-поставщика; $Z_i^A(t)$ - требуемое количество порожних вагонов; $X_i^A(t)$ - резерв порожних вагонов на A_i ; $Z_j^B(t)$ - требуемое количество груженых вагонов; $X_j^B(t)$ - количество вагонов с грузом, находящихся в резерве на B_j ; t_{ii}, t_{jj} - технологические задержки (время погрузки/выгрузки, межоперационные простои) на A_i и B_j .

Из уравнений динамики запасов груженых вагонов и перехода порожних вагонов в вагоны с грузом следует, что $\sum_{j=1}^y \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_j^B(t) \leq \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \sum_{t=0}^{\delta-t_{ii}-t_{ij}} Z_i^A(t)$. Аналогично из уравнений динамики запасов порожних вагонов (3) и перехода груженых вагонов в порожние вагоны

получим
$$\sum_{i=1}^x \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_i^A(t) \leq \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \sum_{t=0}^{\delta-t_{ij}-t_{ji}} Z_j^B(t).$$

Из неравенств следует:

$$\sum_{i=1}^x \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_i^A(t) \leq \sum_{j=1}^y \left(\sum_{t=0}^{\min(t_{ij}, t_{ii})} Z_j^B(t) + \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_j^B(t) \right) \leq \sum_{j=1}^y X_j^B(0) +$$

$$+ \sum_{j=1}^y \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_j^B(t) \leq \sum_{j=1}^y X_j^B(0) + \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \sum_{t=0}^{\delta-t_{ii}-t_{ij}} Z_i^A(t)$$

$$\sum_{j=1}^y \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_j^B(t) \leq \sum_{i=1}^x X_i^A(0) + \sum_{i=1}^x \sum_{t=\min(t_{ij}, t_{ii})}^{\delta} Z_i^A(t) \leq \sum_{j=1}^y X_j^B(0) + \sum_{j=1}^y \sum_{i=1}^x \sum_{t=0}^{\delta-t_{ij}-t_{ji}} Z_j^B(t), \quad (4)$$

Неравенства (3) и (4) показывают условие наличия согласованной связи единого технологического процесса с производственными программами.

В случае, когда груженые или порожние вагоны поступают в пункт назначения без временных задержек $t_{jn} - t_{im} \geq t_{ij}$, транспортно-производственные расходы определим по формуле:

$$S(C(A_{im}, B_{jn})) = S_{ij} + S_j^X(t_{jn} - t_{im} - t_{ij}), \quad (5)$$

где: $C(A_{im}, B_{jn})$ – связи между цехами-поставщиками и цехами-потребителями; S_{ij} – стоимость транспортировки единицы подвижного состава от i -го цеха-производителя до j -го

цеха-потребителя; S_j^X - затраты на хранение единицы подвижного состава в течение единицы времени у j -го цеха-потребителя; $(t_{jn} - t_{im} - t_{ij})$ - время нахождения продукции в резерве; $(t_{jn} - t_{im})$ - интервал времени между моментом производства груза и моментом его потребления.

В случае, когда груженные или порожние вагоны поступают на фронт погрузки/выгрузки с опозданием на время $(t_{im} + t_{ij} - t_{jn})$, определим транспортно-производственные затраты по формуле:

$$S(C(A_{im}, B_{jn})) = S_{ij} + S_j^O(t_{im} + t_{ij} - t_{jn}), \quad (6)$$

где S_j^O - стоимость затрат j -го цеха-потребителя из-за несвоевременного прибытия единицы подвижного состава в единицу времени; $(t_{im} + t_{ij} - t_{jn})$ - время опоздания продукции к моменту спроса на неё.

В связи с тем, что объемы производства и потребления грузов цехами предприятия приняты в некоторых разрешенных диапазонах, а не в конкретных фиксированных значениях, это вызвало необходимость провести дополнительное исследование и рассчитать частоту осуществления подач вагонов на грузовые фронты с определенным фиксированным количеством вагонов в подаче (таблица 1). Для контактного графика № 36 отсева агломерата, окатышей на рисунках 1, 2 представлена частота осуществления подач вагонов с фиксированным количеством вагонов в подаче.

Таблица 1. Результаты расчета математического ожидания и среднего арифметического для вагонопотока доменного цеха № 2

№ графика	Наименование груза	Грузовая операция (погрузка/выгрузка)	Количество подач в сутки	Количество вагонов в подаче	Математическое ожидание	Среднее арифметическое
50 (ДП-6)	колошниковая пыль	погрузка	1	1÷3	1,75	2
50 (ДП-7)	колошниковая пыль	погрузка	1	1÷3	2,1	2
50 (ДП-6, 7)	колошниковая пыль	выгрузка	1	2÷6	2,4	2,5
50 (ДП-6)	аспирационная пыль	погрузка	2	1÷3	1,416	2
50 (ДП-7)	аспирационная пыль	погрузка	2	1÷3	2,186	3
50 (ДП-6, 7)	аспирационная пыль	выгрузка	1	4÷12	3,875	5
5 (ДП-6)	коксовые отходы	погрузка	4	1÷4	2,713	2,5
5 (ДП-7)	коксовые отходы	погрузка	6	2÷5	3,112	3
5 (ДП-6, 7)	коксовые отходы	выгрузка	2	8÷23	12,918	14,941
36 (ДП-6)	отсев агломерата, окатышей	погрузка	4	4÷8	4,683	5
36 (ДП-7)	отсев агломерата, окатышей	погрузка	6	5÷8	6,147	6
36 (ДП-6, 7)	отсев агломерата, окатышей	выгрузка	4	9÷15	9,796	9,5

Используемые в таблице 1 сокращения: ДЦ-2 – доменный цех № 2, ДП-6,7 – доменные печи № 6 и № 7.

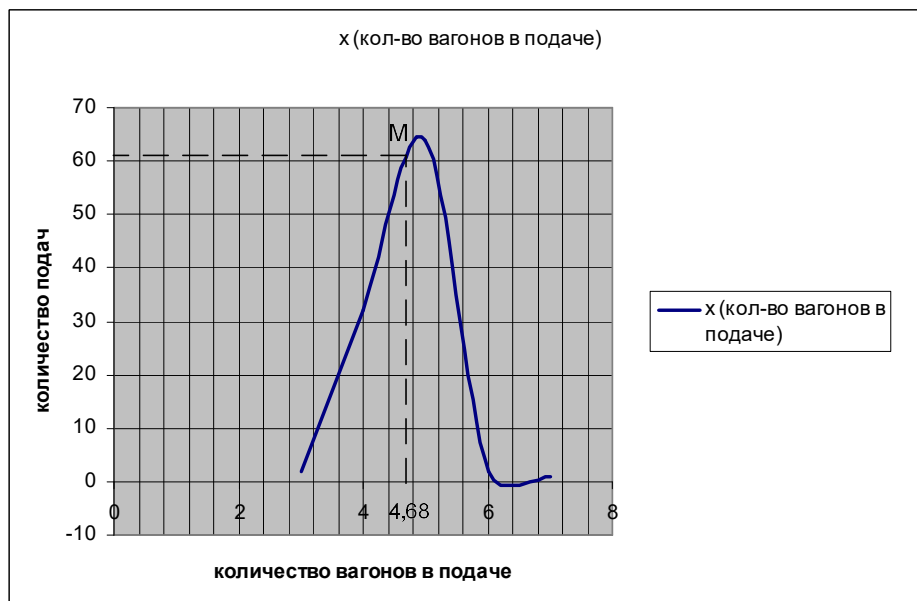


Рисунок 1. Выборка по актам сводкам для контактного графика № 36 отсев агломерата, окатышей с ДП-6 (ДЦ-2) при погрузке

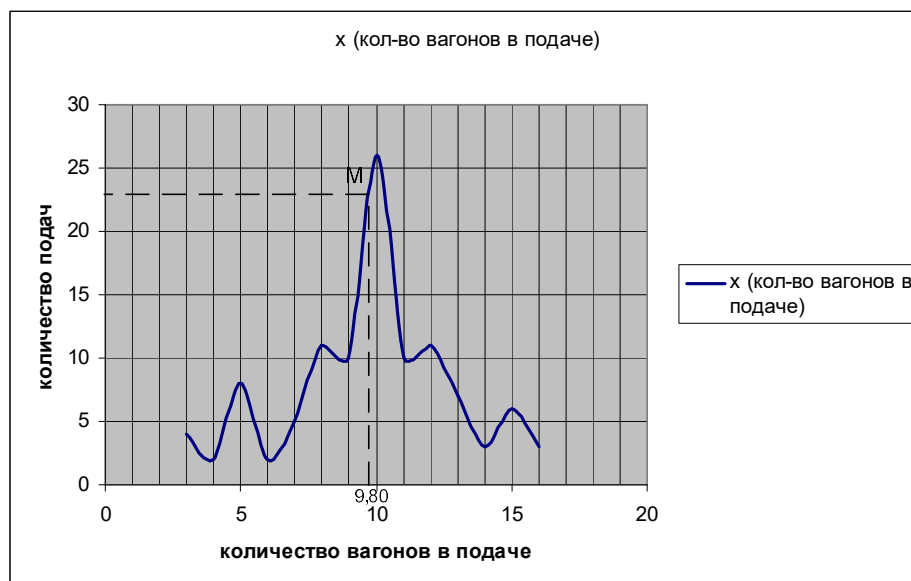


Рисунок 2. Выборка по актам сводкам для контактного графика № 36 отсев агломерата, окатышей с ДП-6, ДП-7 (ДЦ-2) при выгрузке

Полученные результаты

Расчет для порожнего грузопотока ДЦ-1 и ДЦ-2 (рассмотрены совместно) произведен с помощью программного комплекса «Динамическая транспортная задача с задержками» № 5735 от 21.02.2006, авторы разработки Попов А.Т., Гнедаш М.А.

Стоимость начального плана перевозок составила 11 101 879 руб. В процессе решения ДТЗЗ выполнено 123 итерации. Стоимость оптимального плана перевозок составила 4 554 169 руб.

Фрагмент оптимального плана представлен в таблице 2. Проанализировав полученный план, видим, что имеются случаи рассогласования производственных программ цехов-поставщиков и цехов-потребителей, связанные с несвоевременным прибытием погрузных вагонов на грузовые пути или с нахождением подвижного состава в ожидании погрузки на путях.

