

# ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛ

- УСЛОВИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЛУЧЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ИСПЫТАНИЙ
- СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВС



■ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ

■ ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЕВРОАЗИАТСКИМ МЕЖДУНАРОДНЫМ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ЦЕНТРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ



ТЕМА НОМЕРА:

ОЦЕНКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ БУКС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО ТЕПЛОВЫМ ПРИЗНАКАМ



В целях повышения активности студентов, аспирантов и молодых преподавателей вузов в проведении научных исследований, опытно-конструкторской деятельности, реализации их творческих способностей и к 170-летию Российских железных дорог в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) будет проводиться

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ ТРАНСПОРТУ»

С 2004 года научно-техническая конференция проводится как региональная, с привлечением молодых ученых, аспирантов, докторантов и студентов региона, осуществляющих подготовку специалистов транспорта.

Время проведения VII региональной научно-технической конференции «Молодые ученые транспорту» **15 – 16 ноября 2007 года.**

На конференции предполагается обсудить проблемы и практические вопросы по следующим направлениям:

- повышение надежности, совершенствование технического обслуживания и ремонта подвижного состава;
- совершенствование конструкции системы ремонта и эксплуатации электрического подвижного состава;
- строительство и эксплуатация транспортных сооружений;
- математическое моделирование и численные методы;
- вибрационные машины. Статические и динамические воздействия на элементы строительных конструкций;
- новые технологии в организации перевозок на железнодорожном транспорте;
- информационные технологии и защита информации;
- системы передачи информации и компьютерные сети;
- безопасность жизнедеятельности: охрана труда, инженерная защита окружающей среды;
- разработка и эксплуатация систем сигнализации, централизации и блокировки;
- экономика транспорта в условиях реформирования;
- современные проблемы управления персоналом на производстве;
- экономика и педагогика профессионального образования;
- ценностный мир человека в XXI веке;
- организация производства и труда на транспорте. Транспортная логистика;
- о здоровье нации;
- современные проблемы графического образования.

Информация по конференции находится на сайте УрГУПС

<http://www.usurt.ru/in/>

в разделе «Научная деятельность – Докторантура и аспирантура – Конференции, конкурсы»



### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- 1 Ефимов Александр Васильевич — главный редактор, президент УрГУПС.
- 2 Сай Василий Михайлович — зам. главного редактора, проректор по научной работе (УрГУПС).
- 3 Асадченко Виталий Романович — зам. главного редактора, д.т.н., профессор (УрГУПС).
- 4 Силуков Юрий Дмитриевич — д.т.н., профессор (УГЛУ).
- 5 Багин Юрий Иванович — д.т.н., профессор (УГТУ-УПИ).

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- 1 Аккерман Геннадий Львович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 2 Александров Александр Эрнстович — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 3 Антропов Владимир Алексеевич — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 4 Аржанников Борис Алексеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 5 Афанасьев Анатолий Ильич — д.т.н., УГГУ (Екатеринбург)
- 6 Бачурин Николай Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 7 Баутин Сергей Петрович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 8 Боровских Александр Михайлович — к.т.н., УГЛУ (Екатеринбург)
- 9 Ваксман Семен Аронович — к.т.н., УрГУ (Екатеринбург)
- 10 Галкин Александр Геннадьевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 11 Глушко Марат Иванович — д.т.н., УО ВНИИЖТ (Екатеринбург)
- 12 Готлиб Борис Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 13 Грицык Валерий Иванович — д.т.н., РГУПС (Ростов-на-Дону)
- 14 Ковалев Рудольф Николаевич — д.т.н., УГЛУ (Екатеринбург)
- 15 Козлов Петр Алексеевич — д.т.н., ЗАО «Транспортный алгоритм» (Москва)
- 16 Коротаев Владимир Николаевич — д.т.н., ПГТУ (Пермь)
- 17 Коркунова Ольга Владимировна — д.ф.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 18 Кузнецов Константин Борисович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 19 Лапшин Василий Федорович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 20 Наговицын Виктор Степанович — д.т.н. (Москва)
- 21 Павлюков Александр Эдуардович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 22 Паршин Анатолий Васильевич — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 23 Пикалин Юрий Анатольевич — д.э.н. (Свердловская железная дорога)
- 24 Попов Валерий Евгеньевич — д.т.н., НПП «Спектр» (Екатеринбург)
- 25 Рачек Светлана Витальевна — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 26 Резник Леонид Григорьевич — д.т.н., ТГНГУ (Тюмень)
- 27 Самуилов Валерий Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 28 Сергеев Борис Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 29 Скоробогатов Семен Макеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 30 Смольянинов Александр Васильевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 31 Ставров Адольф Павлович — д.т.н., ЮУрГУ (Челябинск)
- 32 Тимофеева Галина Адольфовна — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 33 Умняшкин Владимир Алексеевич — д.т.н., УДГУ (Ижевск)
- 34 Ялышев Юрий Иванович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 35 Яровой Юрий Иванович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)

Выпускающий редактор Неверова Людмила Васильевна.

Контактные телефоны:

(343) 373-07-41, 245-01-34, 245-31-88

lneverova@nis.usurt.ru

### В НОМЕРЕ

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

- Зеленков В.А./ ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКИМ МЕЖДУНАРОДНЫМ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ЦЕНТРОМ (ЕАМЛЦ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ 2
- Козлова В.П./ РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ 9
- Балалаев А.С., Леонтьев Р.Г./ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ РЫНКА 12
- Никищенко С.А./ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАТОРНЫХ СХЕМ ПРОЦЕССОВ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ 18

- Кручинин И.Н., Савсюк М.В./ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИБКОЙ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГУСЕНИЦЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ КОЛЕСАМИ 22
- Быстров О.И., Кукис В.С./ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВС 24
- Романов В.А./ СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВНОГО ВОЗДУХА ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ 26
- Баженов Е.Е., Буйначев С.К., Козубский А.М./ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ АВТОПОГРУЗЧИКА С ПОМОЩЬЮ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА И ТЕОРИИ ГРАФОВ 29
- Джиошвили М.В./ КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СУРОВОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ АВТОМОБИЛЯ К ЭТИМ УСЛОВИЯМ 34
- Гаваев А.С./ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АДАПТИВНОСТИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ К ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ ВОЗДУХА 37

- #### ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. АВТОМАТИКА. ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ
- Якушев А.Я., Викулов И.П., Гоголев Г.А., Чернов С.С./ РАСЧЕТ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОПЫТНОГО ЭНЕРГОСБЕРГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 40
- Саложников В.В., Лыков А.А., Петров А.В., Осадчий Г.В./ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ 46
- Павлов В.М., Галкин А.Г., Смердин А.Н., Чертков И.Е., Финиченко В.Н./ УСЛОВИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЛУЧЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ИСПЫТАНИЙ 51
- Бегагоин Э.И., Пасынков А.С./ СТРУКТУРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 54
- Дынских Б.Е., Барбачков А.С./ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ ДЛЯ ОДНОПУТНОГО УЧАСТКА В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 94 кВ 56

- #### ЛОКОМОТИВЫ И ВАГОНЫ
- Федоров Д.В./ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ЛОКОМОТИВОВ 59
- Жарова Е.А./ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ДВУХЪЯРУСНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ АВТОМОБИЛЕЙ 63
- Сендеров Г.К., Поздина Е.А., Дмитриев В.П., Дмитриев И.В./ СПОСОБ РАСЧЕТА РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА БОКОВЫХ РАМАХ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ 66
- Миронов А.А., Салтыков Д.Н., Образцов В.Л., Павлюков А.Э./ ОЦЕНКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ БУКС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО ТЕПЛОВЫМ ПРИЗНАКАМ 69
- Другаль С.А., Глушко М.И./ К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ РАЗГРУЗОЧНЫХ МАШИН 74

- #### СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
- Грицык В.И., Окост М.В./ ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ПОДБАЛЛАСТНОЙ ЗОНЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ 78
- Аkkerман Г.Л., Гавриленко А.К./ ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РАВНОУПРУГОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ 83



## ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКИМ МЕЖДУНАРОДНЫМ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ЦЕНТРОМ (ЕАМЛЦ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

**В августе 2002 г. распоряжением правительства Свердловской области от 02.08.2002 № 601-РП было организовано ОАО «Евро-Азиатский международный транспортно-логистический центр». Общество предназначено для подготовки и реализации инвестиционного проекта по созданию в Свердловской области основного транспортно-логистического узла УрФО, выполняющего роль стыковочного пункта Международного транспортного коридора № 2 и Транссиба.**

В соответствии с разработанным консалтинговой компанией «Делойт и Туш» бизнес-планом и проведенным ГИПРОТРАНСТЭИ исследованием перспектив изменения потоков контейнеропригодных грузов на период до 2010 г. была разработана рациональная схема развития транспортно-логистической инфраструктуры региона. ЕАМЛЦ, выполняя функции управляющей компании, должен объединить участников транспортно-логистической цепочки (ТЛЦ) в единую логистическую систему грузодвижения путем координации деятельности субъектов Уральского региона, тяготеющих по транспортному обслуживанию к Екатеринбургскому транспортному узлу.

В функции ЕАМЛЦ совместно с информационными подразделениями различных видов транспорта входит и обеспечение информационной поддержки участников ТЛЦ. Основой информационной поддержки участников ТЛЦ, на мой взгляд, может быть ИТ-инфраструктура на базе комплексной информационно-вычислительной сети (КИВС) Главного вычислительного центра – филиала ОАО «РЖД» и магистральной цифровой сети связи компании «ТранТелеКом». В ближайшей перспективе планируется конвергенция сетей связи, сочетающая SDH- и NGN-технологии. Для мобильной и стационарной радиосвязи планируется широкое использование цифровых сетей на основе технологий широкополосного беспроводного доступа.

Растущая конкуренция на рынке телекоммуникаций заставляет операторов искать новые решения, которые позволят расширить спектр предлагаемых услуг, снизить расходы на сопровождение сети, повысить рентабельность, привлечь новых клиентов путем минимизации затрат на установку и дальнейшее обслуживание оборудования. Такие решения должны обеспечивать хорошую масштабируемость и быть рассчитаны на стабильный интерес клиентской базы и внедрение новых приложений, требующих поддержки функций качества обслуживания и значительной полосы пропускания.

При значительном интересе и росте культуры логистики быстрый обмен информацией и создание необходимой инфраструктуры становятся наиболее актуальными для крупных центров логистики.

Требования времени таковы, что компаниям приходится иметь множество подразделений в местном, региональном и российском масштабе. Синхронизация всех филиалов, отделений, офисов и отдельных терминалов происходит при помощи высокоскоростных сетей. Ранее дорогие выделенные линии и сети ретрансляции кадров были привилегией крупных предприятий, теперь технология IP делает коммуникационные артерии не только доступными, но и более быстрыми.

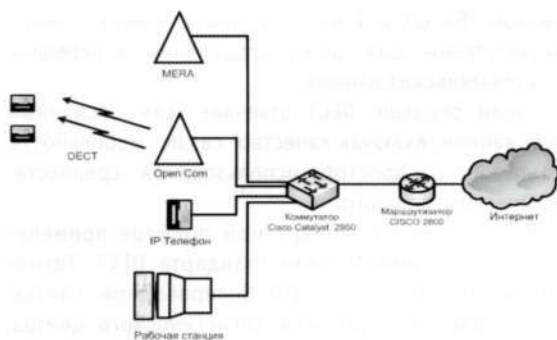
Все эти требования наилучшим образом обеспечивают предложенные схемы подключения объектов связи на территории как отдельно взятого терминала логистического центра, так и удаленных объектов связи (внутренние и внешние виртуальные кольца).

Факторы, влияющие на выбор технологии Ethernet:

- рост требований к полосе пропускания в связи с появлением новых типов приложений;
- высокая концентрация абонентов в офисных (административных) зданиях или терминалах;
- низкая стоимость первоначальных затрат и затрат на поддержание работы оборудования;
- исключительно низкая цена за 1 Гб информации;
- стандартный интерфейс с возможностью предоставления пакета услуг на одном клиентском порту;
- отличная масштабируемость по количеству портов;
- большое количество специалистов, имеющих опыт работы с Ethernet.

Типовая сеть Ethernet для обеспечения связи в отдельно взятом терминале строится на трехуровневой иерархической схеме и включает ядро, уровень агрегации и уровень доступа (рис. 1).





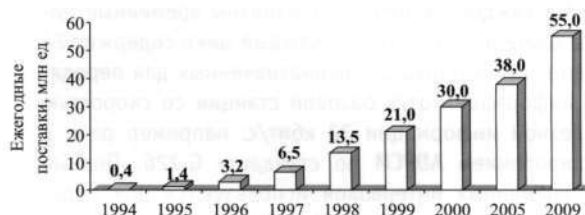
**Рисунок 1 – Структурная схема подключения объектов связи (DECT, VoIP) на территории терминала**

Ядро сети строится на высокопроизводительных маршрутизаторах Cisco серий 2600 и коммутаторах Cisco 2950, что дает высокоскоростную передачу трафика. Маршрутизатор Cisco принимает входящую информацию, сортирует и разбивает (т.е. отделяет IP-трафик от голосового трафика).

На уровне агрегации посредством пограничного контроллера соединений MERA обеспечивается связь объекта и провайдера, контролируется трафик VoIP, а также выполняется функция call-centre. Пограничный контроллер MERA решает также проблему совместимости корпоративных IP-АТС друг с другом и с оборудованием VoIP-операторов. Пограничный контроллер соединений MERA может использоваться как единый центр управления корпоративной сетью, а также распределять исходящие звонки между операторами, к которым подключена корпоративная сеть. Возможность выбора оператора и маршрута с оптимальным соотношением цены и качества имеет ключевое значение для сокращения расходов предприятия на телефонную связь, а также для повышения качества обслуживания. На уровне доступа связь поддерживается оборудованием OPEN COM, обеспечивающим общение абонентов по телефонам стандарта DECT (рабочих зон «поставки», «разгрузки» и «сортировки»). Система OPEN COM 1010 довольно успешно применяется в качестве многофункциональной АТС на малых и средних предприятиях, а также в терминалах и складских помещениях. Если говорить образно, то это – «связь без проводов и свободными руками». Гибкая микросотовая DECT-система позволяет найти абонента в любой точке действия базовой станции. Одним из наиболее оптимальных и экономически выгодных предложений для обеспечения качественной связью в настоящее время можно считать беспроводную мини-сотовую связь стандарта DECT.

Любой руководитель предприятия задумывается о том, как правильно организовать связь в случаях, когда необходимо поддерживать постоянный контакт с сотрудниками, не имеющими стационарного

рабочего места. Какое количество вопросов клиентов или потенциальных заказчиков остается без ответов из-за того, что нет возможности оперативно разыскать сотрудника, способного прояснить ситуацию! Решение подобных задач – одно из основных назначений аппаратуры персональной мобильной связи, реализованной в стандарте DECT. Простота и эргономичность оборудования позволяет в короткие сроки обеспечить связью пространство любой конфигурации. Так, американская компания Brightpoint, специализирующаяся на дистрибуции беспроводных устройств и предоставлении логистических услуг, оценивая российский рынок беспроводных технологий, рассчитала, что в 2006 г. в России будет продано около 40 млн беспроводных устройств (рис. 2).



**Рисунок 2 – Прогнозируемый рост рынка продаж DECT [1]**

Стандарт DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications or Telephony) – цифровая усовершенствованная система беспроводной телефонии – DECT – разработан Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) в 1992 г. Система связи на основе стандарта DECT обеспечивает покрытие достаточно большой площади, позволяет осуществлять роуминг и передачу вызовов при переходе пользователя из зоны действия одной базовой станции в зону действия другой, предоставляет другие преимущества.

Основные преимущества систем на основе стандарта DECT:

- качество на уровне проводной линии связи;
- высокий уровень безопасности и защиты от прослушивания;
- возможность создания различных модификаций систем обслуживания («малый офис», «подвижные» корпоративные системы, системы фиксированного радиодоступа и др.);
- существование различных DECT в общем частотном диапазоне;
- совместимость оборудования разных производителей (DECT/GAP);
- устойчивая работа в условиях перегруженной и агрессивной радиообстановки;
- низкий уровень излучения (безопасность для здоровья);



– возможность использования сопутствующей гарнитуры (освобождение рук абонента при передаче и приеме звонков).

Данный стандарт специально разработан для таких применений и, согласно приказу № 128 Министерства связи России, не требует трудоемкой процедуры выделения частотного диапазона (1880–1900 МГц). Этот частотный диапазон шириной 20 МГц разделен на 10 частотных полос с центральными частотами несущих.

Значения центральных частот радиоканала  $F_n$  определяются по формуле

$$F_n = F_o \cdot n \cdot 1728, \text{кГц},$$

где  $F_o = 1897\,344 \text{ кГц}$ ;

$n$  – номер канала,  $n = 0, 1, \dots, 9$ .

Результаты вычислений занесены в табл. 1.

На каждой частоте организованы временные циклы длительностью 10 мс. Каждый цикл содержит 24 временных интервала, предназначенных для передачи информации от/к базовой станции со скоростью полезной информации 32 кбит/с, например речи с кодированием ADPCM по стандарту G.726. Первые 12 временных интервалов используются для передачи от базовой станции (downlink), а следующие 12 временных интервалов – для передачи к базовой станции (uplink). Такая организация использования радиоспектра называется «множественный доступ с временным разделением с дуплексом с временным разделением на многих несущих», или в англоязычной терминологии MC/TDMA/TDD (Multiple Carrier / Time Division Multiple Access / Time Division Duplex) [2–5].

Структурная схема организации радиоканала технологии DECT приведена на рис. 3.

Таким образом, комбинация несущая частота + временный канал называется физическим каналом. Всего существует 240 физических каналов. Из этих 240 каналов половина используется для передачи информации от RFP к PP, а другая половина – в обратном направлении. Следовательно, DECT в состоянии поддерживать 120 одновременных дуплексных каналов. На рис. 3 видно, что каждый физический канал (временной интервал) содержит защитный интервал длительностью 25 мс для обеспечения множественного доступа, 32 бита синхронизации (SYN), 64 бита управления (C) и биты данных (I) переменной длины. Биты синхронизации используются физическим каналом для целей синхронизации, и они присутствуют в каждом физическом канале. Поэтому ресинхронизация может производиться перед каждым физическим

каналом. Биты C и I образуют два логических канала соответственно для целей управления и передачи пользовательских данных.

Таким образом, DECT отвечает всем основным требованиям, включая качество связи, мобильность, безопасность и простоту использования среднестатистическим абонентом.

Рассмотрим на конкретном примере применение беспроводной связи стандарта DECT. Техническое задание: обеспечить беспроводной связью 100 человек, сотрудников логистического центра, работающих в железнодорожном терминале размером 100 x 100 м (рис. 4).

Одним из наиболее важных этапов проектирования систем беспроводного доступа (WLL) является определение необходимого числа радиоканалов в зависимости от числа обслуживаемых абонентов и ха-

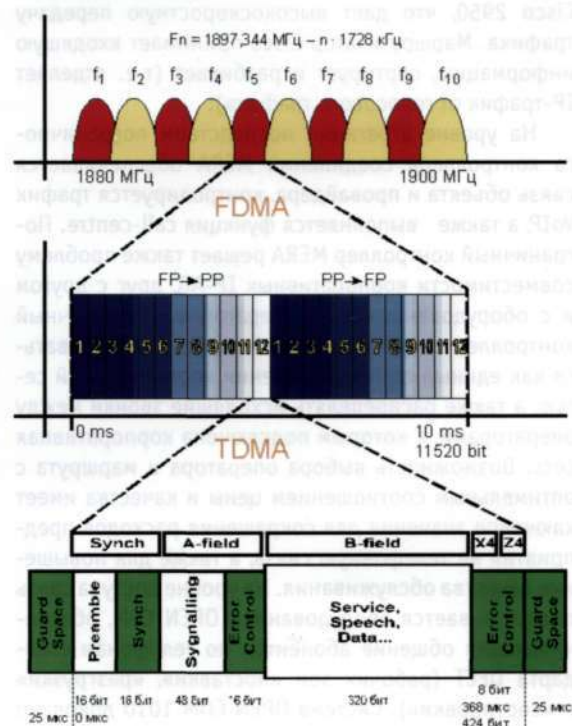


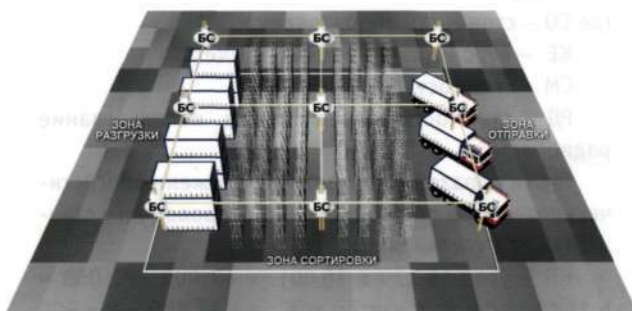
Рисунок 3 – Структурная схема организации радиоканала технологии DECT:

Guard Space – защитный интервал; Preamble, Synch – синхронизация 32 бит; Signalling, Error Control – управление 64 бит; Service, Speech – биты данных; Service, Speech... Error Control – информационные биты.

Таблица 1

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_n$ (МГц)	1 897,3	1 895,6	1 893,9	1 892,2	1 890,4	1 888,7	1 887,0	1 885,2	1 883,5	1 881,8





**Рисунок 4 – Размещение БС (базовых станций) в ангаре логистического центра**

рактических характеристик системы связи с точки зрения интенсивности создаваемой нагрузки и вероятности отказов (блокировок).

В нашей системе будем ориентироваться на нагрузку, создаваемую одним абонентом в 0,1 Эрл с вероятностью отказа 1%. Согласно исходным данным, система рассчитана на работу со 100 абонентами.

Следовательно, будет создаваться нагрузка, которую можно посчитать по следующей формуле:

$$\text{Эрл}_{\text{нагр}} = N \cdot 0,1,$$

где  $N = 100$  – количество абонентов.

$$\text{Эрл}_{\text{нагр}} = 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ Эрл.}$$

**Таблица 2 – Нагрузка для различных значений вероятности блокирования и емкости радиоканала [2–5], Эрл**

Количество каналов	Вероятность блокировки, %							
	1	1,5	2	3	5	7	10	20
1	0,010	0,015	0,020	0,031	0,053	0,075	0,111	0,250
2	0,153	0,190	0,223	0,282	0,381	0,471	0,595	1,000
3	0,455	0,536	0,663	0,715	0,899	1,057	1,271	1,930
4	0,870	0,992	1,092	1,259	1,526	1,748	2,045	2,944
5	1,361	1,524	1,657	1,877	2,219	2,504	2,881	4,010
6	1,913	2,114	2,277	2,544	2,961	3,305	3,758	5,108
7	2,503	2,743	2,936	3,250	3,738	4,139	4,666	6,229
8	3,129	3,405	3,627	3,987	4,543	4,999	5,597	7,369
9	3,783	4,095	4,345	4,748	5,370	5,879	6,546	8,521
10	4,462	4,808	5,084	5,529	6,216	6,776	7,511	9,684
11	5,160	5,539	5,842	6,328	7,076	7,687	8,487	10,857
12	5,876	6,287	6,615	7,141	7,950	8,610	9,477	12,036
13	6,607	7,049	7,402	7,967	8,835	9,543	10,472	13,222
14	7,352	7,824	8,200	8,803	9,730	10,485	11,475	14,412
15	8,108	8,610	9,010	9,650	10,633	11,437	12,485	15,608
16	8,875	9,406	9,828	10,505	11,544	12,393	13,501	16,807
17	9,652	10,211	10,656	11,368	12,465	13,355	14,523	18,010
18	10,450	11,024	11,491	12,245	13,389	14,323	15,549	19,215
19	11,241	11,854	12,341	13,120	14,318	15,296	16,580	20,424
20	12,041	12,680	13,188	14,002	15,252	16,273	17,614	21,635



Эрланг находится как произведение среднего времени обслуживания вызова на среднее число вызовов в единицу времени. Эти оценки обычно делают в час пик, т.е. в период максимальной нагрузки сети. Трафик в 0,5 Эрл означает, что канал занят 0,5 ч в час пик.

Исходя из того что мы используем восьмиканальные БС, находим их количество:  $БС = 18 : 8 = 2,25$ .

Округляем полученные данные в большую сторону и получаем три базовых станций. Итак, для предоставления качественных услуг связи необходимо использовать три БС с общим количеством каналов, равным 24. Однако для обеспечения 100%-й качественной связью заданного числа абонентов (100 человек) на заданной территории потребуются установка девяти БС. Это связано с высокими отражающими и затухающими свойствами сигнала. Так, качественному приему сигнала в «зоне сортировки» будут препятствовать металлические конструкции стеллажей, подъемников и т.д. Угол охвата восьми кросс-поляризованных антенн составляет в среднем около 60%, поэтому центральная антенна должна иметь всенаправленную диаграмму.

Таким образом, получаем 72 канала связи на основе девяти БС. Эти характеристики позволяют получить систему с заданной вероятностью соединения в обслуживании подвижных абонентов сети при заданном качестве связи.

Для оценки инвестиционной привлекательности использования беспроводной связи стандарта DECT в центрах логистики рассмотрим два варианта расчета капиталовложений (КВ) при внедрении беспроводной связи на примере строящегося центра (ЕАМЛЦ).

Рассмотрим два варианта связи: DECT и Motorola «Горизонт 2-mini».

Дано: 12 терминалов – складов размером 100 х 100 м. Количество сотрудников, пользующихся беспроводной связью в каждом терминале, – 80 человек.

Пример 1. Формула расчета:  $КВ = (СО \times КЕ) + СМ + РД$ ,

где СО – стоимость оборудования;

КЕ – курс евро на момент расчета;

СМ – стоимость материалов;

РД – стоимость разрешения на использование радиочастоты.

Таким образом, капитальные вложения логистического центра при внедрении беспроводного стандарта DECT составляют:

$КВ = (169\,189,39 \times 36,00) + 48\,000 + 25\,000 = 6\,163\,818,04$  р. с учетом НДС, где  $48\,000 = 8 \times 500 \times 12$  – стоимость кабеля УТР (необходимая длина кабеля для одного терминала составляет 500 м, стоимость 8 р. за метр).

Пример 2. Капитальные вложения логистического центра при внедрении беспроводной сотовой связи Motorola «Горизонт 2-mini».

Формула расчета:  $КВ = 14\,880\,000,00 + 48\,000 + 40\,000 = 14\,968\,000,00$  р. с учетом НДС.

Таким образом, КВ инновационного проекта DECT более чем в два раза экономичнее, чем покупка оборудования беспроводной сотовой связи Motorola «Горизонт 2-mini».

Кроме того, ежемесячные выплаты за пользование электроэнергией, за использование радиочастоты, а также выплаты заработной платы специалисту, занимающемуся ремонтом и профилактическим осмотром оборудования двух приведенных стандартов связи, показывают различные величины (табл. 3).

Расчеты показывают, что внедрение в производственную деятельность беспроводной связи стандарта DECT позволяет не только экономить первоначальные вложения капитала в покупку оборудования, но и существенно сократить расходы на обслуживание системы в процессе последующей эксплуатации. По оценкам специалистов «Телефонной компании Урал», предложенная инфраструктура систем связи соответствует потребно-

Таблица 3 – Сравнительная таблица ежемесячных платежей, руб. (с НДС)

Вид платежа	DECT	«Горизонт 2 - mini»
Электроэнергия	1 998,36	2 664,48
Использование радиочастоты	1 200,00	3 000,00
Зарплата специалисту по обслуживанию систем	8 820,00	8 820,00
Всего	12 018,36	14 484,48



стям логистических центров в отношении стратегии их развития в такой степени, чтобы выступать катализатором их роста.

Именно данные обстоятельства и определяют актуальность проведенного исследования.

Предварительный расчет показал, что для обеспечения бесперебойной связью одного терминала логистического центра (число абонентов до 80 человек) потребуется 9 базовых станций стандарта DECT. Шлюз IP-телефонии и встроенный контроллер зоны позволяют существенно экономить на междугородных и международных телефонных переговорах. При этом, что немаловажно именно для повышения работы центров логистики, в трубки DECT могут быть вмонтированы устройства считывания штрихкода товаров.

Подключение удаленных пользователей (логистических центров) осуществляется при помощи организации VPN-сетей бизнес-клиентов. VPN (Virtual Private Network – виртуальная частная сеть) – логическая сеть, создаваемая поверх другой сети, например Интернет. Несмотря на то что коммуникации осуществляются по публичным сетям, с использованием небезопасных протоколов за счет шифрования создаются закрытые от посторонних каналы обмена информацией. Таким образом, вместо традиционного объединения офисов выделенными каналами по принципу «каждый с каждым», VPN дает возможность организовать обособленную виртуальную сеть логистического центра в рамках общей инфраструктуры (объединения нескольких центров логистики). Включение отдельно взятого логистического центра в единую

**Таблица 4 – Единовременные затраты центра логистики**

При включении в виртуальное кольцо	При включении в сеть традиционной телефонии
Приобретение Маршрутизатор Cisco 2600=58 750 руб. Контроллер Мега= 273 000 руб.	Предоставление доступа = 4 500 руб. * 72 тел. = 324 000 руб.
Приобретение 2 коммутаторов = 17 500* 2=35 000 руб.	Приобретение телефонных аппаратов -1000* 72 шт.=72 000 руб.
Приобретение цифровых телефонов = 2 600* 72 шт.= 187 200 руб.	
Кабель UTP = 8 руб. * 1000 метров = 8000 руб.	
ИТОГО: 561 950 руб.	ИТОГО: 396 000 руб.

**Таблица 5 – Текущие затраты центра логистики на услуги Ethernet**

При включении в виртуальное кольцо	При включении в сеть традиционной телефонии
Затраты на трафик в год = 11 826 000 мин. * 0,02 руб. = 236 520 руб.	Затраты на трафик в год = 11 826 000 мин. * 0,25 руб. = 2 956 500 руб.
Амортизация оборудования в год = 366 750*0,1 =36 675 руб.	Плата за абон.линию = 170 руб. * 72 * 12мес. = 146 880 руб.
ИТОГО: 273 195 руб.	ИТОГО: 3 103 380 руб.



корпоративную сеть сводится к созданию интернет-канала между офисами центра и ближайшей точкой присутствия провайдера. Канал организуется на обычной городской телефонной линии с применением технологии ADSL, при этом каждый телефон работает независимо от интернет-канала [6, 7].

Перестраивание сети с требованием протокола IP имеет два важных аргумента: простоту и низкую стоимость. По прогнозам исследования компании Infonetics Research, продажа оборудования для Ethernet с 2005 по 2009 г. вырастет на 27% и достигнет объема в 22,2 млрд долларов. Кроме того, операторы связи сознательно снижают расценки за 1 бит пропускной способности, что должно лишний раз подогреть динамику рынка [7].

Расчеты специалистов «ТК – Урал» показали существенную экономию средств предприятия как по единовременным затратам при покупке оборудования, так и по текущим затратам (табл. 4 и 5).

Предполагается, что из общего количества сотрудников логистического центра административный персонал, который будет иметь выход в виртуальное кольцо, составит 207 человек (в каждом

терминале по 18 человек). Учитывая то, что логистический центр работает круглосуточно, будет 3 смены по 8 ч (т.е. по 6 человек в смену). Каждый сотрудник будет разговаривать 2,5 часа в смену.

Исходящий трафик (в пределах виртуального кольца) со всех терминалов за год составит:

$2,5 \text{ ч} \times 6 \text{ чел.} \times 3 \text{ смены} \times 12 \text{ терминалов} \times 365 \text{ дней} = 197\,100 \text{ ч в год} = 11\,826\,000 \text{ мин в год.}$

Цифровые телефоны = 6 человек  $\times$  12 терминалов = 72 шт.

Коммутатор на 48 портов (2 порта служебные) = 72 цифровых телефона / 46 портов = 2 шт.

При этом стоимость 1 мин трафика провайдера равна 0,02 руб., что приводит к экономии денежных затрат трафика по сравнению с затратами традиционной телефонии.

Таким образом, построение мультисервисной сети Ethernet внутренней и внешней связи логистического центра несет пользователю несомненные выгоды: гибкость развертывания, повышение производительности труда сотрудников – при значительной экономии денежных средств.

## Литература

1. Зеленков В.А. Современные решения DECT для построения систем доступа и обеспечения информацией центров логистики // Организация производства. Логистика на транспорте: Сб. науч.тр. / Под ред. В.М. Самуйлова. - Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2007. - Вып. 56 (139). - С 86-94.
2. Исследование мировых направлений и тенденций развития новейших радиотехнологий, изыскание возможных путей их обеспечения радиочастотным ресурсом в России на период до 2015 года: Отчет по НИР. - ФГУП НИИР, 2004.
3. Лукин М. Стандарты беспроводной связи// Современная электроника. - 2005. - № 1. -С. 10-12.
4. Татарников О. Развитие беспроводных сетей в России// Компьютер пресс. - 2005. - № 5. - С.4-13.
5. Проспект фирмы GOODWIN: [www.ge.Goodwin.ru](http://www.ge.Goodwin.ru)
6. Мучлер Ш. Экономичная доставка данных на большие расстояния// LAN. - 2006. - № 3.
7. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей// Энциклопедия. - СПб: Питер, 2000. - 704 с.
8. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. - М.: Техносфера, 2004.



## РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ

Экономическое взаимодействие производственных систем должно сопровождаться надежными и эффективными транспортными связями. Для этого транспортная инфраструктура должна быть хорошо развита. Чтобы достичь такого положения, нужны серьезные инвестиции. И такая задача ставится в стратегии развития транспорта на долгую перспективу и в программе развития на ближайшие годы.