Таблица 2. Фрагмент оптимального плана перевозок

Поставщик	Потребитель	Объем перевозки	Время отправления	Время прибытия	Продолжительность доставки вагона (транспортная задержка)	Время опоздания	Время хранения	Стоимость Перевозки	Стоимость опоздания	Стоимость хранения	Общая стоимость
A4	B4	1	1	12	11	-	-	541	-	-	541
A4	B5	1	1	14	13	-	-	310	-	-	310
A4	B18	1	1	9	8	1	-	104	33888	-	33992
A4	B19	4	1	10	9	-	-	416	-	-	416
A6	B18	2	3	9	6	3	-	208	203328	-	203536
A6	B21	1	3	6	3	2	-	131	31500	-	31631
A7	B19	4	3	14	11	-	2	416	-	3048	3464
A7	B20	5	3	5	2	3	-	655	236250	-	236905
A7	B21	2	3	6	3	2	-	262	63000	-	63262
A8	B10	2	3	12	9	1	-	368	31000	-	31368
A8	B11	5	3	12	9	1	-	920	77500	-	78420
A8	B21	3	3	6	3	2	-	393	94500	-	94893
A9	B5	1	3	18	15	-	2	0	-	1100	1100
A9	B6	2	3	14	11	1	-	0	50000	-	50000
A9	B7	3	3	22	19	1	-	0	75000	-	75000
A9	B10	2	3	12	9	1	-	0	31000	-	31000
A3	B18	3	6	15	9	-	-	312	-	-	312
A3	B20	5	6	11	5	-	-	655	-	-	655
A3	B21	5	6	10	4	1	-	655	78750	-	79405
A4	B1	3	7	19	12	-	2	864	-	2526	3390
A4	B4	1	7	20	13	-	2	541	-	974	1515
A4	B5	2	7	22	15	-	2	620	-	2200	2820
A4	B19	3	7	18	11	-	2	312	-	2286	2598
A4	B21	1	7	10	3	2	-	131	31500	-	31631
A4	B21	2	7	14	7	-	2	262	-	936	1198
A8	B6	2	10	22	12	-	-	620	-	-	620
A8	B11	4	10	20	10	-	-	736	-	-	736
A8	B21	4	10	14	4	1	-	524	63000	-	63524
A9	B8	1	10	38	28	-	-	0	-	-	0
A9	B16	1	10	21	11	-	2	0	-	762	762
A9	B17	1	10	21	11	-	2	0	-	762	762

Заключение

Усовершенствование системы перевозок порожнего грузопотока по контактному графику с помощью ДТЗЗ позволило отказаться от строгого закрепления вагонов за конкретной перевозкой, подача порожних вагонов осуществляется наиболее выгодному по минимуму транспортно-производственных затрат потребителю. Вагоны могут быть поданы потребителю под погрузку на грузовой фронт из-под любого рассматриваемого груза.

Использование ДТЗЗ в качестве математической модели для разработки плана перевозок вагонов по контактному графику позволило сократить транспортно-производственные затраты на 6 547 710 руб.

Список литературы

- [1] Попов А.Т., Воронина О.В. Проблемы существующей организации внутризаводских перевозок в условиях металлургического комбината // Современные проблемы транспортного комплекса России. - 2014. - № 5. - С. 29-37.
- [2] Попов А.Т., Воронина О.В. Исследование влияния неритмичности производственных процессов на количество вагонов в обороте // Транспорт Урала. - 2016. - № 3. - С. 54-59. doi: 10.20291/1815-9400-2016-3-54-59.
- [3] Лукьянов В.А. Методика оптимизации взаимодействия промышленного транспорта и основных производств предприятий черной металлургии [Текст]: автореферат / В. А. Лукьянов. – Санкт-Петербург: МГТУ, 2003. – 22 с.
- [4] Кудряшова М.С. Совершенствование организации технологических перевозок в транспортных системах металлургических комбинатов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.С. Кудряшова – М., 1985 г.
- [5] Новиков А.С. Оптимизация рабочего парка вагонов промышленных предприятий на основе системы приоритетов управления перевозочным процессом: дис. ... канд. техн. наук / А.С. Новиков –Магнитогорск, 2008. – 155 с.
- [6] Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Корнилов С.Н. Методы развития систем промышленного железнодорожного транспорта в изменяющихся условиях деятельности предприятий: Монография. – Магнитогорск: МГТУ, 2004. – 235 с.
- [7] Сулова О.А., Рагулина Ю.С. Контактный график // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. – Липецк: ЛГТУ. - 2017. – С. 622-624.
- [8] Попов А.Т. Оптимизация взаимодействия технологического железнодорожного транспорта и производства (на примере металлургического комбината): дис. ... канд. техн. наук / А.Т. Попов – М., 1984. – 237 с.
- [9] Миловидов С.П., Козлов П.А. Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. - 1982. - № 1. - С. 211-212.
- [10] Козлов П.А., Миловидов С.П., Попов А.Т. Организация работы технологического транспорта в промышленных системах// Экономика и математические методы. – 1986. – Т. XXII. - № 4. – С. 697-703.
- [11] Попов А.Т., Воронина О.В. Оценка последствий несвоевременного транспортного обслуживания цехов предприятия // Мир Транспорта. - 2018. - № 1. - С. 66-81.

УДК 502.3:658.78

**ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ
НА НАПРАВЛЕНИИ ВОСТОК – ЗАПАД**

**FORMING THE TRANSPORT CORRIDORS
ON THE EAST – WEST DIRECTION**

Рахмангулов Александр Нельевич¹, Осинцев Никита Анатольевич¹,
Копылова Олеся Александровна¹, Муравьев Дмитрий Сергеевич²

¹ *Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия*

² *Шанхайский университет транспорта, КНР*

Aleksandr Rakhmangulov¹, Nikita Osintsev¹, Olesya Kopylova¹, Dmitri Muravev²

¹ *Nosov Magnitogorsk Technical University, Russia*

² *Shanghai Jiao Tong University, China*

Аннотация

Реализация проекта «Экономический пояс Шёлкового пути» в рамках инициативы «One Belt – One Road» ставит задачу формирования эффективной транспортно-логистической инфраструктуры, обеспечивающей пропуск грузопотоков на направлении Восток-Запад.

В статье выполнен анализ проблем развития международных транспортных коридоров между странами Азии и Европы, предложена имитационная модель, которая позволяет обосновывать стратегические планы создания транспортных коридоров, производить оценку сценариев развития транспортно-логистической инфраструктуры в различных условиях.

Ключевые слова: *транспортные коридоры, имитационное моделирование, системная динамика, логистические центры, направление Восток-Запад, факторы регионального развития.*

Abstract

The implementation of the Silk Road Economic project within the framework of One Belt One Road Initiative sets the task to form efficient transport and logistics infrastructure, providing freight flows, passing through East-West direction.

The present study puts forward the analysis of the problems in development of international transport corridors. Authors have developed simulation model, which allows to justify strategic plans of transport corridors creation. Furthermore, this model is enable to carry out the evaluation of development scenarios of transport and logistics infrastructure under different conditions.

Key words: *transport corridors, simulation modelling, system dynamics, logistics centers, East-West direction, factors of the regional development.*

Введение

Увеличение в течение последних десять лет доли экспорта азиатских стран (КНР, Республики Корея, Индии, Вьетнама) [1] в общем объеме мировой торговли и возникновение новых транспортных связей международного сообщения делает актуальной задачу

формирования сухопутных транспортных коридоров на направлении Восток – Запад.

Решение данной задачи особенно актуально в рамках проекта «Экономический пояс Шёлкового пути» в рамках инициативы «Один пояс – Один путь» [2], которая была впервые озвучена в 2013 году председателем КНР Си Цзиньпин. Инициатива подразумевает организацию транспортных, энергетических, торговых коридоров между странами Азии и Европы, культурный обмен и развитие туризма, а также создание зоны свободной торговли. Основной целью данной инициативы является ускорение товарооборота между Китаем и странами Европы в результате создания новых транспортных коридоров, альтернативных транспортному сообщению через Суэцкий канал [3].

В рамках проекта «Экономический пояс Шёлкового пути» предполагается строительство трех железнодорожных транспортных коридоров: Северного (Китай – Центральная Азия – Россия – Европа – Балтийское море), Центрального (Китай – Центральная и Западная Азия – Персидский залив и Средиземное море) и Юного (Китай – Юго-Восточная и Южная Азия – Индийский океан).

Центральный транспортный коридор проходит от портов Восточного Китая (Шанхай, Ляньюньган) через страны Центральной Азии (Киргизия, Узбекистан, Туркменистан), а также через Иран, где наблюдается нестабильная политическая обстановка, что является причиной высоких рисков для перевозок в данном направлении. Южный коридор подразумевает дальнейшее использование морского транспорта и необходимость перевалки грузов в портах, что приводит к увеличению сроков и стоимости доставки.

Наиболее привлекательным по критерию срока доставки и с учётом низких политических рисков выглядит Северный железнодорожный коридор, проходящий по территории Казахстана и Российской Федерации (РФ). По территории РФ возможны три маршрута северного сухопутного железнодорожного коридора из Китая в Европу:

1. город Маньчжурия, по Транссибу до Москвы (9955 км);
2. через Улан-Батор – Улан-Удэ и по Транссибу до Москвы (6926 км);
3. станция Алашанькоу – Астана – Москва (7144 км).

Сдерживающие факторы развития транспортных коридоров между Азией и Европой

Реализации проекта «Экономический пояс Шёлкового пути» и, в целом, развитию сухопутных транспортных коридоров между Азией и Европой препятствует ряд сдерживающих факторов. К основным группам сдерживающих факторов, на наш взгляд, следует отнести [3, 4]:

1. *Технические.* Ограничения развития сухопутных транспортных коридоров между Европой и Азией связаны с разной шириной колеи в Китае, Европе, России и Казахстане. Китайская и Европейская система использует колею 1435 миллиметров. Железные дороги Российской Федерации и Казахстана, по которым проходит основная часть маршрута действующих и перспективных транспортных коридоров Восток-Запад (Транссибирская магистраль, Южный коридор, Север-Юг, северный железнодорожный транспортный коридор проекта «Экономический пояс Шёлкового пути»), имеют ширину колеи 1520 миллиметров. Перегрузка грузов или использование различных технических решений (например, система Variable Gauge Axels – VGA) увеличивает время и стоимость транспортировки.