При этом значительная часть сложных инфраструктурных проектов будет осуществляться на основе государственно-частного партнерства и обоснованию эффективности инвестиций, что напрямую связано с корректностью расчетов параметров будущего объекта, будет придаваться большое значение.

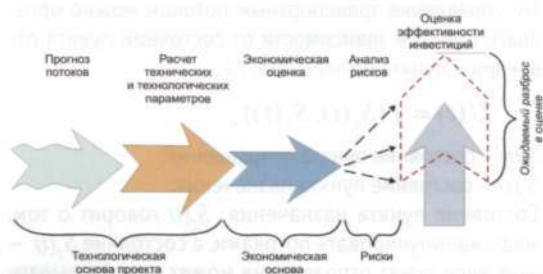
Транспортные системы, такие как железно-дорожные станции и транспортные узлы, имеют сильную структурную и функциональную связность и трудно поддаются расчету. За последние несколько десятилетий накопился определенный опыт применения тех или иных методологических подходов и моделей для расчета и оптимизации транспортных систем.

Строгий анализ показывает, что зачастую методы использовались некорректно. Существовали разные научные школы, которые могли придерживаться различных, а то и противоположных взглядов. Например, сложные транспортные узлы пытались рассчитывать как системы массового обслуживания, хотя в узлах большую роль играет управление, а этот метод такое свойство практически не отображает.

До сих пор в инструкциях по расчету необходимого числа путей на станциях основу составляют детерминированные формулы, хотя они не могут описать качественные особенности горловин (от этого напрямую зависит степень полезного использования путей) и влияние случайных процессов. До сих пор норму оборота вагонов в промышленных узлах (а значит, и технологию взаимодействия магистрального и промышленного транспорта и экономические их взаимоотношения) определяют по суточному плану-графику, хотя этот метод не отображает случайные процессы, а они существенно влияют на величину межоперационных простоев. Ошибки при таких применениях методов достигают пятидесяти и более процентов.

Анализ теоретических источников и в особенности существующей практики оценки инвестиционных проектов [1] показывает, что значительно

переоценивается надежность их технологической основы – прогноза потоков и расчета технических и технологических параметров (рис. 1) – и тем самым существенно занижается возможный разброс в показателях эффективности. Анализ фактической реализации такого рода проектов дает возможность заключить, что технологическая основа при существующей методологии значительно более зыбкая. Расчетные технические и технологические параметры чаще всего не соответствуют реальным условиям работы, и возможный разброс в оценке эффективности недопустимо велик.



**Рисунок 1 – Предполагаемая схема расчета в оценке эффективности инвестиций**

Экономическая сущность технико-технологических рисков состоит в следующем (рис. 2). Ошибки в расчете технических параметров (рис. 3) приведут к неправильному расчету капитальных затрат, а ошибки в расчете технологических параметров (рис. 4) – к ошибке в оценке текущих затрат проектируемой транспортной системы.



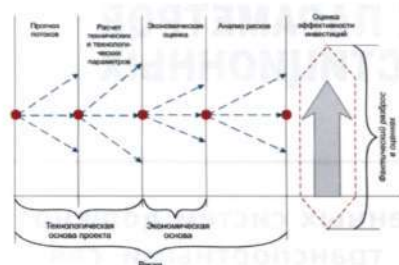


Рисунок 2 – Фактическая схема оценки эффективности инвестиций

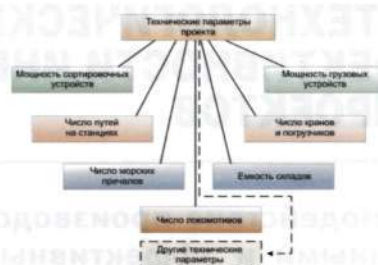


Рисунок 3 – Технические параметры инвестиционного проекта



Рисунок 4 – Технологические параметры инвестиционного проекта

Таким образом, при инвестициях в развитие транспортных систем со сложной структурой возникает опасность ошибочного определения будущих технических и технологических параметров. Это может быть и из-за ошибочного прогноза транспортных потоков, и из-за некорректного определения границ расчетного объекта, и из-за неправильного выбора метода и методологии расчета. Необходимо исследовать природу неопределенностей, вызывающих эти риски, и предложить методологию анализа и управления ими (здесь эти риски называются технико-технологическими). В огромной литературе по управлению инвестиционными рисками в этой области существует явный пробел.

Управление создает динамические резервы [2], которые по функции замещают статические. Управление есть функция состояния

$$U(t) = f(S(t)),$$

где  $U(t)$  – управление;

$S(t)$  – состояние системы.

Но управление транспортным потоком можно организовать только в зависимости от состояний пункта отправления и пункта назначения, т.е.

$$U(t) = f(S_1(t), S_2(t)),$$

где  $S_1(t)$  – состояние пункта отправления;

$S_2(t)$  – состояние пункта назначения.

Состояние пункта назначения  $S_2(t)$  говорит о том, как надо манипулировать потоками, а состояние  $S_1(t)$  – в какой мере пункт отправления может реализовывать требуемое управление.

Итак, если провести границы объекта исследования по сильноуправляемым связям, мы потеряем динамические резервы, которые для обеспечения надежности функционирования придется заменить статическими. То есть в проекте будет предусмотрено избыточное число путей, складов и др., что приведет к серьезным ошибкам в обосновании инвестиций.

Например, инвестиционным объектом может быть морской терминал, а расчетным – терминал – грузовая станция или терминал – грузовая станция – отделение дороги (рис. 5).

Проиллюстрируем это на примере реальной межрегиональной транспортно-складской системы.

Транспортно-складские системы являются важным фактором современного транспортного обслуживания. Они позволяют преобразовать входные потоки в потоки, удобные для получателей по величине, ритму прибытия и т.п. Чаще всего транспортно-складские системы включают в себя распределительный склад, систему складов у получателей и транспортных связей между ними. От согласованной работы этих трех составляющих зависит эффективность работы всей системы, а именно степень полезного использования складов и ее возможность поглощать и порождать всплески.

Транспортно-складской сервис входит как часть в рынок логистических услуг клиентам.

Динамические резервы заменяют статические по функции, но имеют другую природу. Это резервы управления. То есть развитое управление потоками заменяет в какой-то мере статические резервы.

Динамические резервы могут быть четырех родов.

Динамические резервы первого рода возникают при гибком взаимодействии однородных потоков.

Динамические резервы второго рода возникают при гибком взаимодействии разнородных струй. Разнородные струи используют одни и те же средства для перемещения – вагоны, контейнеры, автомобили, краны, а также

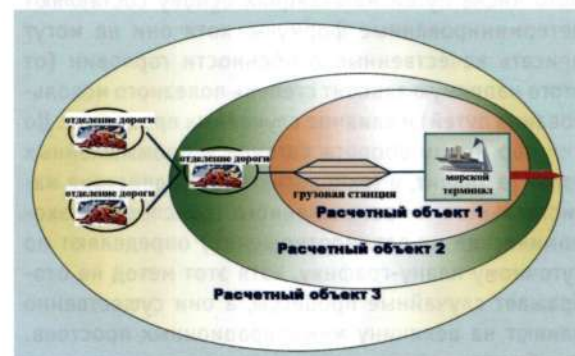


Рисунок 5 – Несовпадение инвестиционного и расчетного объекта при развитии транспортного узла



людей, занятых на погрузке, разгрузке, оформлении документов и т.п. Управление заключается в ускорении пропуска одной струи за счет замедления другой.

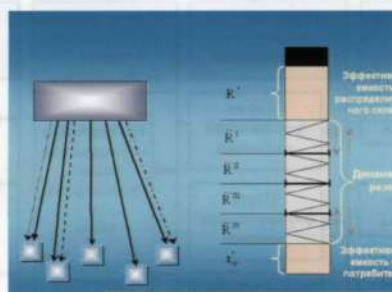
Динамические резервы третьего рода возникают в общем случае при гибком взаимодействии производства и транспорта. Если адаптивные свойства транспорта исчерпаны, то необходимо уменьшить рассогласование ритмов работы поставщиков и потребителей.

Динамические резервы четвертого рода возникают при гибком взаимодействии потоков и структуры транспортно-складской системы.

Переброской пропускных способностей обеспечивается требуемый пропуск потоков, исчезает необходимость в дополнительных емкостях в распределительном складе. Возникает эффект резервов. Изменение пропускной способности может быть обеспечено переброской вагонов, контейнеров, автомобилей или изменением организации перевозок (например, ускорением оборота контейнеров). Гибкое перераспределение площадей приводит также к эффекту появления дополнительных резервов.

Таким образом, суммарная эффективная емкость транспортно-складской системы, т.е. ее возможность поглощать и порождать всплески потоков, включает в себя эффективные емкости распределительного и конечных складов, а также динамические резервы (рис. 6). «Гармошка» динамических резервов может как бы растягиваться и сжиматься в зависимости от эффективности управления потоками и организации работы всей системы. Суммарная необходимая емкость распределительного и конечных складов  $RR$  будет прямо зависеть от степени их использования  $\gamma$  и от величины динамических резервов  $\tilde{R}$

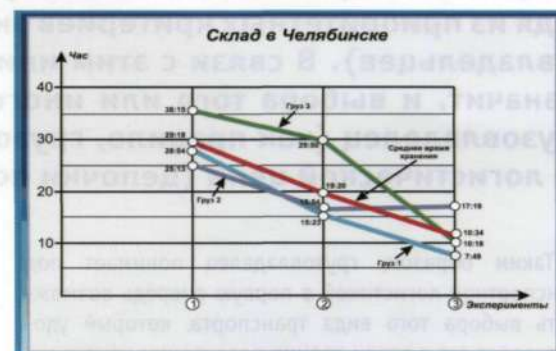
$$RR = f(\gamma, \tilde{R}).$$



**Рисунок 6 – Суммарная эффективная емкость транспортно-складской системы при управляемых потоках**

Ухудшение управления и уменьшение динамических резервов приведет к замещению их статическими, т.е. дополнительными емкостями складов.

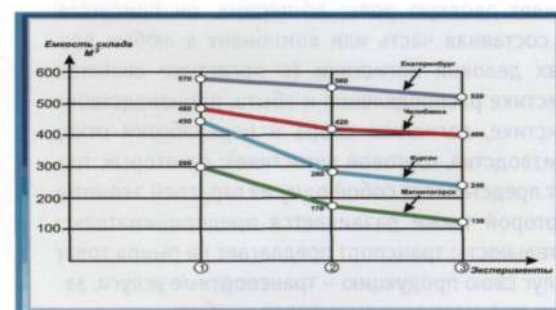
Расчеты на имитационной модели для реальной распределенной транспортно-складской системы показали следующее. Если склады объединены управляемыми адаптивными связями, то снижается среднее время хранения грузов (рис. 7).



**Рисунок 7 – Среднее время хранения грузов**

При этом, естественно, снижается и требуемая емкость складов. Однако объектами приложения инвестиций будут, как правило, отдельные складские системы в разных городах. Если рассчитывать их изолированно, адаптивность связей будет потеряна – склады будут спроектированы с завышенными резервами.

Последующая логистическая организация реальной распределенной транспортно-складской системы показала корректность расчетов (рис. 8).



**Рисунок 8 – Зависимость требуемой емкости складов от управления**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. - М., 1998. - 123 с.
2. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: Дис. ... докт. техн. наук. - Липецк: ЛПИ, 1986.



# ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ РЫНКА

**Значение транспортной логистики заключается в организации перемещения материального потока транспортом общего пользования исходя из приоритетных критериев экономических субъектов рынка (грузовладельцев). В связи с этим инициатором логистического процесса, а значит, и выбора того или иного вида транспорта является именно грузовладелец (как правило, грузоотправитель), находящийся в начале логистической цепи (цепочки поставок).**

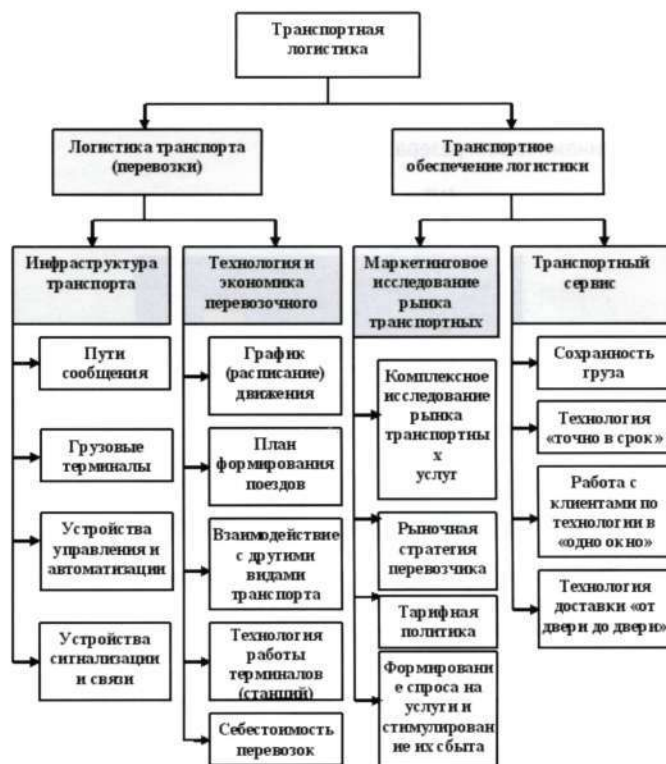
Таким образом, грузовладелец понимает под транспортной логистикой в первую очередь возможность выбора того вида транспорта, который удовлетворяет его с точки зрения реализации критериев предпочтения. Поэтому главная задача транспортной логистики – это формирование конкурентоспособных транспортных составляющих логистических систем экономических субъектов рынка (грузовладельцев), позволяющих удовлетворять их потребности не только с точки зрения возможности перемещения продукции, но и при обязательном выполнении требований предъявляемых к качеству перевозки [1].

В работе [2] при рассмотрении транспортной логистики предлагается учитывать два аспекта ее деятельности – в виде логистики транспорта и транспортного обеспечения логистики.

По мнению [3], транспорт в экономике страны и играет двоякую роль: во-первых, он присутствует как составная часть или компонент в любых других типах деловой логистики (в логистике снабжения, логистике распределения и сбыта, производственной логистике, логистике сбора и переработки отходов производства, торговой логистике); во-вторых, транспорт представляет собой одну из отраслей экономики, в которой также развивается предпринимательская деятельность: транспорт предлагает на рынок товаров и услуг свою продукцию – транспортные услуги, за которые получает доходы и имеет прибыль.

С учетом [2, 3] функциональную структуру транспортной логистики с позиций перевозчика можно представить следующими взаимосвязанными блоками (рис. 1). Для железнодорожного транспорта логистика транспорта представляет собой деятельность, направленную на оптимизацию внутреннего функционирования железнодорожного транспорта, заключающуюся в рациональной организации вагонопотока, обеспечении пропускной и провозной способности железных дорог, безопасности движения поездов, что позволяет в конечном счете осуществлять своевременную и сохранную доставку груза.

Основным инструментарием логистики транспорта являлись и являются план формирования поездов и график движения поездов. В отличие от логистики транспорта, материальным потоком при решении задач транспортного обеспечения логистики является не вагонопоток, а грузопоток, а партнерами – экономические субъекты рынка (грузоотправители, грузополучатели) и другие виды транспорта.



**Рисунок 1 – Функциональная структура транспортной логистики**



Основные сферы деятельности составляющих элементов транспортной логистики (с учетом специфики железнодорожного транспорта) приведены в табл. 1.

Задача непосредственного перемещения груза возложена на транспортную составляющую логистической цепи. В связи с тем что логистическая цепь может включать в свой состав достаточно много звеньев, выполняющих различные функции и объединенных общей интегративной целью – продвижение сквозного материального потока с минимальными логистическими издержками, – возникает необходимость уточнения понятия транспортной составляющей.

В широком смысле под транспортной составляющей понимается один или несколько видов транспорта, участвующих в процессе перемещения продукции какого-либо предприятия в рамках одной

логистической цепи. Поэтому формирование транспортных составляющих в этом понятии подразумевает выбор видов транспорта, включаемых в логистическую цепь.

Однако такое определение не предполагает управляющих воздействий на эту часть логистической цепи со стороны координаторов перевозки, так как управление транспортом осуществляется перевозчиками. Поэтому при проектировании конкретной логистической цепи транспортная составляющая – это часть транспортных средств конкретного перевозчика, обеспечивающих транспортировку груза отдельного экономического субъекта рынка (грузовладельца) в соответствии с договором перевозки. Таких транспортных составляющих может быть несколько по числу перевозчиков. Основные различия между логистической цепью и транспортной составляющей приведены в табл. 2.

**Таблица 1 – Основные сферы деятельности составляющих элементов транспортной логистики**

Признаки	Составляющие транспортной логистики	
	логистика транспорта	транспортное обеспечение логистики
Целевая функция	деятельность, направленная на оптимизацию внутреннего функционирования транспорта, заключающаяся в рациональной организации вагонопотоков, обеспечении пропускной и провозной способностей железных дорог, безопасности движения поездов	формирование конкурентоспособных транспортных составляющих логистических систем экономических субъектов рынка (грузовладельцев), позволяющих удовлетворять их потребности не только с точки зрения возможности перемещения продукции, но и при обязательном выполнении требований, предъявляемых к качеству перевозки
Взаимодействующие элементы	структурные подразделения транспорта, связанные с движением поездов	экономические субъекты рынка (грузоотправители, грузополучатели) и другие виды транспорта
Основной инструментальный	план формирования поездов, график движения поездов	договорные отношения между участниками процесса товародвижения
Объект воздействия	вагоно- и поездопотоки	грузовой поток

**Таблица 2 – Основные различия между логистической цепью и транспортной составляющей**

Параметры	Логистическая цепь	Транспортная составляющая
Миссия	Доведение материального потока до потребителя в соответствии с критериями предпочтения грузовладельца	Выполнение условий договора на перевозку с минимальными затратами для перевозчика
Место в логистической системе экономического субъекта рынка	Элемент логистической системы	Элемент логистической цепи
Составляющие элементы	Посредники, обеспечивающие продвижение материального потока от продавца до покупателя (экспедиторы, перевозчики и т.д.)	Технические и транспортные средства конкретного вида транспорта
Характер управляющего воздействия	Взаимоувязка действий всех посредников, участвующих в процессе товародвижения	Управление движением транспортных средств
Инициатор управляющего воздействия	Экономический субъект рынка	Корпоративный центр управления
Количество видов транспорта	Один и более	Один





Есть и другие различия, в частности, если формирование логистической цепи осуществляется экономическим субъектом рынка, то формирование транспортной составляющей – перевозчиком на основании технологии работы данного вида транспорта с учетом критериев предпочтения грузовладельца.

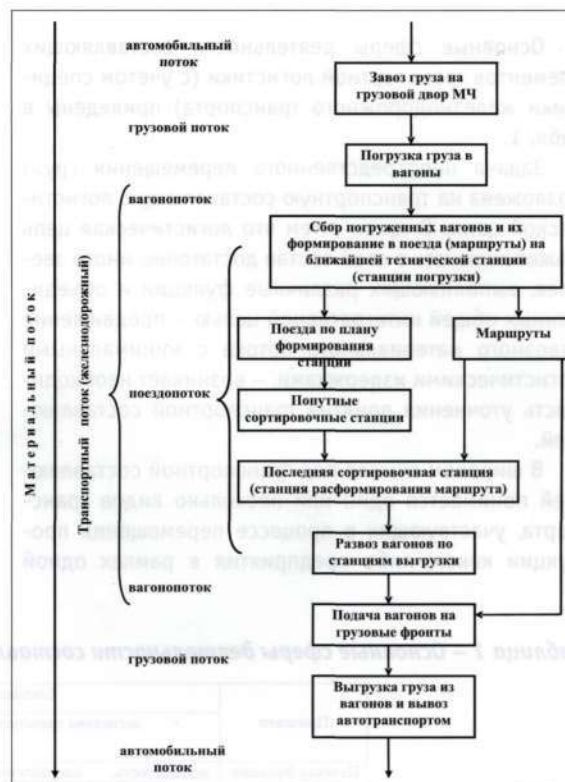
Взаимоотношения между транспортным посредником (представителем экономического субъекта рынка) и перевозчиками как элементами логистической системы имеют свою особенность. С одной стороны, выбор вида транспорта осуществляется оператором, но управление транспортными средствами на своем участке логистической цепи осуществляет именно перевозчик. Связано это со спецификой транспортного процесса, выражающейся в том, что перевозчик управляет не материальным потоком, а транспортным, понятия которых не одинаковы.

Материальный поток представляет собой партию товаров определенного продавца, перемещаемую в течение определенного периода времени в адрес конкретного потребителя (покупателя). Величина материального потока зависит от объема поставки товара, предназначенного продавцом к реализации в результате заключения договора (контракта) купли-продажи с покупателем. Это база для формирования грузового потока, трансформируемого впоследствии в транспортный.

В процессе перемещения материальный поток претерпевает ряд изменений, характеризующихся его переходом из одного вида потока в другой. В общем виде материальный поток в процессе перемещения находится в виде грузового потока и в виде транспортного потока. Трансформация материального потока при перевозке груза в железнодорожном сообщении (завоз и вывоз – автотранспорт) представлена на рис. 2.

Под грузовым потоком понимается количество грузов, перевезенных одним видом транспорта в определенном направлении от пункта отправления до пункта назначения (обычно за год). Грузовой поток складывается из грузов, отправленных со станций, пристаней, портов, и измеряется в тоннах в целом или по каждому грузу в отдельности. Величина грузопотока отдельного перегона (участка, географического направления) выражается средней густотой перевозок грузов [4]. В общем случае грузовой поток (грузопоток) необходимо рассматривать с двух точек зрения:

– как показатель транспортной работы (провозной способности). При этом под грузовым потоком понимается масса груза, загруженного в транспортные средства, в процессе перевозки в определенном направлении за определенный промежуток времени. Никакой самостоятельной работы при перевозке с ним не выполняется;



**Рисунок 2 – Трансформация материального потока при перевозке груза в железнодорожном сообщении (завоз и вывоз – автотранспорт)**

– как грузы в процессе выполнения с ними определенных операций в течение установленного времени. В этом случае происходит управление грузовым потоком, которое осуществляется в пунктах отправления и назначения грузов для данного вида транспорта, т.е. локально, и связано с выполнением погрузочно-разгрузочных и других работ с целью его перегрузки на другой вид транспорта или для последующего временного хранения.

Грузовой поток (грузопоток) зависит от перерабатывающей способности погрузочно-разгрузочных машин и механизмов, площади складов, продолжительности работы пунктов погрузки и выгрузки.

Величина грузового потока определяется как сумма материальных потоков отдельных грузовладельцев ( $Q_{m_i}$ ), следующих за учитываемый период времени в данном направлении,

$$Q_{cp} = \sum_{i=1}^s Q_{m_i}$$

где  $s$  – общее количество грузовладельцев, отправляющих продукцию в данном направлении за учитываемый период времени.

Транспортный поток зависит от пропускной способности перегонов, перерабатывающей способно-



сти технических станций в пути следования, грузо-подъемности транспортных средств и представляет собой функцию

$$N_{mp} = f(Q_{zp})$$

Величина транспортного потока прямо пропорциональна величине грузового потока. Основные отличия различных видов потока и их параметры представлены в табл. 3.

На рис. 3 представлена взаимосвязь материального, грузовых и транспортных потоков, возникающих при перемещении товарно-материальных ценностей.



**Рисунок 3 – Виды потоков при продвижении товара:**

**Д – пункты смены перевозчика (вида транспорта): распределительные центры (оптовые базы), пункты перевалки груза с одного вида транспорта на другой при смешанных перевозках и др.**

**Таблица 3 – Параметры различных видов потоков**

Параметры потока	Вид потока		
	Грузовой, $Q_{zp}$	Транспортный, $N_{mp}$	Материальный, $Q_m$
Единица измерения	т/год (сутки, месяц)	транспортных средств/год (сутки, месяц)	т/год (сутки, месяц)
Состояние подвижного состава	груженный	груженный, порожний	груженный
Начальный и конечный пункты перевозки	пункты, предназначенные для перегрузки данного вида транспорта	пункты, предназначенные для перегрузки данного вида транспорта	склад продавца, склад покупателя
Количество видов транспорта, участвующих в перемещении потока	два	один	один и более (определяется взаимным расположением продавца и покупателя)
Управляющее воздействие на поток	в пункте отправления и назначения	в пути следования	от склада продавца до склада покупателя
Управление движением потока	перевозчик, грузо-владелец (экспедитор)	перевозчик	грузовладелец (экспедитор)
Технологическая перегрузка в пути следования	присутствует	как правило, отсутствует	присутствует
Отношение к владению грузом	как учитывается	как правило, отсутствует	собственность
Контроль за продвижением	перевозчик, грузо-владелец (экспедитор)	перевозчик, грузо-владелец (экспедитор)	грузовладелец (экспедитор)
Объект перевозки	материально-технические ценности	транспортные средства в груженом и порожнем состоянии	материально-технические ценности
Направление движения	односторонний, двусторонний	двусторонний	односторонний

Анализ литературы показывает, что в настоящее время нет удовлетворительного определения транспортного потока, отвечающего современным требованиям к процессу товародвижения. Связано это с тем, что период формирования теории транспортных потоков в России и за рубежом приходится на 50-е – 70-е годы прошлого столетия, когда управление перевозками рассматривалось для каждого транспорта отдельно. В настоящее время управление товародвижением осуществляется на уровне перемещения сквозного материального потока от продавца до покупателя с участием нескольких видов транспорта, что требует корректировки существующих понятий транспортного потока.

В уточненном виде под транспортным потоком можно понимать количество единиц транспортных средств одного вида транспорта, проследовавших определенный участок в одном направлении в течение установленного периода времени. Транспортный поток отличается от материального по следующим позициям.

Во-первых, это не обязательно перевозка материально-технических ценностей (груза). Транспортный поток может быть как груженым, так и порожним, грузовым или пассажирским, односторонним или двусторонним, а также смешанным (комбинированным) во всевозможных сочетаниях. Все многообразие видов транспортного потока можно представить следующей схемой (рис. 4).



**Рисунок 4 – Классификация транспортных потоков**

Во-вторых, транспортный поток существует отдельно на каждом виде транспорта.

В-третьих, перемещение транспортного потока в общем виде осуществляется не от склада отправителя до склада получателя, а от пункта отправления данного вида транспорта до пункта назначения, имеющих соответствующую транспортную инфраструктуру и технические средства, предназначенные для выполнения погрузочно-разгрузочных и других операций с подвижным составом данного вида транспорта.



Возможны условия, при которых транспортный поток полностью соответствует материальному по пунктам зарождения и погашения. В этом случае можно говорить о непрерывном транспортном потоке.

При этом под непрерывным потоком понимается транспортировка груза одним видом транспорта от склада отправителя до склада получателя по принципу «от двери до двери». Такие технологии доставки характерны для автомобильного транспорта, а также при железнодорожных перевозках грузов технологическими маршрутами. Более общим является положение, когда материальный поток перемещается несколькими видами транспорта, т.е. имеет место прерывный транспортный поток, состоящий из нескольких элементов, каждый из которых является звеном логистической цепи экономического субъекта рынка.

Отличие транспортного потока от материального в рамках логистической системы проявляется и в особенностях управления им. Управление – термин, которому дается множество определений. В достаточно широком смысле управление – это элемент, функция организационных систем, обеспечивающая сохранение определенной структуры, сохранение поддержания режима деятельности, реализации программы, целей деятельности [5].

В системе, в которой осуществляется процесс управления, можно выделить, с одной стороны, объект управления, с другой – субъект управления. При этом действие управляющего параметра может быть только прямым, односторонним или в виде взаимодействия, когда имеется также обратное воздействие объекта управления на управляющую систему [6]. При управлении логистической системой (объектом) осуществляется переход системы из одного состояния в другое, т.е. управляемый логистический объект под воздействием управляющей системы изменяет свое поведение так, чтобы достичь заданной цели, и при помощи обратной связи выдает ответную реакцию о своем состоянии или функционировании.

По аналогии со способами взаимодействия субъектов и объектов для управления системами могут быть использованы также два способа: классический, или прямой директивный; индивидуализированное управление посредством локальных однородных взаимодействий между соседними ячейками (клетками) однородной среды. При втором способе глобальная цель управления системой достигается с помощью управляющих воздействий, имеющих исключительно локальный характер, т.е. основанных только на локальной информации [7].

Управление материальным потоком в логистической цепи осуществляется на основании постоянного взаимодействия с участниками товародвижения: перевозчиками и пунктами перевалки груза (терминалами и портами). Именно они являются субъектами управления на локальных участках логистической цепи и логистической системы в целом. Материальный поток конкретного

грузовладельца представляет собой часть транспортного (в случае перевозки) или грузового потока (в случае перегрузки) и участвует в логистической цепи в качестве объекта управления.

Локальность означает, что взаимодействие объекта и субъекта управления обеспечиваются только на конкретном участке логистической цепи, например перевозка автомобильным или железнодорожным транспортом, и при переходе материального потока на другой участок их взаимодействие прекращается. Однородность выражается в общих правилах взаимодействия, одинаковых для всех элементов логистической цепи. В частности, это может определяться особыми способами перевозки и перегрузки отдельных грузов, которые должны соблюдаться на всех этапах перемещения (скоропортящиеся, хрупкие, бояться сырости), а также условиями грузовладельцев (сроки доставки, общая стоимость перевозки), реализация которых составляет сущность его договора с координатором перевозки.

Индивидуализированное управление имеет ряд преимуществ перед прямым директивным управлением, в том числе большую устойчивость к сбоям, вызванным отсутствием или ошибками информации о функционировании элементов или отрицательным влиянием внешних возмущающих воздействий. Кроме того, при таком управлении сама подсистема управления физически может отсутствовать, поскольку ее роль могут выполнять сами элементы системы [7]. Для системы управления материальным потоком это положение имеет крайне ограниченное применение и только при условии непрерывного материального потока, когда управляющие воздействия осуществляются корпоративной системой управления транспортным потоком одного перевозчика.

Эффективность управления материальным потоком зависит от того, насколько цели управления соответствующим транспортным (грузовым) потоком совпадают с целями управления материальным потоком. На рис. 5 изображены две окружности, обозначающие совокупности целей при управлении соответственно транспортным



Рисунок 5 – Область совпадения целей управления транспортным и материальным потоками





и материальным потоками. Область совпадения интересов перевозчика и координатора перевозки представлена наложением двух окружностей. Чем эта область больше, тем более эффективной является деятельность координатора, обеспечивающего реализацию критериев предпочтения грузовладельца при обеспечении процесса товародвижения.

К особенностям управления материальным потоком относится возможность увеличения области совпадения целей, которая определяется тем, что часть параметров транспортировки может формулироваться грузовладельцем с элементами нечеткости, выражаемыми словами «желательно», «в пределах», «не более чем...». Поэтому цели управления транспортным потоком, не вошедшие в совместную область, должны анализироваться на предмет их возможного соответствия не наиболее желательному значению параметра, а возможному из того диапазона значений, который допускает грузовладелец.

Управление транспортным потоком (перевозочным процессом) является основным видом производственной деятельности транспортных предприятий и занимает среди многочисленных конкретных (специальных) функций управления на всех видах транспорта центральное место [5].

Для оперативного руководства движением на всех видах транспорта имеется специальный диспетчерский аппарат. Диспетчеризация представляет собой особую

область науки управления, которую можно назвать оперативным регулированием, непосредственной организаторской работой для достижения поставленных целей. Диспетчеризация движения является существенной принципиальной особенностью транспорта. Благодаря непрерывному контролю за перемещением поездов, самолетов, судов, автобусов, удается поддерживать установленный режим движения, а при необходимости вносить в него коррективы.

Централизация управления является и обязательным элементом оптимизации продвижения материального потока. Различие заключается в том, что управление транспортным потоком представляет собой корпоративную деятельность, а управление материальным потоком – процесс, осуществляемый независимыми логистическими центрами на основании корпоративных систем управления перевозчиков, а также систем управления пунктов перевалки груза.

Различия между диспетчерскими и логистическими центрами представлено в табл. 4.

Координатор перевозки, интегрируя транспортную составляющую в логистическую систему, напрямую не воздействует на процесс управления транспортным потоком, сосредотачивая свои усилия на координации действий различных звеньев (элементов) системы для обеспечения ее качественного функционирования.

**Таблица 4 – Различия между диспетчерскими и логистическими центрами**

Признаки	Диспетчерские центры	Логистические центры
Объект управления	транспортный поток	материальный поток
Статус центра	корпоративный	независимая организация
Цель управления	управление движением транспортных средств	согласование и контроль продвижения груза по всему маршруту следования
Показатели функционирования	количественные и качественные для данного вида транспорта	критерии, предъявляемые грузовладельцем

## Литература

1. Балалаев А.С., Леонтьев Р.Г. Императивы развития логистики на железнодорожном транспорте // Транспорт: наука, техника, управление. - 2004 - № 8. - С. 7-18.
2. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов / Под ред. Л.Б. Миротина. - М.: Экзамен, 2003. - 512 с.
3. Маликов О.Б. Деловая логистика. - СПб: Политехника, 2003. - 223 с.
4. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Под ред. Н.С. Конарева. - М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. - 559 с.
5. Веретенников И.П., Леонтьев Р.Г. Корпорации: организационные формы, принципы и функции управления. - М.: ВИНТИ РАН, 2003. - 624 с.
6. Миротин Л.Б., Тышбаев Ы.Э. Системный анализ в логистике: Учебник. - М.: Экзамен, 2004. - 480 с.
7. Филиппов В.Б. Управление глобальными процессами посредством локальных однородных взаимодействий // Компьютерное моделирование. Анализ систем на пороге XXI века: теория и практика: Материалы международной конференции, 27-29 февраля 1996 г. - М.: Интеллект, 1996. - Т. IV. - С. 87-106.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАТОРНЫХ СХЕМ ПРОЦЕССОВ

**Рассматриваются проблемы автоматизированного обнаружения дефектов в процессах работы железнодорожных систем. Приводятся термины и задачи технологической диагностики. Предложена методология технологического диагностирования, предписывающая использование диагностических моделей на основе операторных схем процессов.**

Необходимость диагностирования железнодорожных технологических систем (ЖТС) с целью своевременного обнаружения отклонений в выполнении предписанных технологий определена значительными потерями ресурсов при необнаружении или несвоевременном обнаружении дефектов, обусловленных сбоями и отказами в технике, ошибками в программном обеспечении, неправильными действиями персонала, непредусмотренными ситуациями и т.д. Для ЖТС характерен более высокий уровень интенсивности дефектов, чем для технических систем, вследствие организационно-технического характера процессов, а также рост числа дефектов в переходные периоды, обусловленные перестройкой системы, изменениями технологий и т.д. [1]. Диагностирование ЖТС в рабочем режиме актуально не только с точки зрения качественного обслуживания клиентов и требований безопасности движения, но и для высокодоходных процессов (коммерческая диспетчеризация, перевозки дорогих грузов и т.д.).