2. *Экономические.* Основные ограничения по экономическому аспекту связаны с необходимостью значительных инвестиций в развитие наземной инфраструктуры и с длительными сроками окупаемости этих инвестиций. Большая стоимость строительства

обусловлена сложными климатическими условиями. Так, стоимость строительства одного километра железнодорожного пути на Дальнем Востоке составляет около 16,5 млн долл. США [5]. Если рассматривать строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей, то затраты на строительство будут еще выше, примерно на 32% больше, чем в Китае или странах Европы [6].

К сдерживающим экономическим факторам также следует отнести более высокие операционные затраты при доставке грузов железнодорожным транспортом, по сравнению с морскими перевозками. Например, стоимость доставки 40 футового контейнера из г. Чонгчунг (КНР) до г. Дуйсбург (Германия) по железнодорожному маршруту Yu'Xin'Ou Railway составляет порядка 8-9 тыс. долл. США/FEU, что в два раза больше затрат при организации доставки морским сообщением, транзитом через реку Янцзы и морской порт г. Шанхай [7]. Эта проблема в настоящее время частично решается в результате выделения государственных субсидий со стороны правительства нескольких провинций КНР. Такое локальное решение позволяет компенсировать до 50% затрат на доставку контейнеров из Китая в Европу железнодорожным транспортом.

Большие операционные расходы также связаны с порожним пробегом железнодорожных вагонов. По данным отчета китайских железнодорожных перевозчиков, в период с января по ноябрь 2016 года из 48 блок-поездов, отправленных из Китая в страны Европы, только один вернулся обратно груженным. Более того, согласно информационному агентству China Youth Daily, в период с ноября 2014 по июнь 2016 года, по направлению Иу-Мадрид было отправлено более 58 блок-поездов или 3,800 груженных контейнеров, из которых только 296 обратно вернулись груженными [8].

Снижение операционных расходов, связанных с большим порожним пробегом железнодорожных вагонов на направлении Европа – Китай, может произойти в результате увеличения объема импорта из Европы в Китай. В настоящее время такая тенденция наметилась в секторе продовольственных товаров, фармацевтической продукции и других видов товаров, доставка которых должна осуществляться в короткие сроки [3]. Именно такие условия доставки может обеспечить технология ускоренной перевозки грузов на направлении Восток – Запад, основанная на использовании специализированных блок-поездов.

3. Организационно-технологические. Слабое развитие технологии контейнерных перевозок в международном сообщении, в том числе с использованием технологии «блок-поездов»; организация железнодорожных перевозок в РФ на основе плана формирования поездов, большие затраты на сортировочную работу в пути следования [3].

В настоящее время отмечается стремительное увеличение объемов перевозок с использованием блок-поездов, осуществляющих доставку грузов из западных провинций Китая, таких как Сычуань, Хенань, Юнань, в Европейские страны [9]. По данным экспертов [7, 10] за последние пять лет число отправленных блок-поездов увеличилось с 17 до 1702 поездов в год. Большинство китайских логистических компаний было принято решение по развитию железнодорожных перевозок с использованием блок-поездов, обеспечивающих доставку грузов из Китая в страны Европы.

Для повышения скорости транспортировки такие поезда пропускаются по твердым (фиксированным) ниткам графика. Очевидное достоинство данной формы организации перевозок заключается в сокращении сроков доставки грузов. Дополнительным положительным фактором является минимальная зависимость технологии «блок-поездов» от системы организации вагонопотоков на «пространстве 1520», при их прохождении по территории России и Казахстана. В частности, практически полностью устраняется влияние плана формирования поездов на железнодорожном транспорте этих стран в связи с

тем, что блок-поезда проходят по железным дорогам «пространства 1520» без переработки.

Важной задачей, которую необходимо решать для реализации технологии «блок-поездов», является разработка твердого согласованного графика движения таких поездов. Однако потенциальная большая интенсивность вагонопотоков на направлении Восток-Запад и, как следствие, их ожидаемая низкая неравномерность и высокая регулярность позволяют прогнозировать низкие транзакционные издержки на разработку и корректировку существующих графиков движения поездов [11], оперативное управления движением грузовых поездов [12] и планирование эксплуатационной работы железных дорог «пространства 1520».

К принципиальным недостаткам технологии «блок-поездов» следует отнести необходимость накопления мощных струй вагонопотоков для формирования блок-поездов а также их расформирования в конечном пункте. На коротких расстояниях между «сухими» и морскими портами это не приводит к возникновению дополнительных издержек, поскольку имеется возможность гибкого управления размеров состава блок-поезда, например, по критерию минимума эксплуатационных затрат на транспортировку таких поездов [13]. Напротив, такая организация поставок обеспечивает своевременную подачу в морской порт судовой партии, ритмичную отгрузку, согласование времени прибытия поездов и подхода судна. Это в совокупности способствует снижению времени простоя транспортных средств и затрат на хранение грузов (контейнеров).

Однако при необходимости транспортировки контейнеров на дальние расстояния, когда возможности регулирования размером состава блок-поезда ограничены из-за необходимости формировать поезд максимально допустимого размера, возникает задача оптимизации плана формирования таких поездов [14]. Снижение транспортных затрат при организации вагонопотоков на направлении Восток-Запад в блок-поезда связано не только с прохождением этих поездов на всем протяжении маршрута следования без переработки, но также в результате сокращения затрат на накопление таких поездов из-за высокой интенсивности соответствующих грузопотоков. Для снижения затрат на накопление составов блок-поездов необходима организация крупных мультимодальных контейнерных терминалов или логистических центров как в пунктах накопления, так и в местах распыления (распределения) этих вагонопотоков. Фактически это означает «перенос» резервов пропускных и перерабатывающих способностей объектов железнодорожной и грузовой инфраструктуры «пространства 1520» в начальную и конечные пункты маршрутов движения блок-поездов.

В связи с этим актуальной становится проблема формирования сети таких контейнерных терминалов или логистических центров на территории Китая и Европейского союза. Учитывая значительные перспективные объемы грузовых перевозок железнодорожным транспортом на направлении Восток-Запад, решать данную проблему необходимо системно, учитывая множество факторов, определяющих не только экономическую, но и социальную и экологическую эффективность терминальной сети.

4. Инфраструктурные. Недостаточный уровень развития транспортно-логистической инфраструктуры на территории РФ; нехватка перерабатывающей способности и вместимости логистических центров [3, 16].

В КНР транспортно-логистическая инфраструктура наиболее развита в приморских районах. Здесь расположены морские и «сухие» порты, восемь из которых входят в десятку крупнейших морских портов мира. В соответствии со стратегией строительства и развития морских грузовых портов [17] с 1985 г. по 1995 г. в Китае было построено 217

новых глубоководных стояночных мест. Это позволило увеличить общий контейнерооборот в 2016 году до 195,9 млн TEU контейнеров. Однако увеличение объёмов перевозок привело к проблемам, связанным со взаимодействием железнодорожного и морского транспорта и, как следствие, увеличению времени обработки вагонов. Основными причинами простоя вагонов на железнодорожных припортовых станциях являются: простой вагонов в ожидании или процессе подачи (уборки) железнодорожного подвижного состава на грузовые фронты; прием завышенных объёмов перевозок грузов морскими портами; неритмичность отгрузки в пределах планируемого месяца; нарушения плана маршрутизации поездов в связи с выделением определенных временных окон для подвода железнодорожного подвижного состава на пути необщего пользования [18].

Эффективным решением по увеличению перерабатывающей способности и вместимости морских портов является организация близлежащих терминалов – «сухих» портов [19]. Сухие порты также являются эффективным инструментом снижения неравномерности грузопотоков в результате управления формированием судовых партий и их согласованного подвода к морским портам. Кроме того, сухие порты способствуют уменьшению экологической нагрузки на район размещения морского порта в результате переноса части работы по переработки грузов и связанных с этим выбросом за пределы се-литебной зоны.

Размещение и использование логистических элементов («сухих портов», логистических центров) на маршруте движения блок-поездов будет способствовать повышению взаимодействия участников логистической цепочки при более эффективной загрузке «блок-поездов» в обоих направлениях.

5. *Экологические.* Вредное воздействие наземных видов транспорта на окружающую среду и повышение требований к экологичности перевозки грузов выступают дополнительным сдерживающим фактором в увеличении объёмов перевозок направления Восток-Запад по сухопутным транспортным коридорам [20, 21].

Особую актуальность учет экологического аспекта приобретает при создании и развитии международных транспортных коридоров, где одной из ключевых задач является стремление снизить экологическую нагрузку на всех этапах процесса доставки груза. Такое стремление вызвано, с одной стороны, соблюдением требований и ограничений в области экологии стран-участниц по продвижению товаропотоков, с другой – возможностью получения экономической выгоды, конкурентных преимуществ, повышении имиджа и общественной популярности компании за счет использования «зелёных» технологий.

Недостаточная системность в реализации методов и инструментов «зелёной» логистики в практической деятельности логистических компаний [22, 23], что приводит к снижению эффективности каждого из этих методов и инструментов в отдельности, не способствует планомерному снижению вредного воздействия транспорта на окружающую среду в условиях повышения экономической эффективности функционирования логистических систем.

Имитационная модель формирования транспортно-логистической инфраструктуры

Развитие международных транспортных связей, в том числе реализация проекта «Экономический пояс Шёлкового пути», предполагает соответствие провозной и пропускной способности инфраструктуры уровню спроса на транспортно-логистические услуги. Создание современных объектов логистической инфраструктуры (логистических центров)

позволит частично или полностью устранить негативное влияние выявленных сдерживающих факторов: организационно-технологических, инфраструктурных, экологических. Логистические центры позволяют повысить согласованность работы участников перевозочного процесса, в результате чего происходит более рациональное использование подвижного состава, снижение простоя и порожнего пробега транспортных средств, и соответственно, снижение объема выбросов в окружающую среду.