Анализ методов диагностирования ЖТС показал: 1) диагностирование технического состояния блоков ЖТС не позволяет обнаруживать характерные дефекты в процессах; 2) выходной контроль не обеспечивает оперативность обнаружения дефектов и снижение потерь ресурсов; 3) перечни обнаруживаемых дефектов базируются, как правило, на специальных неформальных описаниях объекта либо на абстрактных диагностических моделях, требующих проработки для учета специфики ЖТС; 4) недостаточно проработаны и используются автоматизированные системы технологического диагностирования (АСТД), предназначенные для оперативного обнаружения дефектов в высокодоходных процессах с учетом изменений технологий и условий работы ЖТС.

Функционирование ЖТС в течение эксплуатационного цикла, имеющего как этапы стабильной работы, так и этапы модернизации, всегда подчинено требованиям реализации технологий перевозок с заданными нормами и высокими технико-экономическими показателями. Понимая под железнодорожной технологиче-

ской системой комплекс технических, энергетических, организационных, информационных, интеллектуальных и трудовых ресурсов с определенной технологией работы и системой управления, предназначенный для выполнения операций, связанных с перевозкой грузов и пассажиров, можно определить три класса ЖТС: А – с неизменными технологией и процессами; В – с неизменной технологией и изменяемыми процессами; С – с изменяемыми технологией и процессами. При этом анализ корректировок и изменений регламентных процессов, выполненный для ряда ЖТС на полигоне Куйбышевской железной дороги (служба перевозок, центр фирменного транспортного обслуживания, сетевой пункт технического обслуживания грузовых вагонов и др.), показывает, что доля класса В существенно превышает остальные.

Система менеджмента качества, внедряемая на железных дорогах России, базируется на идентификации и устранении дефектов в процессах, но ее спецификой является ориентация на организационные мероприятия, при этом задачи автоматизации диагностирования остаются без должного рассмотрения.

Методология технологической диагностики включает [1]: 1) развитие методов технической диагностики на основе процессно-операционного подхода; 2) построение математической и диагностической моделей процессов на основе применения теории расписаний, теории параллельных процессов, методов многоаспектного анализа, теории алгебраических систем и теории диагностических моделей; 3) применение кибернетического подхода при разработке АСТД с учетом существующих управляющих систем и отраслевого информационного пространства; 4) внедрение методов и средств технологического диагностирования в существующие и проектируемые ЖТС с комплексной оценкой эффективности.

Для определения терминов и понятий технологической диагностики использовались ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения», ГОСТ Р ИСО 9000-2001 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь», отраслевые







В [2, 4] показана целесообразность и эффективность исследования ЖТС с помощью операторных схем и известных результатов теоретического и параллельного программирования: теоремы Бернштейна – Рассела – Нариньяни (условия параллельного выполнения операций); ярусно-параллельных форм и информационно-логических схем (внутренний параллелизм технологии); спусковых функций Котова – Нариньяни (обнаружение дефектов в реконфигурируемых процессах).

Для множества технологических процессов, соответствующих заданной технологии, диагностическая модель определяется в виде  $DM^TP = \langle TP, D^TP \rangle$ , где система дефектов  $D^TP$  включает дефекты теоретико-множественных представлений технологии, реализации и событий:  $D^TP = D^{TL} \cup D^{RL} \cup D^E$ , с использованием универсальной формулировки дефекта для элементов множеств (замена на пустой или другой элемент, наличие лишнего элемента).

Диагностические модели процессов на основе операторных схем в общем случае определяются как совокупность схемы процесса и системы дефектов на ней, т.е.  $DM^{SP} = \langle SP, D^{SP} \rangle$ , где  $D^{SP}$  – система дефектов на операторной схеме процесса,  $D^{SP} = D^{ST} \cup D^{RS} \cup D^{TA}$ ;  $D^{ST}$ ,  $D^{RS}$  и  $D^{TA}$  – перечни дефектов на схеме технологии, в реализации схемы и в таблицах признаков активизации.

Для класса операторных схем процессов разработана событийно-позиционная система дефектов, основанная на требованиях правильного функционирования: 1) по управляемости, обеспеченности и результативности операций (своевременные запуск и окончание, установленные время и место, используемые ресурсы, назначение и результат); 2) по направленности процесса (выполнение операций во времени, их связи, параллелизм и последовательности, определенные передачи управления и ресурсных переменных); 3) по агрегированию признаков событий с позиционированием на схеме (в т.ч. в моментах запуска и окончания операций). Частным случаем событийно-позиционной является актно-временная система дефектов, совместное использование которой с асинхронными схемами процессов лежит в основе метода диагностирования по спусковым функциям операций [4].

Для достижения эффективности технологической диагностики ЖТС с изменяемыми технологиями и реконфигурируемыми процессами требуется: 1) диагностическое обеспечение, приспособленность которого под указанную специфику ЖТС производится за счет: а) комплекса диагностических моделей процессов, б) автоматизации разработки (модификации) операторных схем и диагностических моделей, в) использования диагностических моделей, инвариантных к реконфигурациям процессов, г) использования данных статистики фактического обнаружения дефектов, результатов экспертного обследования объекта и внедрения интегрированной системы менеджмента качества;

2) организация АСТД, позволяющая достичь требуемых показателей по экономичности, обнаруживающей способности и избыточности.

Подсистемы АСТД представлены на рис. 2, где СТД – средство технологического диагностирования, ПДО – подсистема диагностического обеспечения, ППР – подсистема принятия решения.

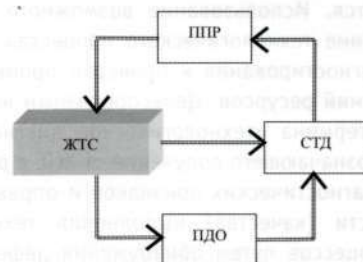


Рисунок 2 – Структура АСТД ЖТС

К основным положениям организации АСТД ЖТС относятся следующие: 1) обеспечивается контролепригодность ЖТС, т.е. доступность и возможность съема и передачи данных о технологическом процессе в пригодном формате (сообщения, записи, сигналы и т.п.); 2) выполняется подготовка АСТД к диагностированию (обработка операторных схем в ПДО и настройка СТД); 3) при функционировании ЖТС в рабочем режиме производится получение и обработка диагностической информации и обнаружение дефектов с помощью СТД; 4) результаты диагностирования обрабатываются в ППР для оперативного вмешательства в работу ЖТС и выполнения соответствующих мероприятий.

На рис. 3 показана блок-схема СТД, включающая блок регистрации событий (БРС), блок формирования диагностических признаков (БФДП), диагностический процессор (ДП), блок памяти контролируемых соотношений (БПКС), блок формирования результатов диагностирования (БФРД) и блок регистрации и архивации результатов диагностирования (БРАРД). При проектировании и внедрении АСТД конкретной ЖТС указанные блоки раскрываются в соответствующем программно-аппаратном комплексе.

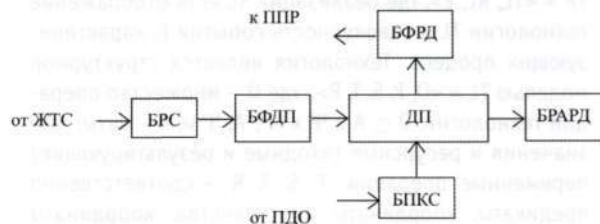
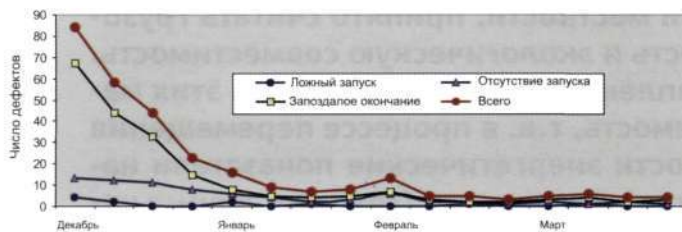


Рисунок 3 – Блок-схема средства технологического диагностирования



В рамках договора между Куйбышевской железной дорогой и Самарским государственным университетом путей сообщения на внедрение автоматизированной системы сменно-суточного планирования (АС ССП) грузовой работы дороги разработана и введена в эксплуатацию подсистема диагностирования с использованием операторных схем. На рис. 4 и в табл. 1 приведены результаты диагностирования процессов коммерческой диспетчеризации и оценка эффективности.



**Рисунок 4 – Статистика обнаружения дефектов технологических операций исполнения заявок грузоотправителей в АС ССП**

В табл.1 показатели имеют следующее содержание: Э – экономический эффект, З – затраты на разработку и внедрение,  $K^{Э}$  – коэффициент экономической эффек-

**Таблица 1 – Показатели эффективности АСТД**

Экономические показатели			Показатели обнаружения			Показатели избыточности		
Показ.	Знач.	Ед.изм.	Показ.	Знач.	Ед.изм.	Показ.	Знач.	Ед.изм.
Э	2500	т.руб.	$D^{обн}$	294		$K^{пи}$	5	%
З	1230	т.руб.	$T_{ср}^{обн}$	5	мин.	$K^{ви}$	9	%
$K^{Э}$	2,03		$T_{ср}^{отр}$	12	мин.	$K^{ти}$	10	%

тивности;  $D^{обн}$  – число обнаруженных дефектов,  $T_{ср}^{обн}$  – среднее время обнаружения,  $T_{ср}^{отр}$  – среднее время обработки дефекта;  $K^{пи}$ ,  $K^{ви}$  и  $K^{ти}$  – коэффициенты избыточности (программной, временной и трудовых ресурсов).

При применении АСТД, использующих операторные схемы процессов, решаются задачи: оперативный контроль («технологический процесс выполняется?», «какие операции выполняются?», «какие операции не выполняются при наличии всех ресурсов?» и т.д.), обнаружение дефектов («какие дефекты, в каком количестве?», «какие дефектные операции выполнялись, остановлены, предотвращены?»), анализ результатов диагностирования («какие ресурсы для запуска операции не готовы?», «почему не запускается операция, если ресурсы готовы?», «почему произошла задержка или невыполнение?», «в чем причина ложного запуска?», «какие ресурсы потеряны?») и принятие мер по устранению дефектов и обеспечению правильного выполнения процесса («исключить невыполнение операции», «устранить задержку» и т.д.).

Преимущества использования операторных схем заключаются в том, что они являются формальными и стандартизированными описаниями разнообразных и многоаспектных технологических процессов на железнодорожном транспорте; представляют математическое и методическое обоснование для комплекса диагностических моделей, в т.ч. для построения диагностических инвариантов; дают способ исследования технологий и процессов в условиях их изменений и реконфигураций, основанный на результатах теоретического программирования; обеспечивают применимость компьютерных технологий для визуализации, обработки и хранения

схем процессов, а также для имитационного моделирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никищенок С.А. Проблемы и методология автоматизированного технологического диагностирования реконфигурируемых железнодорожных систем // Проблемы железнодорожного транспорта на современном этапе развития: Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. вып. - Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2006. - С. 86-89.
2. Никищенок С.А. Способы функционального диагностирования реконфигурируемых технологических систем по параллельным операторным схемам // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. - 2005. - №10. - С. 41-48.
3. Никищенок С.А., Петров М.В., Сиваков С.В., Черемухин А.Н. Технология функционального диагностирования реконфигурируемых транспортных систем // Транспорт: наука, техника, управление. - 2005. - №4. - С. 15-20.
4. Никищенок С.А. Метод контроля реконфигурируемых транспортных систем по спусковым функциям // НТТ- наука и техника транспорта. - 2004. - № 3. - С. 62-69.



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИБКОЙ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГУСЕНИЦЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ КОЛЕСАМИ

В качестве основных показателей, характеризующих эксплуатационные свойства гусеничных транспортно-технологических машин (ТТМ) при их перемещении по неподготовленной местности, принято считать грузоподъемность, проходимость, надежность и экологическую совместимость. На наш взгляд, наиболее важным комплексным показателем для этих машин следует считать опорную проходимость, т.к. в процессе перемещения по деформируемой опорной поверхности энергетические показатели напрямую зависят от степени повреждения поверхности (глубина, форма колеи, степень уплотнения поверхности и т.д.).

Особенно вызывает затруднение перемещение машин по глубокому снежному покрову.

Однако существующие расчетные схемы применимы только для машин, оснащенных звенчатым гусеничным движителем с жесткими опорными катками.

В настоящее время наиболее приспособленным к условиям неподготовленной местности типом ходовой части является гибкая резинометаллическая гусеница (РМГ), одетая на пневматические колеса.

На рис. 1 представлена расчетная схема взаимодействия РМГ с деформируемой поверхностью с учетом деформации пневмошин, прогиба  $W$  рабочей ветви и натяжения гусеницы  $T$ . При перемещении по деформируемой поверхности происходит перераспределение нормального напряжения под опорной ветвью резинометаллической гусеницы и пневматических шин, что вызывает появление прогиба гусеницы между опорными пневмокотками.

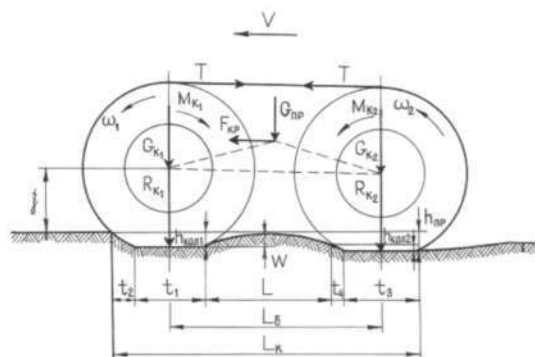


Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия резинометаллической гусеницы с деформируемой поверхностью

При этом опорная ветвь может удлиняться за счет деформации пневмокотка и уменьшения стрелы прогиба свободной ветви. Распределение нормального давления по длине контакта и оценка колеобразования на примере прицепа повышенной проходимости конструкции УГЛТУ подробно рассмотрены в работе [1].

Однако применение резинометаллической гусеницы, одетой на пневматические колеса прицепа, вызывает появление дополнительных сил сопротивления движению. Сила от натяжения гусеницы, действуя на каркас шины, деформирует ее. В результате натяжения гусеницы произойдет перераспределение величины сноса вертикальной реакции на передних и задних колесах тележки, т.е. возникнет кинематическое несогласование.

В режиме буксирования (ведомый режим движения) в контуре РМГ колесо – гусеница – колесо от силы натяжения гусеницы появятся крутящие моменты  $M_{k1}$  и  $M_{k2}$ . Возникающее при движении кинематическое несогласование должно компенсироваться за счет сил упругости замкнутого контура или за счет сил скольжения колес.

В нашем случае, для одной стороны тележки в контуре РМГ колесо – гусеница – колесо крутящие моменты будут равны

$$M_{k1} = \frac{R_{k1}^0 - R_{k2}^0}{\lambda_{k1} - \lambda_{k2}} = -M_{k2}$$

где  $M_{ki}$  – крутящий момент, Нм;

$R_{ki}^0$  – статический радиус колеса, м;

$\lambda_{ki}$  – коэффициент тангенциальной эластичности колес, м/Нм.

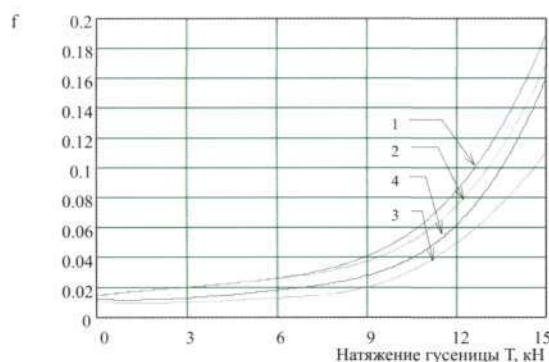


Как показано в работе [2], сопротивление движению пневматического колеса при приложении к нему крутящего момента определится следующим образом:

$$f = f_0 \frac{R_k^0}{R_k} + \frac{M_k}{G_k} \cdot \frac{R_k^0 - R_k}{R_k^0 \cdot R_k},$$

где  $f_0$  – сопротивление качению колеса в ведомом режиме;

$G_k$  – нагрузка на колесо, Н.



**Рисунок 2 – Изменение дополнительного коэффициента сопротивления качению шин от натяжения гусеницы и давления воздуха в них:**

1 – шина М-93 при  $P_{ш}=0,50$  МПа; 2 – шина М-93 при  $P_{ш}=0,55$  МПа; 3 – шина ИЯВ-12 при  $P_{ш}=0,45$  МПа; 4 – шина ИЯВ-12 при  $P_{ш}=0,55$  МПа

**Таблица 1 – Сопротивление качению прицепа в зависимости от натяжения гусеницы и типов шин**

Тип шины: $P_{ш}$ , МПа; $G_k$ , кН	Натяжение гусеницы $T$ , кН	Радиус колеса $R_k$ , м	Кэфф. сопротивления качению $f_k$	Дополнит. усилие на перемещение прицепа, кН
320х 508;	0,96	0,551	0,0139	2,544
ИЯВ-12;	3,64	0,543	0,0185	3,385
$P=0,45$ ;	6,63	0,530	0,0248	4,575
$P=0,55$ ;	11,52	0,506	0,0534	9,691
$G=15,51$	14,21	0,481	0,1402	25,621
320х 508;	0,96	0,539	0,0137	3,631
ИЯВ-12;	3,64	0,527	0,0176	4,664
$P=0,45$ ;	6,63	0,513	0,0198	5,247
$P=0,55$ ;	11,52	0,486	0,0412	10,918
$G=23,69$	14,21	0,469	0,1068	28,355

На рис. 2 приведены расчетные значения изменения коэффициента сопротивления движению экспериментального прицепа на РМГ в зависимости от усилия натяжения гусеницы. В табл. 1 приведены значения дополнительного сопротивления от перемещения.

На всех типах опорной поверхности существенное значение оказывает усилие натяжения гусеницы. Так, на снежной целине незначительное предварительное натяжение уменьшает прогиб рабочего участка и делает распределение нормального давления более равномерным.

Однако по мере увеличения натяжения сопротивление движению возрастает, что снижает эффективность применения РМГ. На уплотненных участках натяжение гусеницы должно иметь наименьшее значение.

С целью оптимизации параметров ходовой части ТТМ были проведены статистические испытания на расчетной модели РМГ. Варьировались: предварительное натяжение РМГ, давление в пневматических шинах, статическая нагрузка на пневмошину, тип опорной поверхности.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Применение РМГ на транспортно-технологических машинах позволяет значительно улучшить опорную проходимость за счет более равномерного перераспределения нормального давления.

2. Дополнительное усилие, затрачиваемое на перемещение ТТМ, оснащенных РМГ, одетыми на пневматические колеса, могут достигать значительных величин, что необходимо учитывать при их эксплуатации.

3. Наименьшее сопротивление движению на деформируемой поверхности оказывает ТТМ при предварительном натяжении РМГ в диапазоне 2,04–3,64 кН.

4. Для уменьшения внутренних сил сопротивления движению ходовой части прицепа можно рекомендовать поддерживать сверхнормативное давление в пневмошинах.

5. Наибольшая эффективность применения резинометаллических гусениц может быть реализована на грунтах с несущей способностью менее 210 кПа или при глубине снежного покрова свыше 25 см.

## Литература

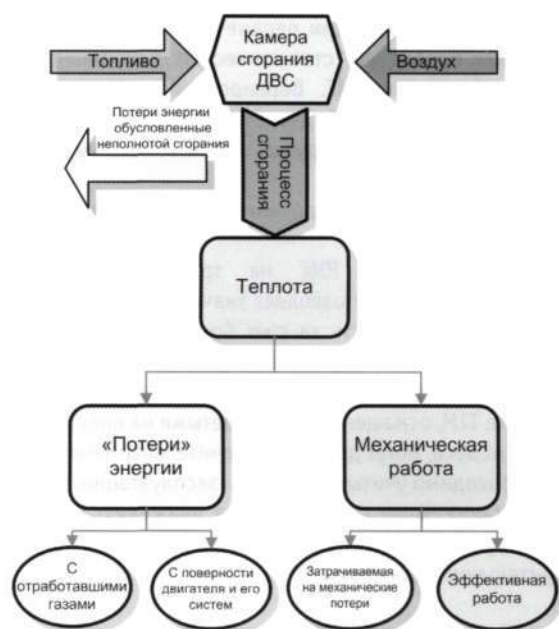
1. Кручинин И.Н. Математическая модель для расчета параметров ходовой части лесотранспортных и лесозаготовительных машин// Изв. высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2006. - № 1. - С. 52-57.
2. Петрушов В.А., Шуклин С.А., Московкин В.В. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. - М.: Машиностроение, 1975. - 225 с.



## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВС

**Совершенство рабочего процесса поршневых ДВС, согласно теории двигателей [1], оценивается величиной индикаторного КПД (т. е. эффективностью преобразования термохимической энергии топлива в работу расширения) или величиной тепловых «потерь».**

Принципиально выделявшаяся при сгорании теплота «теряется» либо с поверхности двигателя, либо с уходящими из него отработавшими газами (ОГ) (рис. 1).



**Рисунок 1 – Принципиальная схема распределения термохимической энергии топлива в двигателе внутреннего сгорания**

Основную часть тепловых потерь двигателей составляют потери с ОГ. Выбрасываемые из двигателей в атмосферу ОГ обладают механическим, термическим и химическим потенциалами. Первый обусловлен разницей давлений; второй – разницей температур; третий – разницей концентраций компонентов ОГ и окружающей среды, а также возможностью протекания химических реакций после выброса ОГ в атмосферу. Наличие градиентов потенциалов обуславливает возможность соответственно механического (деформационного), термического и химического взаимодействий ОГ с окружающей средой, т. е. принципиальную возможность получения работы.

Из перечисленных составляющих энергии отработавших газов технически доступными сегодня средствами можно утилизировать механическую составляющую и энергию теплового потока.

Результаты оценки «потерь» энергии с ОГ, выбрасываемыми в атмосферу из силовых установок мобильной техники, свидетельствуют о значительных резервах повышения экономичности и возможности получения дополнительной полезной работы в случае более полного использования этой энергии.

Для решения задачи наиболее полного использования теплоты сгорания топливовоздушной смеси в настоящей статье предлагается получать дополнительную работу из нереализованной теплоты в тех же самых цилиндрах того же самого двигателя, организовав еще два дополнительных такта (т. е. создав шеститактный комбинированный двигатель с новым рабочим процессом).

Первый, второй и третий такты данного двигателя ничем не отличаются от первых трех тактов обычного дизеля (впуск, сжатие, рабочий ход). После рабочего хода ОГ не выпускаются из цилиндра (выпускной клапан не открывается). Следует четвертый такт – такт повторного сжатия (в цилиндре сжимаются ОГ). В конце этого процесса через отдельную форсунку в объем камеры сжатия цилиндра двигателя под высоким давлением впрыскивается вода. Далее вода переходит в состояние перегретого пара. Под воздействием давления пара, смешанного с продуктами сгорания, поршень совершает еще один рабочий ход (пятый такт). Завершает цикл шестой такт выпуска.

Данный комбинированный цикл позволяет до минимума сократить потери термохимической энергии, образовавшейся при сгорании органического топлива. Значительная часть внутренней энергии ОГ будет израсходована на парообразование и перегрев водяного пара с последующим преобразованием в работу.

Диаграмма идеализированного цикла шеститактного комбинированного двигателя в координатах  $p$ - $V$  показана на рис. 2.

Использование предлагаемого цикла позволяет не только использовать большую часть «потерь» теплоты, имевших место ранее с ОГ, но и при определенных условиях доокислять в цилиндре двигателя неполностью сгоревшие углеводороды, угарный газ и сажу, что позволит значительно снизить токсичность продуктов горения, вы-



брасываемых двигателем в окружающую среду. После впрыска воды в сжатые продукты сгорания она испаряется и переходит в состояние перегретого пара.

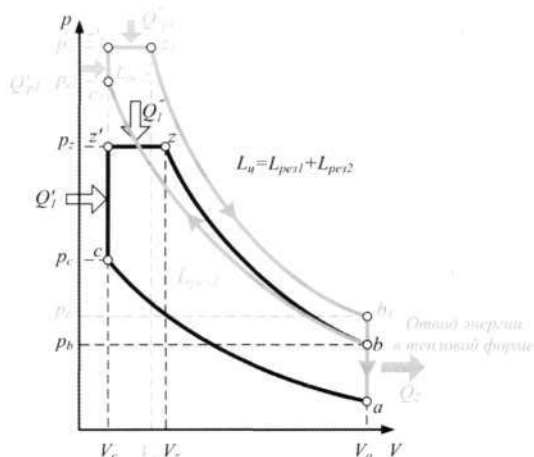
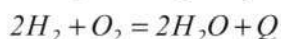
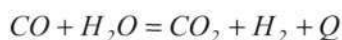
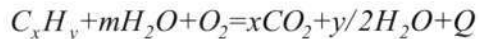


Рисунок 2 – Идеализированный цикл шеститактного двигателя в координатах  $p-V$

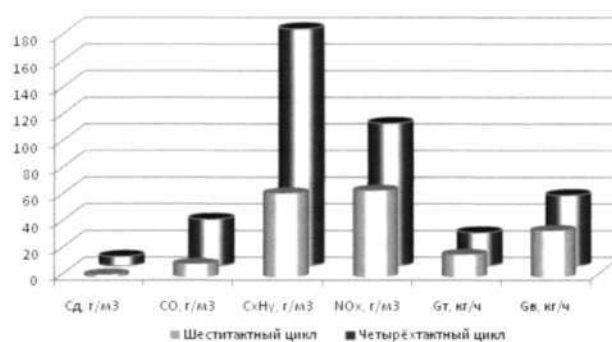
В связи с высокой температурой (600-700°C) в присутствии перегретого пара происходят окислительные реакции [2]:



Это позволяет доокислить несгоревшие углеводороды, сажу и угарный газ и улучшить экологические параметры отработавших газов. Повышается полно-

та использования потенциала углеводородного топлива. Уменьшается удельный эффективный расход топлива. Величина работы, совершенной в течение данного цикла, в сравнении с работой цикла с комбинированным подводом теплоты увеличивается на площадь фигуры  $b-c-z-z'-b$ , (см. рис. 2).

Диаграмма улучшения показателей дизеля при переводе его на шеститактный цикл показана на рис. 3 [2].



**Рисунок 3 – Сравнительные показатели экологической безопасности дизеля с шести- тактным и четырехтактным циклами**

В процессе эксплуатации данного двигателя полезная работа, получаемая от парообразования и доокисления, будет расти при снижении эффективности основных процессов и соответственно снижаться при повышении их эффективности. Эксплуатационный износ деталей цилиндропоршневой группы и системы питания дизеля приводит к ухудшению параметров сгорания. Дополнительные процессы шеститактного цикла позволяют компенсировать снижение мощности двигателя и предотвратить увеличение токсичности его отработавших газов.

## Литература

1. Вибе И.И. Теория двигателей внутреннего сгорания. - Челябинск: ЧПИ, 1974. - 252 с.
2. Хасанова М.Л. Повышение экологической безопасности двигателей внутреннего сгорания за счет утилизации теплоты их отработавших га-зов: Дис. ... канд. техн. наук. - Челябинск, 2002. -171 с.
3. Богданов А.И. Повышение мощностных, экономических и экологических показателей силовых установок за счет утилизации теплоты отработавших газов: Дис. ...канд. техн. наук. - Челябинск, 1999. - 180 с.
4. Боровских Ю.И., Буралев Ю.В., Морозов К.А. Устройство автомобилей. - М.: Высшая школа, 1988. - 288 с.
5. Груданов В.Я., Цап В.Н., Ткачев Л.Т. Глушитель с утилизацией теплоты отработавших газов // Автомобильная промышленность. - 1987. - № 5. - С. 11-12.
6. Кукис В.С. Системно-термодинамические основы применения двигателей Стирлинга для повышения эффективности силовых и теплоиспользующих установок мобильной техники: Дис. ... д-ра техн. наук. - Челябинск, 1989. -461 с.
7. Автомобильные двигатели /Под ред. М.С. Ховаха. - М.: Машиностроение, 1977. - 591 с.



## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ**

**В статье приведена принципиальная схема стабилизации температуры наддувочного воздуха при работе дизеля на переменных режимах и устройство стабилизатора температуры наддувочного воздуха для дизеля ЯМЗ-8424.**

При работе дизелей с наддувом на переменных режимах имеют место значительные колебания температуры свежего заряда, поступающего в цилиндр. Анализ материалов по исследованию влияния этой температуры на параметры дизелей с газотурбинным наддувом [1-4 и др.] свидетельствует о том, что на работе двигателя отрицательно сказывается и высокая, и низкая температура свежего заряда.

В первом случае снижаются коэффициенты наполнения и избытка воздуха, увеличиваются продолжительность процесса сгорания, температура отработавших газов (а значит, потери энергии с выбрасываемыми в атмосферу отработавшими газами), что ведет к снижению коэффициента эффективного тепловыделения, увеличению расхода топлива и снижению индикаторного КПД. Растет максимальная температура цикла, а значит, и тепловая нагруженность основных деталей двигателя.

При относительно низкой температуре наддувочного воздуха увеличиваются максимальное давление в цилиндре и жесткость, повышаются ударные механические нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма.

Особенно остро вредное влияние низкой температуры наддувочного воздуха проявляется при длительной работе комбинированных двигателей на режимах малых нагрузок и холостого хода. При этом существенно изменяются в худшую сторону условия организации и протекания рабочего процесса: появляется неустойчивость топливоподачи в последовательно протекающих циклах, ухудшается распыл топлива, снижается температура рабочего тела в цилиндре.

Со снижением средней температуры рабочего тела понижается температура носка распылителя форсунки и деталей, образующих внутрицилиндровое пространство [5]. В этих условиях происходит интенсивное накопление «низкотемпературных» отложений, в основе своей представляющих вторичные нефтяные смолы, образующиеся в процессах окисления нефтепродуктов или в процессах полимеризации их ненасыщенных соединений. Продукты уплотнения смол – асфальтены, набухая в масле, формируют на металлических поверхностях (которые адсорбируют образуемые в масле компоненты) лаковые пленки. Последние, обладая высокой агнезией, задерживают на себе любые твердые частички. Осо-

бенно подвержены накоплению смолистых отложений канавки поршня [6]. Отложения, образующиеся на выпускных клапанах, могут привести к их неправильной посадке на седло и в результате этого – к утечке рабочего тела.

В условиях низкой температуры окружающего воздуха проблемы работы двигателей на частичных нагрузках и холостом ходу особенно обостряются [7]. Могут иметь место пропуски воспламенений в отдельных циклах, что способствует интенсивному появлению промежуточных продуктов химических реакций окисления с образованием смолистых веществ во впрыснутом топливе и их отложений на поверхности выпускного тракта, выпускных клапанах, на стенках соплового венца и турбинного колеса турбокомпрессора [7]. Затвердевание смолистых отложений при остывании остановленного двигателя в случае его повторного пуска может приводить к заклиниванию клапанов и, как следствие, выходу из строя деталей механизма газораспределения.

Большие проблемы создает снижение температуры воздушного заряда в случае применения нетрадиционных (альтернативных) топлив, особенностью которых, как правило, являются пониженная воспламеняемость и повышенная вязкость.

Задача снижения температуры в современном двигателестроении достаточно эффективно решается с помощью так называемых «охладителей наддувочного воздуха».

Вопросы повышения температуры свежего заряда при работе двигателей на неуставившихся режимах в литературе практически не рассматриваются. Однако решение этих вопросов тем более актуально, что достаточно широко применяемые сегодня охладители наддувочного воздуха могут (если не предусмотрено специальных мер для их отключения) понижать температуру свежего заряда и в случаях, когда в этом нет необходимости, более того, когда это вредно с точки зрения протекания рабочего процесса.

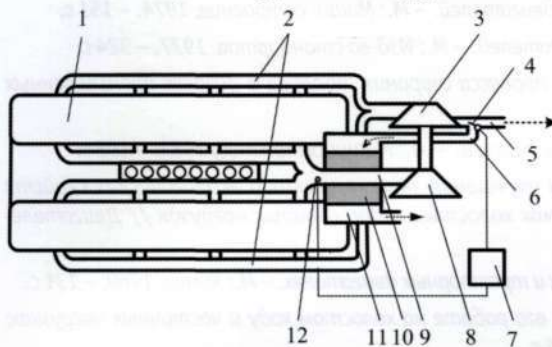
Наиболее эффективным средством повышения температуры и улучшения рабочего процесса ДВС при длительной работе на режимах холостого хода и малых нагрузок считается отключение части цилиндров [7-10 и др.].