Учитывая опыт размещения логистических центров за рубежом, мировые тенденции к обслуживанию транспортных коридоров и опираясь на исследования инвестиционной привлекательности региона, сформирована система факторов, которой предлагается руководствоваться при выборе мест размещения объектов логистической инфраструктуры [24]. Система факторов включает в себя:

- социально-экономические факторы характеризуют уровень производства и использования валового регионального продукта (ВРП), уровень и качество жизни населения, инвестиционный и трудовой потенциал субъекта, внешнеторговый оборот;
- географические факторы определяют топографию местности и территориальное расположение субъекта, в том числе относительно внешних границ, транспортных коридоров, рынков сбыта;
- инфраструктурные факторы отражают уровень развития транспортной инфраструктуры;
- политические и нормативно-правовые факторы отражают уровень государственной поддержки транспортной и логистической деятельности, реализуемые программы в транспортно-логистическом комплексе, изменения в транспортном законодательстве, особенности таможенной политики по объекту управления (информационный поток, товаропоток, грузопоток, поток транспортных средств);
- показатели транспортной работы представляют собой данные об объемах перевозок в рассматриваемом субъекте, структуре грузопотока [26].

Для оценки потенциального региона размещения логистического центра предлагается использовать разработанную имитационную модель формирования логистической инфраструктуры, которая позволяет проводить исследование системы факторов в динамике, а также получать их прогнозные значения.

Основой разработанной имитационной модели является проведенный кластерный и статистический анализ. Кластерный анализ позволяет разбить потенциальные регионы размещения объектов логистической инфраструктуры на характерные группы в зависимости от уровня их социально-экономического, инфраструктурного развития и особенностей географического положения [26]. Это способствует повышению точности исследования системы факторов размещения логистических центров. К показателям, которые вошли в окончательную группировку регионов, отнесены: численность населения, среднедушевые доходы населения, объем ВРП, объем промышленного производства, объем экспортной продукции, плотность железнодорожных путей, плотность автомобильных дорог, принадлежность к климатической зоне. Статистическая модель, разработанная с использованием методов корреляционно-регрессионного анализа, позволила установить зависимости между предложенными показателями системы факторов размещения логистических центров. Общий вид статистической модели прогноза значений i -го параметра (фактора) (Y_i) имеет следующий вид

$$Y_i(X) = \beta_0 + \sum \alpha_k \cdot r_k + \sum \beta_j \cdot X_j + \varepsilon_j, \quad (1)$$

где: X_j – прогнозное значение j -й переменной, имеющей наиболее сильное влияние на i -й показатель; β_0 и β_j – неизвестные параметры уравнения регрессии, которые подлежат

оценке по результатам выборочных наблюдений; r_k , – фиктивная переменная, где k – номер кластера, $k = 1, 2, 3, 4$; ak – коэффициент регрессии при фиктивной переменной; ε_i – случайная компонента.

Для построения имитационной модели использовался инструментарий системно-динамического моделирования программы AnyLogic. Метод системной динамики позволяет проводить исследование сложных динамических систем (экономических, социальных, экологических), к которым можно отнести и систему факторов размещения логистических центров. Он позволяет изучать поведение таких систем во времени в зависимости от структуры ее элементов и взаимодействия между ними.

Процесс построения имитационной модели на основе разработанной статистической модели связан с проведением следующих этапов:

1. Выделение основных элементов системы: накопителей, потоков и связей.

Было выделено 12 основных накопителей, это: социально-экономические факторы, показатели транспортной работы, а также существующий объем предложения объектов логистической инфраструктуры в субъекте РФ. Представление данных факторов и показателей в качестве накопителей позволит при проведении экспериментов изменять их значения, т.е. задавать случайное событие, например, снижение объемов промышленного производства, изменение численности населения и т.д. Показатели инфраструктурных и географических факторов были заданы в модели как фиксированные параметры. Связи между переменными, накопителями и фиксированными параметрами в имитационной модели устанавливаются на основании разработанной статистической модели системы факторов размещения логистических центров;

2. Построение в программе AnyLogic имитационной модели на основе разработанных статистических моделей;

3. Сравнение модельных (прогнозных) значений, полученных при проведении экспериментов с имитационной моделью, с фактическими значениями факторов;

4. Корректировка параметров уравнений регрессии. Проведение экспериментов;

5. Определение поправочного коэффициента, учитывающего отдаленность i -го региона от центра кластера и позволяющего получить более точные прогнозные значения факторов;

6. Разработка окончательного варианта имитационной модели формирования логистической инфраструктуры;

7. Получение модельных значений по основным параметрам объекта логистической инфраструктуры и определение типа логистического центра на основе полученных прогнозных значений факторов системы. Параметры объекта логистической инфраструктуры (площадь объекта, объем грузопереработки) определяются в имитационной модели исходя из структуры материального потока (вида транспорта). При этом в имитационной модели реализована возможность учета уже существующих объектов логистической инфраструктуры на территории исследуемого региона и оценке уровня неудовлетворенного спроса на складские площади логистического центра.

Адекватность модели подтверждена в результате моделирования падения объемов промышленного производства в 2009 году, вызванного мировым экономическим кризисом. Оценка точности результатов моделирования производилась на примере конкретного субъекта РФ. По результатам экспериментов с моделью получено, что расхождение фактических значений факторов от модельных колеблется в пределах 6-20% в зависимости от показателя. Повысить точность получения прогнозных значений возможно корректировкой коэффициентов уравнения регрессии при проведении ряда экспериментов с имитационной моделью для рассматриваемого региона.

Заключение

Таким образом, формирование сухопутных транспортных коридоров на направлении Восток – Запад, по мнению авторов настоящей статьи, должно основываться на системном анализе множества экономических, экологических и социальных факторов развития регионов и стран, по территории которых проходят международные транспортные коридоры. В качестве инструмента такого анализа авторами предлагается оригинальная системно-динамическая имитационная модель устойчивого развития логистической инфраструктуры на уровне региона [3, 24, 25]. Модель позволяет обосновывать стратегические планы создания транспортных коридоров, производить оценку сценариев развития транспортно-логистической инфраструктуры в различных условиях.

Список литературы

- [1] International Trade Centre. URL: <http://www.trademap.org> (дата обр. 18.06.2018).
- [2] One Belt One Road Initiative. URL: <http://politics.people.com.cn/n/2014/0811/c1001-25439028.html> (дата обр. 10.06.2018).
- [3] Sustainable development of transport systems for cargo flows on the East-West direction / *Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Kopylova O.* // Transport systems and delivery of cargo on East-West routes: Studies in Systems Decision and Control. — 2019. — vol. 156. — pp. 1-67.
- [4] Устойчивое развитие «зелёных» транспортных коридоров на направлении *Восток-Запад* / *Осинцев Н.А., Копылова О.А., Рахмангулов А.Н.* // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы XLII междунар. науч.-практ. конф., 18 апреля 2018 г., Алматы: КазАТК им. М. Тынышпаева, — 2018, Т.1. — С. 151-156.
- [5] *Карела П.* Мы же не на Луне строим // РЖД-Партнер. — 2010. — № 5(177). — С. 28-29.
- [6] Железнодорожная инфраструктура в России, проблемы и их решения // Трансрегион URL: <http://treg.ru/zheleznodorozhnaya-infrastruktura-v-rossii> (дата обр. 10.06.2018).
- [7] *Besharati B.* The Ways to Maintain Sustainable China-Europe Block Train Operation, Business and Management Studies. — 2017. — vol. 3, — No. 3, — pp. 25-33.
- [8] *Loroun B.B., Ming X.* (2017) Drawing the economical balanced line for Railway and Sea way transportation between Iran and China. International Journal of Business and Management. — 2017. — vol. 12, — No. 5, — pp. 217–231.
- [9] Tian S. “Zheng’ou” freight train services enhance ties with countries along Silk Road. URL: http://news.xinhuanet.com/english/photo/2016-08/19/c_135615759.htm (дата обр. 16.06.2018).
- [10] *Kuanyshev B.* The Role of Kazakhstan in the Development of the Programme 'One Belt and One Road'. URL: <https://www.slideshare.net/ciltinternational/the-role-of-kazakhstan-in-the-development-of-the-programme-one-belt-and-one-road> (дата обр. 16.06.2018).
- [11] *Шапкин И.Н.* Организация железнодорожных перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2008. — №11. — С. 14-19.

- [12] *Суюнбаев Ш.М.* Оперативное планирование эксплуатационной работы в условиях организации движения грузовых поездов по твердому графику // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2010. — №3. — С. 15-25.
- [13] Об оптимизации величины состава блок-поездов при доставке контейнеров в морской торговый порт в транспортном узле / *Грошев Г.М., Белозеров В.Л., Кукушкина Я.В., Климова Н.В.* // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2016. — Том 13. — Выпуск 4(49). — С. 451-459.
- [14] *Xiao J., Lin B.* Comprehensive optimization of the one-block and two-block train formation plan. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, — 2016. — №6. — pp. 218–236.
- [15] *Багинова В., Рахмангулов А., Аутов Е.* Модель логистической интеграции собственников и операторов железнодорожного подвижного состава // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. — 2014. — № 4. — С. 78-84.
- [16] *Багинова В.В., Рахмангулов А.Н., Копылова О.А., Аутов Е.К.* Методика формирования энергоэффективной транспортно-логистической инфраструктуры // Бюллетень транспортной информации. — 2012. — № 5. — С. 26-30.
- [17] *Шполянская А.А.* Основные проблемы морских грузовых портов России и пути их решения, *SCI-ARTICLE.RU*, — 2014. — № 7 URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1394648802> (дата обр. 29.05.2018).
- [18] *Коровяковский Е.К.* Проблемы развития системы логистических центров на железнодорожном транспорте, *Логистические системы в глобальной экономике*. — 2013. — № 3-1. — С. 121-125.
- [19] *Muravev D, Rakhmangulov A.* The development of the regional sea port infrastructure on the basis of dry port. *Economy of Region*. — 2016. — Vol. 12, — Issue 3. — pp. 924-936.
- [20] *Yi-Hui Ho, Chieh-Yu Lin, Jung-Shun Tsai (2014).* An Empirical Study on Organizational Infusion of Green Practices in Chinese Logistics Companies / *Journal of Economic and Social Studie*. — 2014. — vol. 4. — Issue 2. — pp. 159-189.
- [21] *Rongxing Guo, Hao Gui, Luc Changlei Guo.* *Multiregional Economic Development in China*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. — 2015. — 540 p.
- [22] *Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н.* Зелёная логистика в России и за рубежом: обзор лучших практик // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2018. — №3(71). — С.120-134.
- [23] Инновации в области зелёной логистики / *Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., Багинова В.В.* // Мир транспорта. — 2018. — Т.16 — № 2(75). — С. 196-211.
- [24] *Рахмангулов А.Н., Копылова О.А.* Оценка социально-экономического потенциала региона для размещения объектов логистической инфраструктуры. *Экономика региона*. — 2014. — Т. 38. — №2. — С. 254-263.
- [25] *Копылова О.А., Рахмангулов А.Н.* Применение метода системной динамики для исследования факторов размещения элементов транспортно-логистической инфраструктуры // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. — 2012. — № 2. — С. 92-97.
- [26] *Копылова О.А., Рахмангулов А.Н.* Размещение региональных логистических центров: монография. — Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та Г.И.Носова, 2015. — 172с.

УДК 338.47

СНИЖЕНИЕ ПРОСТОЕВ В РЕМОНТЕ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

REDUCTION OF THE DOWNTOWN IN REPAIR AS A WAY OF OPTIMIZATION OF USING THE LOCOMOTIVE PARK

Сафронов Антон Валерьевич

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Anton Safronov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

Во время нахождения локомотива в ремонте уменьшается его время в работоспособном состоянии, и для выполнения плана перевозок необходимо большее количество локомотивов. Сокращение простоев в ремонте может сократить количество тепловозов в локомотивном парке, повысит коэффициент технической готовности.

Ключевые слова: *агрегатно-узловой метод ремонта, коэффициент технической готовности, локомотивный парк*

Abstract

When the locomotive is repaired, its working state is reduced, and it is required more locomotives for the fulfillment of the transportation plan. Reducing downtime in repair can reduce the number of locomotives in the park; also, it can increase the coefficient of technical readiness.

Key words: *locomotive, technical readiness coefficient, locomotive park.*

Введение

Эффективность использования тягового подвижного состава – одна из главных задач эксплуатации, а также ремонтных депо. Это связано с тем, что тяговый подвижной состав в локомотивном хозяйстве составляет большую часть стоимости производственных фондов.

Технически исправное состояние тягового подвижного состава, его надежность является главным фактором, который способствует выполнению главной функции железнодорожного транспорта.

Основываясь на многолетнем опыте эксплуатации тягового подвижного состава наиболее широкое применение получила планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонтов локомотивов. Данная система постоянно обновлялась и совершенствовалась, что позволило максимально сократить простой техники в ремонте. Так же в настоящее время идет активное внедрение современных систем диагностики тягового подвижного состава с помощью бортовых микропроцессорных систем, которые позволяют существенно корректировать сроки и объемы ремонтов, не

снижая при этом, надежности. Совокупное использование этих система позволяет сократить время нахождения локомотивного парка в неисправном состоянии.

1. Способы снижения простоев локомотивов в ремонтах

1.1. Агрегатный метод ремонта локомотивов

Все виды ремонтов промышленных тепловозов производятся в технически оснащенных локомотивных депо предприятий. Определенная часть тепловозов проходит ремонт локомотивов в сторонних организациях, на заводах или в локомотивных депо РЖД. Это в основном, ремонты – текущий ремонт ТР-2, текущий ремонт ТР-3. Размещение программы ремонтов ТР-2 и ТР-3 промышленных тепловозов в каждом случае следует планировать исходя из условия оптимальной в технико-экономическом отношении концентрации ремонтов тепловозов в создаваемых для этой цели районных ремонтных базах или в отдельных крупных депо. Это условие является решающим для осуществления современных методов ремонта тепловозов с широким применением средств механизации ремонтного производства.

В наиболее продвинутых депо широкое распространение получил агрегатно-узловой метод ремонта тепловозов. Основной смысл этого метода заключается в том, что вместо неисправных, изношенных и подлежащих ремонту агрегатов и узлов на тепловоз устанавливают исправные, заранее отремонтированные.

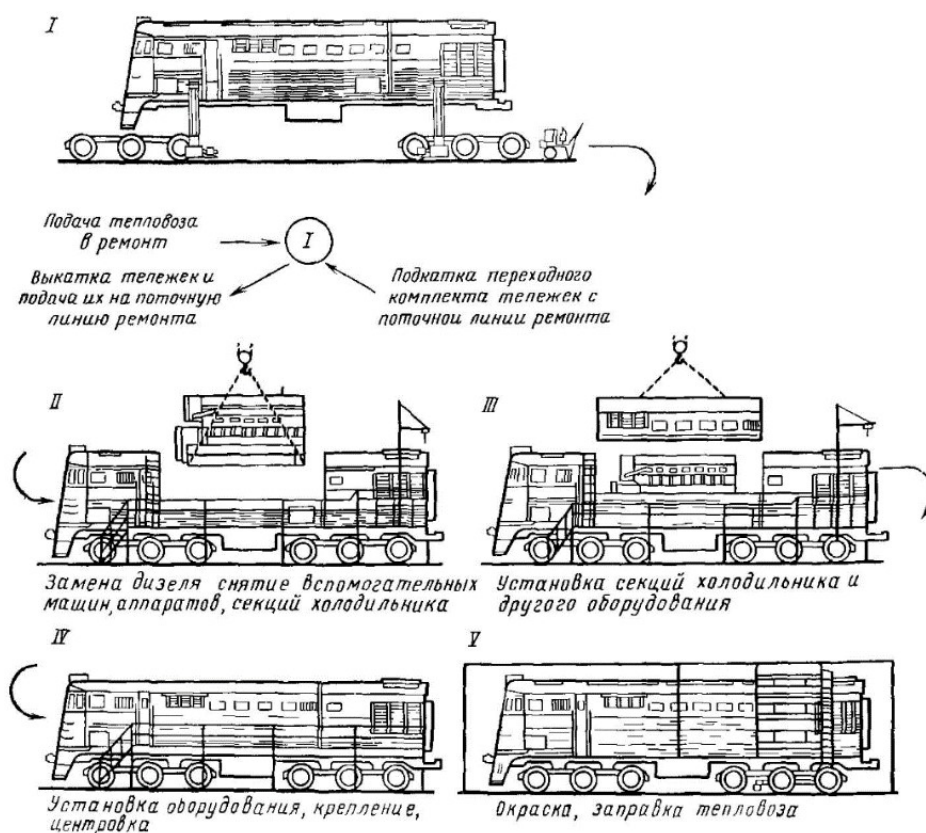


Рисунок 1. Стадии агрегатно-узловой метода ремонта

Основной Агрегатного метода ремонта является предварительная заготовка узлов и агрегатов на данный локомотив. Главный принцип такого ремонта заключается в взаимозаменяемости этих узлов и агрегатов (дизелей, дизелей-генераторов, цилиндровых комплектов, тележек, тяговых электродвигателей, гидропередач и т.п.). После демонтажа агрегаты и узлы направляются на заготовительную линию, а на локомотив устанавливаются отремонтированные узлы и агрегаты, которые берутся из оборотного фонда запчастей.

Оборотный фонд создается за счет приобретения новых запчастей и агрегатов или комплектования агрегатами прошедших полный восстановительный ремонт. Оборотный фонд состоит из *технологического* (неснижаемого) и *страхового запаса* для компенсации агрегатов, выбывающих в плановый и неплановый ремонты.

Расчет *технологического запаса* K агрегатов (узлов), программы ремонта локомотивов $N_{оп}$ за отчетный период времени $T_{оп}$ (год, квартал), интервала времени между постановками локомотивов в ремонт t_1 производят по следующей формуле:

$$K = \frac{t_3 - t_4}{t_1} N_{одп} \quad (1)$$

$$K = \frac{(t_3 - t_4)(N_{оп} - N_{одп})}{T_{оп} - t_2} \quad (2)$$

или

$$N_{оп} = \frac{K (T_{оп} - t_2)}{(t_3 - t_4)} + N_{одп} \quad (3)$$

$$t_1 = \frac{T_{оп} - t_2}{N_{оп} - N_{одп}} N_{оп} \quad (4)$$

где t_2 — простой локомотива в ремонте; t_3 — продолжительность ремонта агрегата в локомотивном депо; t_4 — время от окончания демонтажа агрегата до подачи такого же агрегата для монтажа; $N_{одп}$ — число одновременно поступающих на ремонтные позиции локомотивов при неизменном значении t_1 .

При расчете страхового запаса, помимо агрегатов которые идут в плановый ремонт, следует учитывать узлы и агрегаты, которые выходят из строя аварийно, то есть внепланово.

$$\sigma^1 = \frac{n_{пр} t_{пр}}{T_{оп}} \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{n_{во} t_{во} + n_{д} t_{д}}{T_{оп}} \quad (6)$$

где $n_{пр}$ — число агрегатов данного вида, подлежащих плановым видам ремонта на других предприятиях; $t_{пр}$ — время, необходимое для ремонта агрегата вне депо; $n_{во}$ — число агрегатов, подлежащих ремонту вне депо из-за внезапных отказов; $t_{во}$ — время, необходимое на ремонт агрегата из-за внезапного отказа; $n_{д}$ — число агрегатов, ремонтируемых в депо; $t_{д}$ — время, затраченное на ремонт агрегатов в депо.

Тогда, оборотный фонд агрегатов данного наименования будет равен:

$$M_{об} = K + \sigma_1 + \sigma_2 \quad (7)$$

Если $K \leq 0$, то технологический запас агрегатов не нужен, если $1 > K > 0$, нужен один агрегат; если $2 > K > 1$, нужно два агрегата и т. д.

Агрегатный метод экономически целесообразен при увеличенной программе ремонта и находит применение при производстве текущих ремонтов ТР-2, ТР-3, а также заводских капитальных ремонтов. К достоинствам этого метода следует отнести: сокращение времени нахождения локомотива в ремонте (сокращение простоя), уменьшение вероятности некачественного ремонта, повышение производительности депо и как следствие увеличение пропускной способности ремонтного депо.

Современные заводы локомотивов стараются при проектировании локомотивов придерживаться модульной конструкции, которая позволяет производить агрегатно-узловой метод ремонта с меньшими временными затратами. Модульная конструкция позволяет максимально унифицировать узлы и агрегаты тепловозов, это напрямую связано с унификацией, стандартизацией и типизацией.

При производстве текущих ремонтов ТР-1 и небольшом числе ремонтируемых тепловозов наиболее целесообразен *индивидуально-агрегатный* ремонт, при котором некоторые узлы и агрегаты заменяют заранее отремонтированными, а другие ремонтируют и устанавливают на этот же локомотив.