Однако длительные испытания дизелей с отключением цилиндров на режимах холостого хода показывают, что при последующем включении этих цилиндров на переходных режимах создаются весьма благоприятные условия для образования смолистых веществ [11]. Это связано с более низкой температурой стенок деталей, образующих внутрицилиндровое пространство (днища поршня, головки цилиндров, тарелок впускного и выпускного клапанов т. п.) в не работавших цилиндрах [7]. Кроме того, на дизелях с газотурбинным наддувом не исключаются случаи «разноса» турбокомпрессора после включения всех цилиндров на полную подачу топлива (масло, накопившееся ранее в отключенных цилиндрах, при их включении интенсивно выгорает, увеличивая тем самым давление на входе в турбину и, следовательно, частоту вращения ее рабочего колеса) [12].

На наш взгляд, поддержание температуры наддувочного воздуха в оптимальных пределах для обеспечения эффективного протекания рабочего процесса и повышения надежности комбинированных ДВС при работе на любых эксплуатационных режимах представляется принципиально возможным за счет использования аккумулятора внутренней энергии (который в рассматриваемом аспекте логично называть «стабилизатором температуры наддувочного воздуха»), установленного во впускном тракте комбинированного ДВС после компрессора.

На рис. 1 приведен предложенный автором вариант схемы организации газотурбинного наддува со стаби-



**Рисунок 1 – Принципиальная схема стабилизации температуры наддувочного воздуха**

**на оптимальном уровне при работе дизеля на переменных режимах, режимах малых нагрузок и холостого хода:**

**1 – дизель; 2 – выпускные коллекторы; 3 – газовая турбина; 4 – регулирующая заслонка; 5 – выхлопная труба; 6 – патрубок подвода отработавших газов к стабилизатору температуры наддувочного воздуха; 7 – управляющее устройство; 8 – компрессор; 9 – впускной коллектор; 10 – теплоаккумулирующее вещество; 11 – полость для прохода отработавших газов; 12 – температурный датчик**

лизатором температуры наддувочного воздуха, который позволяет практически исключить колебания температуры наддувочного воздуха перед поступлением его в цилиндры комбинированного двигателя при работе на переменных режимах и поддерживать эту температуру на необходимом уровне на режимах малых нагрузок и холостого хода.

Предлагаемая система функционирует следующим образом. Когда дизель работает на больших оборотах, температура наддувочного воздуха после компрессора достигает 100°C и более. Проходя через устройство, объединяющее емкость, содержащую теплоаккумулирующее вещество и рубашку для прохода отработавших газов (стабилизатор температуры наддувочного воздуха), воздух нагревает теплоаккумулирующее вещество, охлаждается и по впускному коллектору направляется в цилиндры дизеля.

При этом регулирующее устройство, связанное с датчиком, установленным на выходе наддувочного воздуха из стабилизатора температуры наддувочного воздуха, обеспечивает такое положение регулирующей заслонки, которое исключает попадание отработавших газов в полость 11, и все они из газовой турбины через выхлопную трубу направляются в атмосферу.

Если частота вращения коленчатого вала дизеля уменьшается, то соответственно снижаются обороты рабочего колеса компрессора и температура наддувочного воздуха понижается. Если она станет ниже температуры разогретого ранее теплоаккумулирующего вещества, то от последнего начнется подвод теплоты к наддувочному воздуху, проходящему через стабилизатор температуры наддувочного воздуха, и во впускной коллектор будет поступать подогретый воздух (в это время положение регулирующей заслонки таково, что исключает попадание отработавших газов в полость 11, и все они из газовой турбины через выхлопную трубу направляются в атмосферу).

Если описанные процессы увеличения и уменьшения оборотов коленчатого вала дизеля (а следовательно, и рабочего колеса турбины) будут периодически чередоваться с относительно высокой частотой (3-5 с, что характерно для работы двигателей транспортных машин в городских условиях, строительно-дорожных машин и т. п. [1, 13, 14 и др.]), то процессы периодического охлаждения горячего и подогрева относительно холодного наддувочного воздуха будут обеспечивать уменьшение диапазона колебаний его температуры практически вплоть до ее стабилизации.

Заметим, что в рассматриваемой ситуации управляющее устройство обеспечивает такое положение регулирующей заслонки, которое исключает попадание отработавших газов в стабилизатор температуры наддувочного воздуха, и все они из газовой турбины направляются в атмосферу.

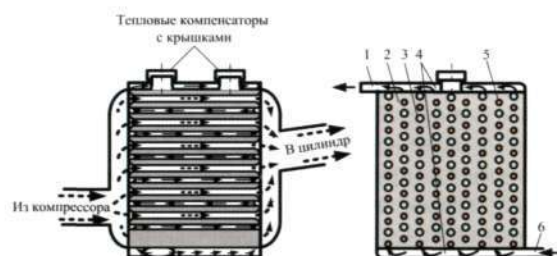
Если же двигатель работает при малых частотах вращения коленчатого вала или на режиме холостого хода



продолжительное время и температура наддувочного воздуха опустится ниже требуемой, то управляющее устройство, начнет воздействовать на регулируемую заслонку, и часть отработавших газов будет поступать в полость 7 стабилизатора температуры наддувочного воздуха и нагревать теплоаккумулирующее вещество, которое, в свою очередь, будет подогревать наддувочный воздух.

Для того чтобы обеспечить оптимальную температуру наддувочного воздуха независимо от режима работы дизеля, температура плавления теплоаккумулирующего вещества должна быть равна этой оптимальной температуре (точнее, с учетом потерь – незначительно превышать ее), а его количество должно быть таким, чтобы при работе ДВС на любом режиме теплоаккумулирующее вещество находилось в состоянии фазового перехода либо из твердого в жидкое, либо из жидкого в твердое состояние.

На рис. 2 показана принципиальная схема стабилизатора температуры наддувочного воздуха, разработанного автором для дизеля ЯМЗ-8424.



**Рисунок 2 – Принципиальная схема стабилизатора наддувочного воздуха для дизеля ЯМЗ-8424:**

**1 – патрубок выхода отработавших газов дизеля; 2 – энергоаккумулирующее вещество; 3 – трубки для прохода наддувочного воздуха; 4 – рубашка для прохода отработавших газов дизеля; 5 – трубки для прохода отработавших газов дизеля; 6 – патрубок входа отработавших газов дизеля**

## Литература

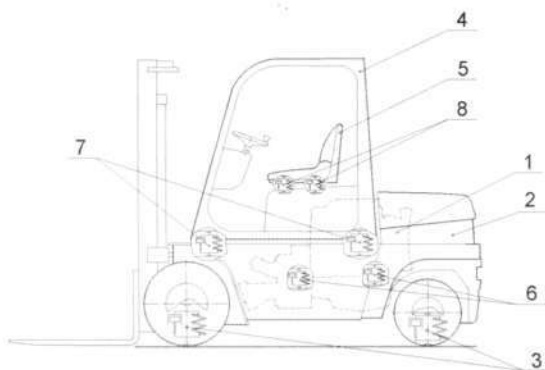
1. Александров Н.Е. Влияние параметров наддувочного воздуха на тепловое состояние дизеля воздушного охлаждения и его экономичность: Сб. науч. тр. - ЧВВАИУ. - 1996. - Вып. 9. - С. 12-19.
2. Ванин В.К. К вопросу о выборе некоторых параметров рабочего процесса поршневого автомобильного двигателя // Сб. науч. трудов НАМИ. - М. - 1978. - С. 46-53.
3. Взоров Б.А., Мордухович М.М. Форсирование транспортных двигателей. - М.: Машиностроение, 1974. - 151 с.
4. Григорьев М.А., Долецкий В.А. Обеспечение надежности двигателей. - М.: Изд-во стандартов, 1977. - 324 с.
5. Лазарев Е.А. Основные положения по совершенствованию процесса сгорания топлива в дизелях промышленных тракторов. - Челябинск: ЧПИ, 1989. - 86 с.
6. Иванченко Н.Н., Красовский О.Г., Соколов С.С. Высокий наддув дизелей. - Л.: Машиностроение, 1983. - 198 с.
7. Валеев Д.Х., Гергинредер В.А., Олесов И.Ю. Возможности улучшения экономических и экологических свойств дизелей КамАЗ-740 отключением цилиндров и циклов на режимах холостых ходов и малых нагрузок // Двигательостроение. - 1991. - № 8-9. - С. 62-63.
8. Вентцель С. В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. - М.: Химия, 1969. - 131 с.
9. Исследования по оптимизации теплового режима ДВС при его работе на холостом ходу и частичных нагрузках: Технический отчет № 496/5053 - ЧФ НАТИ. - Челябинск, 1989. - 34 с.
10. Арсентьев Е.С., Молчанов В.М., Рудов В.М. и др. Обеспечение работы дизельного двигателя на холостом ходу методом выключения цилиндров // Науч.-техн. сб. НИИИ МО. - Бронницы. - 1980. - №4. - С. 22-29.
11. Евстигнеев Б.В., Соин Ю.В., Назаров И.В. Перспективы использования систем отключения части цилиндров // Локомотив. - 1996. - № 7. - С. 40-42.
12. Новый бензиновый двигатель S55 V8 фирмы MERCEDES-BENZ с отключаемыми цилиндрами // Автостроение за рубежом. - 2000. - № 7. - С. 13-14.
13. Бурячко В.Р. Теоретические основы эффективности энергоиспользования поршневых двигателей. - С.-Пб.: БАТТ, 1993. - 157 с.
14. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина. Изд. 4-е. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
15. Петров В. А., Алякринский А.Я. К вопросу осмоления выхлопного тракта дизеля Д-108 // Тракторы и сельхозмашины. - 1967. - № 9. - С. 7-11.
16. Патрахальцев Н.Н., Ромеро А.В., Кальдерон Х.Г. От отключения цилиндров к отключению циклов // Автомобильная промышленность. - 1995. - №11. - С. 23-25.



## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ АВТОПОГРУЗЧИКА С ПОМОЩЬЮ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА И ТЕОРИИ ГРАФОВ

**По принципу взаимодействия узлов автопогрузчик очень похож на большинство транспортных средств (рис. 1).**

В корпусе машины находится силовой агрегат (СА). Взаимодействие с опорной поверхностью происходит посредством эластичных колес, которые жестко соединены с корпусом. На нем установлены ограждение и сиденье оператора-водителя. Взаимодействие между узлами происходит с помощью упруго-диссипативных элементов (УДЭ).



**Рисунок 1 – Основные узлы вилочного дизельного автопогрузчика с расположением УДЭ:**

1 – СА; 2 – корпус (остов); 3 – колеса (УДЭ подвески корпуса); 4 – ограждение; 5 – сиденье; 6 – УДЭ подвески двигателя; 7 – УДЭ подвески ограждения; 8 – УДЭ подвески сиденья

Необходимо отметить, что цель построения математической модели автопогрузчика заключается в снижении вибронегативности на рабочем месте оператора-водителя.

Следующие нормативные документы регламентируют значения виброскорости на сиденье автопогрузчика: ГОСТ 16215-80 «Автопогрузчик вилочный общего назначения. Общие технические условия» и санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» (в этом документе также оговариваются пороговые значения виброускорения). Перечисленные документы также регламентируют значения локальной вибрации на рулевом колесе, но этот параметр не учитывается при моделировании по следующим причинам:

- допустимые значения виброскорости на рулевом колесе значительно выше, чем на сиденье;
- испытания различных моделей показывают, что практически на всех современных погрузчиках выполняются требования стандарта по значению локальной вибрации на рулевом колесе.

**Выбор способа описания математической модели.** Как известно, для моделирования колебательных процессов необходимо с нужной точностью описать исследуемую систему.

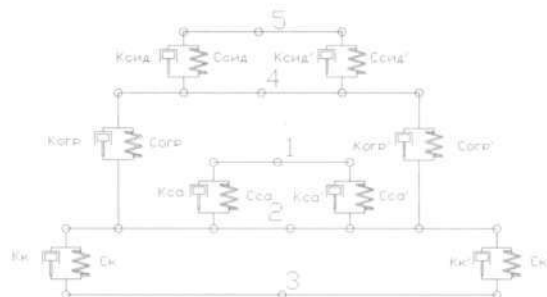
В зависимости от степени абстрагирования при описании физических свойств технической системы различают три основных иерархических уровня: верхний, средний и нижний, которые называются соответственно метаяуровень, макроуровень и микроуровень.

На метаяуровне ведутся начальные стадии проектирования, на которых осуществляется технический поиск и прогнозирование, разработка концепций.

На микроуровне объектами проектирования являются детали машин (коленчатый вал, шатун, поршень, шестерня и т.п.), а объект представляется как сплошная среда с распределенными параметрами.

На макроуровне объект имеет сложную неоднородную структуру, состоящую из элементов – объектов проектирования микроуровня. На макроуровне осуществляется проектирование различных машин и механизмов (двигатель, корпус, кабина и т.п.), а объект рассматривается как динамическая система с сосредоточенными параметрами. Описание процессов функционирования дается системами обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для анализа колебательных процессов в погрузчике целесообразно описывать объект на макроуровне, что позволит с наименьшими затратами реализовать оптимизацию структуры и параметров объекта. Дискретный элемент такой системы в общем случае обладает инерционными, упругими и диссипативными свойствами, так называемыми внутренними свойствами системы. Эти параметры характеризует схема замещения (рис. 2).



**Рисунок 2 – Схема замещения автопогрузчика:**

1 – масса СА; 2 – масса корпуса погрузчика; 3 – масса ограждения; 4 – масса сиденья;  $C_{ш}$ ,  $K_{ш}$ ,  $C_{са}$ ,  $K_{са}$ ,  $C_{озп}$ ,  $K_{озп}$ ,  $C_{сид}$ ,  $K_{сид}$  – коэффициенты жесткости и коэффициенты демпфирования соответственно шин, опор СА, ограждения и сиденья



При построении математической модели на макро-уровне почти всегда необходима разработка динамической модели. Анализ такой модели проводится с помощью выделения дискретных элементов из сплошной среды. Для этого используют метод сеток, функционально законченных элементов и сосредоточенных масс. Иногда результаты анализа модели характеризуют собой математическую модель и обуславливают способ ее решения.

Существует множество способов для описания динамической модели: узловой, контурный, метод переменных состояний, табличный метод, метод функционально законченных элементов, матричный метод, графический и метод, основанный на построении уравнения Лагранжа второго рода.

Как известно, при построении математической модели необходимо учитывать и способ ее решения, это накладывает определенные ограничения и специфику на вид самой модели. При использовании современных принципов программирования можно достигнуть полной согласованности между моделью и программой, которая будет ее реализовывать. Это позволит в диалоговом режиме задавать параметры модели и ее структуру. Выходными значениями могут быть любые характеристики элементов системы.

Самый популярный способ построения математической модели основан на использовании уравнений Лагранжа второго рода. И, как показывает практика, механические системы машинных агрегатов, например колебательная модель автопогрузчика, при анализе их динамических характеристик в линейном приближении рассматриваются как многомерные динамические системы с линейными голономными связями стационарного типа. С помощью дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода можно решить такие уравнения движения. Но в общем случае исследование несвободных динамических систем связано с громоздкими процедурами исключения избыточных координат.

Для описания линейных моделей первого приближения голономных динамических систем целесообразно рассматривать потенциальную энергию системы в виде квадратичной формы обобщенных координат с постоянными коэффициентами, кинетическую энергию и диссипативную функцию Релея рассматриваемой системы в виде квадратичных форм обобщенных скоростей с постоянными коэффициентами [1].

Построение математической модели динамического поведения погрузчика, на наш взгляд, рациональней проводить с помощью выделения сосредоточенных масс, применяя узловой метод формирования математической модели с использованием теории графов и объектно-ориентированного программирования.

Наиболее важные задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели, – построение адекватной модели погрузчика, разработка

наглядной графической интерпретации этой модели, преобразование модели к простейшему структурному виду (для динамического анализа и для получения продуктивных выводов о качественных особенностях исследуемых процессов), отыскание наиболее эффективными методами собственных спектров линейаризованных многомерных динамических моделей и получение на их основе частотных характеристик этих моделей.

**Построение математической модели.** Для описания линейных моделей первого приближения голономных динамических систем целесообразно рассматривать потенциальную энергию системы в виде квадратичной формы обобщенных координат с постоянными коэффициентами, кинетическую энергию и диссипативную функцию Релея рассматриваемой системы в виде квадратичных форм обобщенных скоростей с постоянными коэффициентами [1]:

$$\text{кинетическая энергия } T = \frac{1}{2} \dot{q}_n^T \Theta \dot{q}_n;$$

$$\text{потенциальная энергия } \Pi = \frac{1}{2} \dot{q}_c^T G \dot{q}_c;$$

$$\text{энергия диссипации } R = \frac{1}{2} \dot{q}_k^T R \dot{q}_k,$$

где  $A = \Theta$  – диагональная матрица коэффициентов инерции  $[m_1, m_2 \dots m_n, J_1, J_2 \dots J_n]$ ;

$G = [c_1, c_2 \dots c_k]$  – диагональная матрица коэффициентов жесткости;

$R =$  – диагональная матрица коэффициентов диссипации  $[b_1, b_2 \dots b_k]$ .