1.2. Поточный метод ремонта тепловозов

При выполнении заводских капитальных ремонтов применяют *поточный метод* ремонта. Смысл поточного метода ремонта заключается в том, что ремонтируемые узлы и агрегаты перемещаются в процессе ремонта в строго определенном порядке, определенной технологией ремонта локомотива. Причем каждая операция закрепляется за отдельным работником, а выполнение этих операций производится без остановки. Главным звеном поточного производства является поточная линия. Объектами для поточного ремонта могут быть: цилиндровые комплекты, автосцепки, ударно-тяговые устройства, электрические аппараты, тележки, колесные пары, буксы с роликовыми подшипниками, электрические машины, холодильное оборудование, теплообменники и т. п. Поточное производство возможно при условии четкого обслуживания всех позиций, бесперебойного обеспечения их материалами и комплектующими деталями, строгого соблюдения технологической дисциплины. Этот метод способствует повышению производительности труда, улучшению использования основных средств предприятия, сокращению длительности производственного цикла, снижению себестоимости ремонта и повышению его качества.

На промышленном транспорте поточный метод сможет найти свое применение и на капитальном ремонте оборотного фонда дизелей Д49, Д50 и 8ДМ21, а также гидропередаточ. Поскольку на промышленном транспорте преобладают тепловозы с гидропередаточей, то, естественно, организацию поточного ремонта следует предусматривать прежде всего именно для таких тепловозов, так как ввиду сложности и особенности конструкции затраты на ремонт этого узла очень велики. Депо, которые не оснащены поточной линией для производства сложного ремонта тяговых электродвигателей тепловозов ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ-9, ТЭМ-7 с электрической передачей - целесообразно по возможности размещать для ремонта в близлежащих депо железных дорог РЖД или ремонтных цехов, специализирующихся на тяговых электродвигателях и электромото-

рах. Так как иметь необходимое, сложное оборудование для ремонта данного узла – требует больших затрат.

Пример успешного применения поточного метода ремонта локомотивов в настоящий момент можно наблюдать в Улан-Удэнском локомотивовагоноремонтном заводе.

При ремонте, локомотив движется по трем основным цехам – кузовной цех, цех тележек (ходового оборудования), цех внутреннего оборудования, включая тяговые электродвигатели. Внедрение поточного метода ремонта позволило сократить простои при проведении среднего ремонта СР – до пяти дней, капитальный ремонт КР – до семи суток. Для сравнения – проведение капитального ремонта локомотива в других предприятиях занимает больше полугода.

2. Диагностика тепловозов

Большую роль при сокращении простоев тепловозов в ремонте играет современная и своевременная диагностика оборудования локомотива. К ней относят диагностику основных параметров дизеля, вибродинамику и спектральный анализ картерного масла. Внедрение технической диагностики тепловозов в локомотивных депо в настоящее время позволяет более рационально устанавливать прогрессивные межремонтные сроки, предупреждать аварийные выходы из строя и повреждения дизеля и других узлов тепловозов, сокращая в то же время объем ремонтных работ по разборке и сборке агрегатов и узлов. Использование методов безразборной диагностики сделает возможным своевременно вводить новые, более прогрессивные межремонтные сроки, а в перспективе позволит постепенно переходить на систему текущего ремонта тепловозов по техническому состоянию их агрегатов и узлов.

Современное развитие средств технической диагностики позволяет корректировать ППР с учетом технического состояния локомотива, что позволит снизить затраты на ремонт, не снижая при этом надежности. Главным фактором в диагностировании локомотивов является его «контролепригодность». Под этим термином понимается бортовая микропроцессорная система управления и диагностирования, которая максимально позволяет использовать безразборный способ диагностирования.

Старые локомотивы обладали низкой контролепригодностью из-за неразвитых средств технического диагностирования, отсутствия бортовых микропроцессорных систем управления. За последние десятилетия были разработаны и внедрены эффективные стационарные и мобильные системы технического диагностирования, а большая часть локомотивных депо оборудована автоматизированными рабочими местами, которые позволяют обрабатывать большое количество информации. Все это создает возможность к переходу к планово-предупредительной системе с учетом технического состояния локомотива. Но главной причиной внедрения новых технологий ремонта стали бортовые микропроцессорные системы управления, которыми оснащается современный тяговый подвижной состав.



Рисунок 2. Трехзвенная система использования диагностической информации

Перспективная система ремонта по техническому состоянию предполагает три уровня использования диагностической информации бортовых микропроцессорных систем (рис. 2). Первый уровень находится непосредственно на локомотиве, где происходит накопление информации и частичное ее отображение на монитор машинисту. На втором уровне накопленная информация передается в компьютер специализированного рабочего места по расшифровке данных – автоматизированное рабочее место (АРМ). АРМ жестко привязано к конкретной модели МСУ и его функциональности. При этом на каждое АРМ возлагаются дополнительные диагностические задачи контроля соблюдения режимов ведения поезда, выявления предотказных состояний, прогнозирования работоспособности оборудования локомотива. Третий уровень предполагает централизованный сбор обработанных диагностических данных с их дальнейшим статистическим анализом и поддержкой принятия управленческих решений в части корректировки объема ремонта и технического обслуживания. Важно отметить, что если первый и второй уровни диагностирования являются специфическими для каждого типа МСУ, то третий уровень является универсальным: информация поступает со всех видов МСУ через их АРМ со стационарных и переносных диагностических систем. То есть информация поступает в унифицированном виде [3].

Западно-Сибирской дирекцией по ремонту тягового подвижного состава совместно с «Начучно-исследовательским институтом технологий контроля и диагностики» проводился эксперимент по использованию новой технологии диагностирования в ремонтных депо Московка и Карасук по тепловозам серии ТЭМ-2 и 2ТЭ10. Эксперимент заключался в тщательной настройке дизель-генераторной установки на реостатных испытаниях, записи показателей работы тепловоза в качестве исходных, далее бортовая вычислительная аппаратура «следит» за состоянием и работой тепловоза. По итогу накопления информации выявляются факты нарушения эксплуатации тепловоза машинистами, предотказные состояния, выход характеристик дизеля за допуски, и т.д. Далее принимаются меры для приведения рабочих характеристик в норму, в результате чего растет надежность тепловоза, которая позволяет снизить объем ремонта, расход топлива. Имеются положительные результаты, получен первый экономический эффект: число отказов турбокомпрессора уменьшено в 5,5 раз (с 11 до 2), ТЭД – в 3 раза (с 10 до 3), случаи течи воды или масла цилиндрической крышки уменьшились в 3 раза (со 159 до

55); отказы поршней – в 4 раза (с 17 до 4); сократилось число нарушений режимов эксплуатации сократилось в 3 раза (с 243 до 85).

3. Эффективность сокращения простоя локомотивов в ремонте

Эффективность сокращения простоя локомотивов в ремонте заключается в снижении непроизводительного простоя агрегатов локомотивов. Это позволит повысить коэффициент технической готовности локомотива, и сократить локомотивный парк. Непроизводительный простой узлов и агрегатов влечет за собой большие затраты. Сокращение непроизводительного простоя локомотивов достигается снижением времени простоя в неисправном состоянии и в плановом ремонте. К числу основных резервов сокращения простоя в плановых ремонтах следует отнести: повышение ремонтпригодности узлов, установление оптимального объема регламентных работ на текущих ремонтах, организацию ремонта по сетевому графику, повышение уровня механизации трудоемких работ, дальнейшее повышение производительности труда. К числу основных резервов сокращения простоя внеплановых, аварийных ремонтов следует отнести: повышение качества технического обслуживания и текущих ремонтов локомотивов, строгое соблюдение межремонтных сроков, бережная эксплуатация техники и т.д.

Сокращение простоя локомотивов в ремонте снижает эксплуатационные расходы и потребность в локомотивном парке:

$$Nt_{рем} = \sum (N_{рем}^{баз} t_{рем}^{баз} - N_{рем}^{ан} t_{рем}^{ан}) = \sum N_{рем}^{ан} (t_{рем}^{баз} - t_{рем}^{ан}), \quad (8)$$

где $Nt_{рем}$ — простой локомотивов во всех видах текущего ремонта, локомотиво-ч; $N_{рем}^{ан}$ выпуск локомотивов из ремонта за анализируемый период; $t_{рем}^{баз}$ и $t_{рем}^{ан}$ — простой локомотивов в ремонте соответственно в базисном и анализируемом периодах, ч.

При сокращении простоев в ремонте, уменьшается времянахождение локомотива в неисправном состоянии, что в свою очередь позволяет содержать в локомотивном парке меньше локомотивов, т.к. на время ремонтов локомотивов будет требоваться меньше подменных локомотивов. Снижение простоя локомотивов в ремонте уменьшает потребность в локомотивном парке:

$$\Delta N = Nt_{рем} / T_2, \quad (9)$$

где T_2 — годовой фонд времени локомотива эксплуатируемого парка.

Сложная структура ремонтного цикла, большой объем плановых и внеплановых работ по ремонту локомотива - являются причиной высокой стоимости содержания локомотивов.

Использование всех этих методов организации ремонтов локомотивов ведет к значительному сокращению простоев в ремонте. Что позволяет с наименьшими затратами проводить качественные и быстрые ремонты локомотивов, при этом тяговый подвижной состав по минимуму выводится из эксплуатации.

Список литературы

- [1] *Иванов В. П., Вождаев И.Н., Дьяков Ю.И.* - Технология ремонта тепловозов: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. - 2-е изд., перераб. и доп. - издание Транспорт 1987. 336 с.
- [2] *Четвергов В.А., Овчаренко С.М., Бухтеев В.Ф.* Техническая диагностика локомотивов — Москва: изд-во ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» 2014. 371 с.
- [3] *Гапанович В.А.* Техника железных дорог — Москва изд-во АНО Институт проблем естественных монополий — 2012. — № 3. — с. 31 — 34.
- [4] *Попов А.Т., Сулова О.А., Воронина О.В.,* Анализ влияния неравномерности производственных процессов металлургического комбината. Проблемы современной науки. Липецк: Липецкий государственный технический университет. -2016. -с. 189-200.
- [5] *Попов А.Т., Коберницкий А.А.* Исследование состояния железнодорожного транспорта в России и за рубежом. Тенденции развития современной науки: Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2017. с. 545-548.
- [6] *Сулова О.А., Суворов К.А.,* Автоматизация ручного труда локомотивного депо. Книга транспорт. Тенденции развития современной науки. Липецк: Липецкий государственный технический университет. -2018. -с. 80-81.

УДК 656.073

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ

OPTIMIZATION OF THE INTERACTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AND OPERATOR COMPANIES

Хмелев Артем Сергеевич, Попов Алексей Тимофеевич
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Artem Khmelev, Alexey Popov
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются основные аспекты взаимодействия промышленных предприятий и операторских компаний, текущая ситуация на рынке перевозок железнодорожным транспортом, а также приводится классификация операторских компаний.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, операторские компании, промышленные предприятия, оптимизация, подвижной состав.*

Abstract

In this article considered the main aspects of the interaction of industrial enterprises and operator companies, current situation in the railway transportation market, and also the classification of the operator companies.

Key words: *railway transport, operator companies, industrial enterprises, optimization, rolling-stock.*

Введение

Постановление Правительства РФ № 448 от 15 мая 1998 г. «О концепции структурной реформы федерального железнодорожного транспорта» положило начало появлению операторских компаний на рынке железнодорожных транспортных услуг [1]. Основной целью их создания было развитие конкуренции на рынке железнодорожных перевозок за счет различий условий и тарифов доставки груза на одних и тех же железнодорожных линиях разными компаниями, а также стремление обновить парк подвижного состава за счет привлечения частного капитала. Однако, «де-юре» операторские компании появились на российском рынке только в 2001г., когда первые двадцать три компании получили свидетельства, подтверждающие статус оператора [2].

Кроме этого, с целью развития конкурентоспособности транспортных компаний Федеральной энергетической комиссией РФ (9 марта 2004г. преобразована в Федеральную службу по тарифам России) 17 июня 2003г. было принято Постановление №47 – т/5 с утвержденным Прейскурантом 10-01 [3]. С этого момента стоимость перевозки начала включать в себя две составные части:

- плата за инфраструктуру и локомотив;
- плата за вагон.

Это дало операторским компаниям простор для ценового маневра за счет возможности предоставления скидок в рамках платы за вагон.

Само определение оператора подвижного состава было дано в федеральных законах РФ № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» и № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10 января 2003 года. Согласно закону, **оператор подвижного состава** - юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющие железнодорожный подвижной состав, контейнеры на праве собственности или ином праве и оказывающие юридическим или физическим лицам услуги по предоставлению железнодорожного подвижного состава, контейнеров для перевозок железнодорожным транспортом [4]. Из этого определения ясно, что операторы могут владеть не только вагонами и контейнерами, но и тяговым подвижным составом. И практика показала, что по мере роста компаний в их собственности оказался не только вагонный парк, но и локомотивы.

1. Обзор рынка железнодорожных грузоперевозок

Развитие рынка железнодорожных перевозок и увеличение количества частных операторов привели к необходимости классифицировать компании по различным признакам. Подобные классификации были описаны в ранее опубликованных работах [2,5,6].

Операторов железнодорожного подвижного состава можно разделить по:

- масштабу деятельности – региональные, межрегиональные, международные;
- характеру перевозки – общесетевые, технологические;
- форме собственности – самостоятельное юридическое лицо, находится в собственности грузообразующего предприятия;
- структуре формирования доходов – от тарифа, от услуг, от цены реализации продукции;
- предоставляемым услугам – предоставление подвижного состава под перевозку, перевозка-перевалка-складирование-оформление, предоставление локомотивов и т.д.

Для лучшего понимания текущей ситуации на рынке железнодорожных перевозок очень важно дифференцировать операторов по числу собственных вагонов в управлении и виду подвижного состава.

По состоянию на 2016 г. общий парк грузовых вагонов, обращающихся на железных дорогах России, составил 1 млн. 137,1 тыс. единиц [7]. Структура вагонного парка с указанием фактического срока эксплуатации приведена в таблице 1.

Таблица 1. Структура вагонного парка РФ по состоянию на 1 января 2016 г.

Род вагона	Парк в целом, ед	Средний возраст, лет
Полувагоны	523 132	11,7
Крытые	64 120	19,3
Платформы	56 426	26,9
Цистерны	263 790	16,2
Хопперы-ЦМВ	28 388	12,6
Минераловозы	35 242	13,3
Окатышевозы	2 253	15,6
Зерновозы	38 861	21,4

Автомобилевозы	5 510	15,5
Фитинговые платформы	44 605	13,5
Остальные	74 773	23,2
ИТОГО	1 137 100	15,2

На рынке железнодорожных перевозок на тот момент наблюдался профицит нетягового подвижного состава, особенно универсального. По мнению некоторых экспертов, среднее значение переизбытка вагонов составляло до 200 – 300 тыс. единиц [8].

В таблице 2 отображено количество подвижного состава, находящихся в собственности десяти крупнейших операторов России [9].

Таблица 2. Парк крупнейших операторов РФ по состоянию на 1 января 2016 г.

Название компании	Вагонный парк, тыс.ед
АО «ЛПК»	175,2
АО «ФГК»	129,5
«Globaltrans Investment plc»	57,8
АО «Нефтетранссервис»	54,1
ООО «Трансойл»	42,3
ГК «РТК»	44,5
ООО «УВЗ-Логистик»	30,4
ООО «Газпромтранс»	29,2
АО «СГ-Транс»	17,3
ОАО «ХК Новотранс»	28,7
ИТОГО	609,0

На основании приведенных данных можно увидеть: во-первых, половина от общего количества грузового вагонного парка находится под управлением десяти операторов, что говорит о сильной концентрации подвижного состава у отдельных субъектов транспортного рынка. Необходимо отметить, что снижение конкуренции может привести к сокращению парка, т.к. у крупнейших операторов исчезает необходимость постоянно наращивать количество вагонов с целью увеличения доли на рынке. Во-вторых, ярко выражен значительный износ как универсального, так и специализированного вагонного парка. Кроме этого, следует принять во внимание приказ Министерства транспорта России № 382 от 25.12.2015 г. о внесении изменений в ПТЭ, в соответствии с которым с 1 января 2016 г. запрещается эксплуатация подвижного состава после проведения работ по продлению срока службы или модернизации [10].

Под действием этих факторов количество списанных вагонов за последние 3 года в 5-6 раз превышало объемы закупки нового подвижного состава. По состоянию на август 2017 г. общий вагонный парк, находящийся на железных дорогах России, составил чуть более 1 млн. единиц, из них по типу подвижного состава [11]:

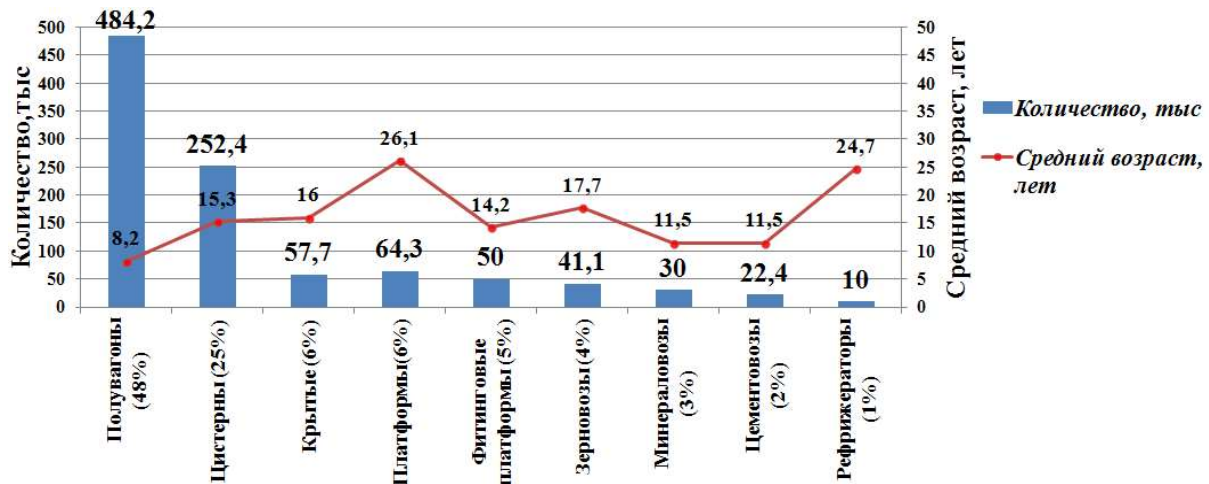


Рисунок 1. Распределения подвижного состава по типу и сроку эксплуатации

Таким образом, можно говорить об окончании периода профицита подвижного состава на железных дорогах, более того, существуют реальные риски возникновения дефицита [12], т.к. долгосрочная программа развития ДПР РЖД 2025 предполагает достаточно серьезный рост грузооборота.

2. Взаимодействие промышленного предприятия и операторских компаний

Предоставление подвижного состава промышленному предприятию под перевозку грузов осуществляется транспортной компанией на основании заключенного договора транспортной экспедиции. По договору экспедитор обязуется обеспечивать транспортно-экспедиторское обслуживание за вознаграждение и за счет грузополучателя (грузоотправителя). Крупные компании заключают договор, как правило, на 5 лет и предусматривают фиксированную ставку за привлечение парка (универсального и специализированного) при условии соблюдения нормативного оборота вагонов, т.е. при высокопроизводительном использовании подвижного состава. В случае превышения нормативного оборота операторская компания выставляет штрафы предприятию.

В то же время оборот вагона на подъездном пути предприятия, т.е. время от момента прибытия до момента сдачи на сеть, является важным эксплуатационным показателем, который характеризует уровень организации работы всей промышленной железнодорожной системы. Увеличение времени оборота вагона влечет за собой несколько негативных последствий:

- увеличение вагонного парка для перевозки одного и того же объема груза;
- рост загруженности путевой инфраструктуры по причине роста объемов подвижного состава, что влечет за собой большие капитальные затраты на увеличение протяженности железнодорожных путей;
- увеличение парка локомотивов.

В конечном результате все эти затраты оплачиваются предприятиями и включаются в себестоимость производимой продукции, увеличивая транспортную составляющую в цене готового товара. Например, оплата услуг операторов подвижного состава при экспортной перевозке угля составила в 2016 г. практически 15 % от рыночной цены [13].

Эффективное управление вагонным парком как на сети ПАО «РЖД», так и на путях необщего пользования представляет собой сокращение транспортных расходов и улучшение показателей использования подвижного состава. Анализ взаимодействия промышленных предприятий и операторских компаний показал, что несовершенство технологии работы операторской компании [14], не оптимальная структура вагонного парка [15], а также недостаточная перерабатывающая способность станций примыкания и внутризаводских станций [16] приводят к сверхнормативному простоя привлеченных вагонов на подъездном пути предприятия.

Основными видами взаимодействия, оказывающими наибольшее влияние на промышленную транспортную систему в целом, и на оборачиваемость вагона в частности, являются техническое, технологическое, организационное и инфраструктурное.

2.1. Техническое взаимодействие

Область технического взаимодействия компании – оператора и промышленного предприятия заключается в увязке параметров вагонов и контейнеров по грузоподъемности, габаритам, согласовании пропускной и перерабатывающей способностей станций примыкания и внутренних станций, техническом обслуживании средств передачи информации и связи с целью максимально эффективного использования подвижного состава и производственного оборудования цехов.

Техническое переоснащение транспортно – грузовых комплексов способно привести к значительному сокращению затрат на привлечение вагонного парка под перевозку. На текущий момент развитие этого вида взаимодействия осуществляется по следующим векторам:

- применение инновационных вагонов повышенной грузоподъемности;
- контейнеризация перевозок и использование новых типов контейнеров;
- рост перерабатывающей способности грузовых фронтов в связи с установкой более мощного погрузо-разгрузочного оборудования.

2.2. Технологическое взаимодействие

Технологическое взаимодействие состоит в организации Единого транспортного процесса (ЕТП), разработке взаимоувязанных графиков прибытия, отправления поездов и обслуживания грузовых фронтов с целью сокращения оборота вагонов, снижения количества подвижного состава на путях необщего пользования, своевременного обслуживания производственных цехов и улучшения транспортной ситуации на предприятии.

Эффективность технологического взаимодействия во многом зависит от неравномерности входящих и исходящих грузопотоков, которая определяется коэффициентом неравномерности, т.е. отношением наибольшей величины грузо – или вагонопотока за рассматриваемый период к среднему значению за сутки (смену, месяц и т.д.). Определение значения этого коэффициента происходит еще на стадии проектирования инфраструктуры промышленного предприятия, и он может принимать значения от 1,1 до 8,0. Коэффициент неравномерности зависит от характера производства, вида груза, технологии работы и многих других факторов [17].

Основным направлением развития технологического взаимодействия в современных

условиях является оптимизация грузопотоков на основании решения транспортных задач в различных модификациях. Как правило, за критерий оптимальности принимается критерий максимизации прибыли [18].

2.3. Организационное взаимодействие

Понятие организационного взаимодействия заключается в формальных отношениях между определенными управленческими позициями одной, двух или более структур.

Оно включает в себя оперативное информирование о подаче подвижного состава на фронты погрузки, выгрузки, перевалки, а также согласованность действий операторской компании, РЖД и промышленного предприятия. В качестве главных причин, которые усложняют данный вид взаимодействия операторов и предприятий, можно выделить: недостаточное информационное взаимодействие в области управления материальными потоками, несоответствие структур и функциональности систем управления, несогласованность оперативных действий сменного персонала, отсутствие совместной долгосрочной стратегии развития [19].

В данной ситуации одним из выходов является создание системы поддержки принятия решений, которая позволит создать единое «окно» за контролем транспортных процессов на предприятии и полигоне примыкания, улучшить кросс – функциональное взаимодействие между подразделениями и участниками перевозки, упорядочить информационные потоки для более глубокого и качественного анализа.

Но проблему совершенствования взаимодействия на транспорте нельзя решить только лишь за счет организационных мер. Кроме рассогласованности действий участников перевозки, существуют еще и инфраструктурные ограничения.

2.4. Инфраструктурное взаимодействие

Недостаточная протяженность железнодорожных путей на станциях примыкания и внутризаводских станциях, нехватка современных средств автоматики и телемеханики, малая пропускная способность перегонов в связи с отсутствием систем интервального регулирования движения поездов, большая загруженность горловин парков – все это затрудняет поездную и маневровую работу и негативно сказывается на показателях работы всей промышленной транспортной системы. Отсутствие возможности переработки поступающего вагонопотока промышленной инфраструктурой увеличивает время нетехнологического простоя вагона, снижает эксплуатационную скорость, необоснованно увеличивает загруженность маневровых локомотивов. Особое внимание следует уделять путевому развитию заводских сортировочных станций [20].

Можно выделить несколько мер, применение которые позволит снизить влияние инфраструктурных ограничений:

- удлинение протяженности железнодорожных путей с целью приема и отправления длинносоставных поездов;
- внедрение системы микропроцессорного управления стрелками и сигналами;
- переустройство стрелочных горловин парков и станций;
- замена телефонных средств связи на перегонах на полу- и автоблокировку.

Применение рассмотренных мер для сокращения транспортных расходов принесет

еще более ощутимый экономический эффект при их комплексном применении. Практика эксплуатации железных дорог в последние годы показала, что задача дальнейшего развития взаимодействия промышленного предприятия и операторской компании во всех сферах (включая экономическую и правовую) должна решаться только с позиций системного подхода и применения принципов логистики.

Список литературы

- [1] О концепции структурной реформы федерального железнодорожного транспорта: Постановление Правительства РФ от 15 мая 1998 г. № 448. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_18712 (дата обр. 04.08.2018).
- [2] *Леонтьев Р.Г., Комарова В.В., Некрасова О.И.* Формирование субъектов рынка железнодорожных транспортных услуг // Вестник ТОГУ. — 2009. — № 3(14). — с. 115 — 122.
- [3] Об утверждении преysкуранта 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (Тарифное руководство №1, части 1 и 2): Постановление ФЭК России от 16 июня 2003 г. № 47-т/5. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43726 (дата обр. 12.09.2018).
- [4] Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 10 января 2003 г. № 18-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 24 декабря 2002 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 27 декабря 2002 г. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444 (дата обр. 04.08.2018).
- [5] *Титков С.О., Плисова Е.И., Хусаинов Ф.И.* Перспективы развития операторских компаний в сфере железнодорожных грузовых перевозок // Бюллетень транспортной информации. — 2005. — № 1. — с. 20 — 26.
- [6] *Куренков П.В., Бельницкий Д.С., Котляренко А.Ф.* Классификация операторских компаний // Бюллетень транспортной информации. — 2007. — № 9. — с. 14 — 19.
- [7] *Литовченко В.Б.* Проблемы организации содержания и ремонта грузового вагонного парка на железнодорожном транспорте // Транспортное дело России. — 2016. — № 6. — с. 145 — 146.
- [8] *Кравченко М.А.* Профицит парка железнодорожных вагонов // Логистические системы в глобальной экономике. — 2017. — № 7. — с. 497 — 500.
- [9] *Информационное агентство INFOLine.* Рейтинг операторов INFOLine Rail Russia TOP. — URL: <http://infoline.spb.ru/infoline-rail-russia-top> (дата обр. 16.08.2018).
- [10] О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286: Приказ Минтранса России от 25 декабря 2015 г. № 382. — URL:

- http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191673 (дата обр. 20.08.2018).
- [11] *Савчук В.Б.* Состояние и перспективы парка грузовых вагонов // Депо. — 2018. — № 1 (86). — с. 37 — 42.
- [12] *РосБизнесКонсалтинг.* РЖД допустили риск повторения дефицита полувагонов. — URL: <https://www.rbc.ru/business/06/06/2018/5b17bbc99a7947e6be177dae> (дата обр. 06.09.2018).
- [13] *Гудок.* Правила игры должны быть справедливыми. — URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1353256&archive=2016.10.17> (дата обр. 13.09.2018).
- [14] *Попов А.Т., Малахов А.И.* Оптимизация технологии работы операторской компании по перевозкам сырья металлургического производства: монография - Липецк: ЛГТУ, 2006. – 165 с.
- [15] *Попов А.Т., Котова И.В.* Оптимизация структуры парка для металлургов // Мир транспорта. — 2010. — № 3 (31). — с. 114 — 120.
- [16] *Хмелев А.С., Сулова О.А.* Суточный план-график // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк: Позитив – Л, 2016. – с.321 – 322.
- [17] *Попов А.Т., Макарова Е.А.* Потокное взаимодействие промышленной транспортной системы и магистрального железнодорожного транспорта // Проблемы и перспективы студенческой науки. — 2017. — № 1. — с. 25 — 27.
- [18] *Попов А.Т., Гнедаш М.А.* Оптимизация транспортных потоков в системе «производство-транспорт-потребление»: монография - Липецк: ЛГТУ, 2006. – 179 с.
- [19] *Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Мишуков П.Н., Копылова О.А.* Интеллектуализация транспортного обслуживания металлургических предприятий // Сталь. — 2014. — № 4. — с. 115 — 118.
- [20] *Хмелев А.С., Попов А.Т.* Удлинение путей в подгорочном парке сортировочной станции металлургического комбината // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. – Липецк: Липецкий Государственный Технический Университет, 2017. – с.670 – 672.

Научное издание

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

ТОМ 2

**Материалы I международной
научно-практической конференции**

12-13 декабря 2018 г.

Ответственный за выпуск Сысоев А.С.
Компьютерная верстка Коростелев А.А., Ковырялова О.А., Ерохин В.Е.
Дизайн обложки Хабибуллина Е.Л.

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 22.11.2018.
Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура Таймс.
Объём 16,94 п.л. Тираж 75 экз. Заказ № 693.
Издательство Липецкого государственного технического университета.
Полиграфическое подразделение Издательства ЛГТУ.
398055 Липецк, ул. Московская, 30.



ПРОВОДИТСЯ ПРИ ФИНАНСОВОЙ
ПОДДЕРЖКЕ



ВЕБ-ИНТЕГРАТОР

ШИНТОРГ

сеть компьютерных магазинов

РЕГАРД

8 (4742) 220-555

www.regard-tour.ru

ISBN 978-5-88247-904-5



9 785882 479045

ISBN 978-5-88247-902-1



9 785882 479021



ЛИПЕЦК - 2018