На основе этих уравнений в работе [1] получено матричное дифференциальное уравнение консервативной динамической системы

$$A\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = D, \quad (1)$$

где  $C = \pi_q^T G \pi_q$  – матрица смежности приведенных коэффициентов жесткости; (2)

$B = \pi_q^T R \pi_q$  – матрица смежности приведенных коэффициентов диссипации; (3)

$D = \alpha_q^T X$  – вектор-функция неконсервативных обобщенных сил; (4)

$q$  – обобщенная координата;

$\chi = \alpha(q)$  – вектор координат действия внешних сил;

$\eta = \pi(q)$  – координата, по которой деформируется упругий элемент.



Необходимо отметить, что построение матричной модели основывается на физическом, а не на формальном подходе. Это упрощает процесс моделирования сложных систем.

Для выражения математической модели в форме матричного уравнения (1), необходимо:

указать на схеме замещения все необходимые для ее описания обозначения (рис. 3);

построить уравнения связей упругих и диссипативных элементов системы (так как они совпадают, в дальнейшем будут рассматриваться только упругие элементы). Эти уравнения характеризуют зависимость деформации упругодиссипативных элементов от обобщенных координат системы.

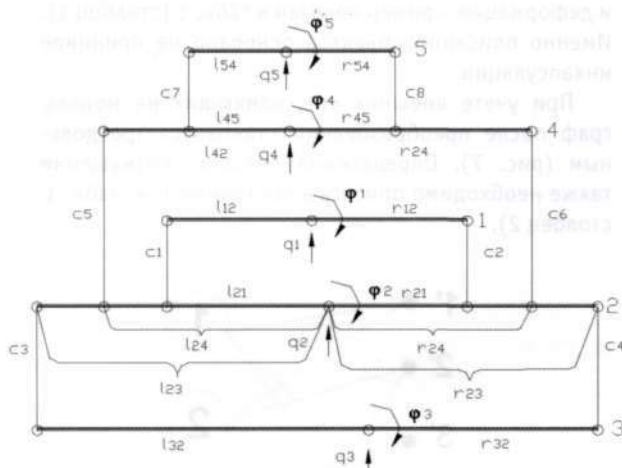


Рисунок 3 – Схема замещения с указанием условно принятых обозначений:

$q_1, q_2, q_3, \dots, q_{10}$  – обобщенные координаты, с нечетным индексом характеризуют вертикальные перемещения центра инерции элемента, а с четным – вращательные перемещения вокруг центра инерции сосредоточенной массы модели;

$r_{12}, l_{12}$  – расстояние от центра инерции элемента модели до места крепления упругого элемента, соответственно справа и слева. Первый индекс показывает на номер элемента конструкции, по которому отмеряется расстояние, а второй – номер элемента, к которому подходит упругий элемент

Составление уравнений связи начинается с рассмотрения простого элемента, фрагмента схемы замещения. В данном случае рассматривается двухмассовая модель с двумя упругими элементами и четырьмя степенями свободы (рис. 4). В дальнейшем алгоритм масштабируется до объектов любой сложности.

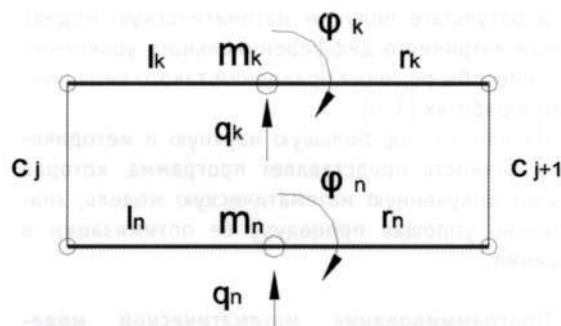


Рисунок 4 – Фрагмент схемы замещения

Составляем уравнения связей по координатам  $\eta$ , они совпадают с направлением деформации упругого элемента:

$$\eta_j = (q_k + l_k \varphi_k) - (q_n + l_n \varphi_n); \quad (5)$$

$$\eta_{j+1} = (q_k - r_k \varphi_k) - (q_n - r_n \varphi_n),$$

где  $\eta_j$  – деформация  $j$ -го упругого элемента;  $q_k, q_n, \varphi_k, \varphi_n$  – координаты соответственно вертикального и углового перемещения сосредоточенной массы;  $l_k, l_n, r_k, r_n$  – расстояние от центра инерции  $k$ -й и  $n$ -й массы, соответственно до точки соприкосновения левого и правого упругого элемента.

Далее дифференцируем уравнения (5) по всем обобщенным координатам:

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = \pi_q,$$

где  $\pi_q$  – матрица инцидентности.

В матрице  $\pi_q$  количество столбцов соответствует числу обобщенных координат, а количество строк – числу упругих элементов. Физический смысл ее заключается в формировании матрицы приведенных жесткостей. Получив матрицу  $\pi_q$ , по формуле (2) находим матрицу смежности –  $C$ . Также на основе матрицы  $C$  можно построить граф, в котором вершины – обобщенные координаты, а ребра – уравнения, показывающие взаимосвязь координат (рис. 5).

Аналогичным образом находится матрица приведенных внешних сил по формуле (4).

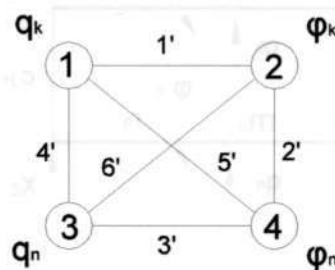


Рисунок 5 – Фрагмент матрицы смежности, представленный графом



В результате получим математическую модель в виде матричного дифференциального уравнения (1). Способы решения уравнений такого вида описаны в работах [1-4].

На наш взгляд, большую научную и методическую ценность представляет программа, которая решает полученную математическую модель, значительно упрощая процедуру ее оптимизации и решения.

**Программирование математической модели.** Моделирование велось с использованием автономных завершённых объектов (см. рис. 4), поэтому программировать модель целесообразней с помощью программы, использующей объектно-ориентированные алгоритмы.

Объектно-ориентированное программирование базируется на следующих принципах [5].

1. Инкапсуляция – соединение в одном программном модуле свойств, данных и методов их обработки.

2. Наследование – определение предка (создан первым) и потомка (создан после предка и имеет все свойства предка, а также свои свойства).

3. Полиморфизм – свойство объекта обрабатывать данные разных типов – и свои, и своих предков.

Из множества программных продуктов в качестве средства выбрана программа Python, на наш взгляд, полностью соответствующая нашим задачам.

Программирование начинается с матрицы смежности, ее вид на рис. 4 неудобен для сканирования. Поэтому на ребрах графа выделяем точки и с помощью их «вытягивания» за пределы графа получаем двухдольный граф (рис. 6).

Также необходимо описать все объекты движения и деформации, пример показан в табл. 1 (столбец 1). Именно описание объектов основано на принципе инкапсуляции.

При учете внешних сил, влияющих на модель, граф после преобразований становится трехдольным (рис. 7). Определения внешних возмущений также необходимо описать в программе (см. табл. 1, столбец 2).

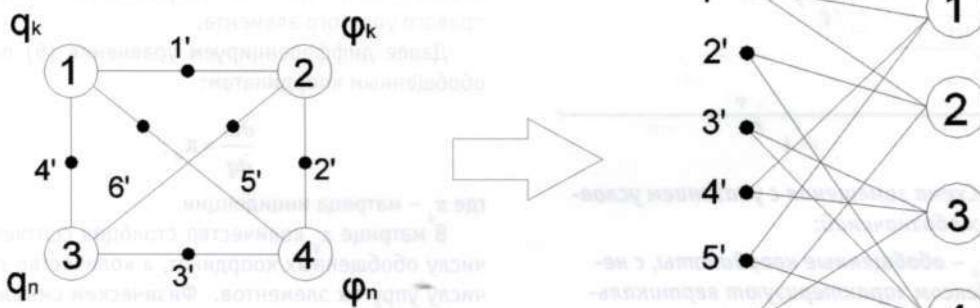


Рисунок 6 – Расщепление графа, переход к двухдольному графу

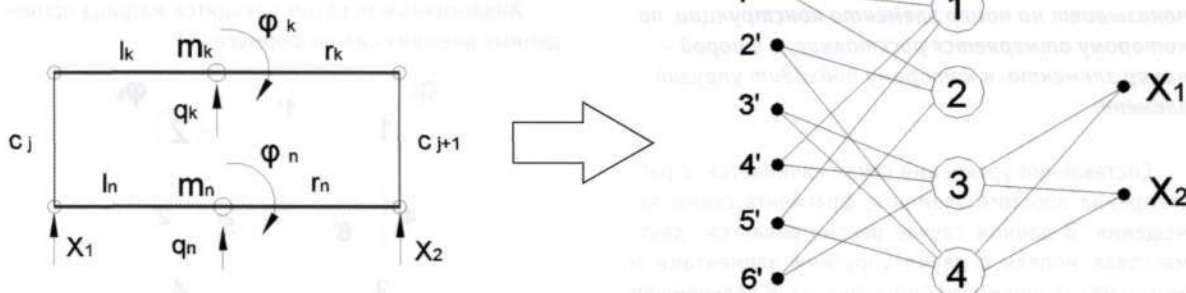


Рисунок 7 – Переход от фрагмента схемы замещения к трехдольному графу



Процесс сканирования связей (ребер графа) занимает всего несколько строк (см. табл. 1, столбец 3) и не зависит от общего вида модели, а только от выбранного фрагмента схемы замещения. В этом фрагменте программы используется принцип полиморфизма.

3. Геометрические – расстояния от центров инерции до места установки виброопор.

4. Возмущающие – законы изменения нагрузок или перемещений сосредоточенных масс модели.

**Таблица 1 – Примеры фрагментов программы**

Назначение фрагментов программы		
Определение объектов движения и объектов деформирования	Определение возмущения от двигателя и опорной поверхности (третья доля)	Сканирование графа
1	2	3
<pre>class M:     def __init__(self,m=0.0,x=[0.0,0.0,0.0],f=0.0):         self.m,self.x,self.f=m,x,f     def step(self,dt):         if self.m == 0.0:             return         else:             self.x[2]=self.f/self.m             self.x[0]+=0.5*self.x[1]*dt             self.x[1]+=self.x[2]*dt             self.x[0]+=0.5*self.x[1]*dt class C:     def __init__(self,c=0.0, r=0.0):         self.c, self.r=c, r     def F(self,ds,dv):         return self.c*ds+self.r*dv</pre>	<pre>while t&lt;tkon:     for i in m: i.f=0.0     fi1=-sin(wp*t)     fi2=sin(wp*t + (l32+r32)*wp/V)     m3.x[0]=((fi1+fi2)/(l32+r32) )/500.0     j3.x[0]=( fi2 + m3.x[0]*r32 ) /500.0     scan(l)     m1.f+=s*w*w*cos(2*w*t)     j1.f+=k*s*w*w*cos(2*w*t)     for i in m: i.step(dt)     t+=dt</pre> <p>Примечание: 1. Для примера, в качестве возмущений от СА приняты неуравновешенные силы инерции второго порядка (четырёхцилиндровый четырёхтактный двигатель); 2. Влияние опорной поверхности представлено синусоидальной функцией.</p>	<pre>def scan(l):     for (cl, cr, m1, j1, m2,j2,l1,r1,l2,r2) in l:         l1=m1.x[0]+l1*j1.x[0]         l2=m2.x[0]+l2*j2.x[0]         r1=m1.x[0]-r1*j2.x[0]         r2=m2.x[0]-r2*j2.x[0]         vl1=m1.x[1]+l1*j1.x[1]         vl2=m2.x[1]+l2*j2.x[1]         vr1=m1.x[1]-r1*j2.x[1]         vr2=m2.x[1]-r2*j2.x[1]         dl=l1-l2         dr=r1-r2         vl=vl1-vl2         vr=vr1-vr2         fl=cl.F(dl,vl)         fr=cr.F(dr,vr)         m1.f+=-fl-fr         m2.f+=fl+fr         j1.f+=fr*r1-fl*l1         j2.f+=-fr*r2+fl*l2</pre>

Входными параметрами программы являются следующие характеристики.

1. Инерционные – массы и моменты инерции.
2. Упругодиссипативные – коэффициенты жесткости и демпфирования.

Полученная программа позволяет в диалоговом режиме получать амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) любой сосредоточенной массы. Это позволяет достаточно оперативно осуществлять подбор характеристик виброопор для получения требуемых АЧХ.

## Литература

1. Динамика управляемых машинных агрегатов / Вейц В.Л., Коловский М.З., Кочура А.Е. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 352 с.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов. - Минск: Дизайн-ПРО, 2004. - 640 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. - М.: Машиностроение, 1981. - 1.5. Измерения и испытания, 1981. - 496 с.
4. Тольский В.Е. и др. Колебания силового агрегата автомобиля. - М.: Машиностроение, 1976. - 266 с.
5. Россум Г. и др. Язык программирования Python / Пер. с англ. - М. - СПб: АНО «Институт Логик» - «Невский диалект», 2001. - 635 с.



## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СУРОВОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ АВТОМОБИЛЯ К ЭТИМ УСЛОВИЯМ

**Влияние внешней среды на технику притягивает внимание исследователей разных отраслей науки, осуществляющих разработку и развитие теорий открытых систем в течение многих лет. Одним из типичных примеров такой системы является эксплуатация автомобилей.**

Условия эксплуатации представляют собой совокупность исключительного многообразия факторов, различных по природе и соответственно имеющих различные измерители, что усложняет их сопоставимость и совместный учет.

При эксплуатации автомобилей в условиях, отличных от стандартных, суровых условиях зачастую наблюдается отклонение показателей эксплуатационных свойств от номинальных значений, в большинстве случаев не в лучшую сторону. Несмотря на большое количество работ, посвященных влиянию различных факторов условий эксплуатации на автомобиль, современные рыночные требования ждут дальнейшего развития научных решений, обеспечивающих объективную оценку суровости условий эксплуатации и оценку приспособленности автомобилей к этим условиям.

Анализ результатов научных работ по проблеме совместного учета и сопоставление факторов условий эксплуатации как в нашей стране, так и за рубежом показал, что предлагаемые методики не всегда могут быть использованы для оценки суровости условий эксплуатации при различном сочетании факторов. Кроме того, в некоторых случаях невозможно их применение для всего диапазона изменения рассматриваемых факторов.

Предложенная проф. Л.Г. Резником [1, 2] теория суровости позволяет привести к единой шкале измерения различные факторы условий эксплуатации на основе использования безразмерного индекса суровости. Однако предлагаемый индекс суровости не учитывает степень взаимного влияния факторов друг на друга, выражающуюся, например, в усилении их действия или гашении при совместном рассмотрении.

Приспособленность – это объективное свойство автомобиля обеспечивать заданные показатели качества в различных условиях эксплуатации. В разных работах [3-6] предлагались показатели приспособленности и методики их определения, однако все эти показатели включают в себя величину взаимовлияния факторов условий эксплуатации, что не позволяет корректно определить истинное значение приспособ-

ленности автомобиля по тому или иному свойству к заданным условиям эксплуатации.

На основании проведенного анализа были сформулированы первоочередные задачи, обеспечивающие достижение цели на этапе теоретического исследования:

1. Разработать подход к комплексной оценке суровости условий эксплуатации автомобилей, учитывающий совместное влияние факторов условий эксплуатации.
2. Разработать методику оценки приспособленности автомобилей к суровым условиям эксплуатации.

Объективность оценки суровости условий эксплуатации достигается в случае ее удовлетворения требованиям универсальности и информативности, а также способности отражать прогностичность взаимовлияния факторов.

Для удовлетворения требования прогностичности взаимовлияния факторов в излагаемой теории был использован геометрический подход к формам рассуждений. Его применение в данном исследовании стало необходимым из-за возникновения ситуации, когда требуется скоординировать в емкой форме значительное число категорий, связь между которыми практически утрачивается при восприятии линейаризованного текста, а в аналитическом виде теряется содержательная специфика идеи. Алгоритм такого подхода включает в себя ряд последовательных этапов.

На первом этапе (рис. 1), используя безразмерную шкалу суровости, реализуется требование универсальности, заключающееся в приведении к единому измерителю (к баллам суровости  $R$ ) оригинальных единиц измерения различных факторов условий эксплуатации.

На втором этапе (рис. 2) решается задача графической интерпретации полученных шкал относительно друг друга, а также наделение параметров модели и диапазонов их варьирования смысловым содержанием.

Факторы условий эксплуатации  $X_1$  и  $X_2$  изображаются в виде векторов, исходящих из одной точки. При этом точка отсчета – это область благоприятных (нор-



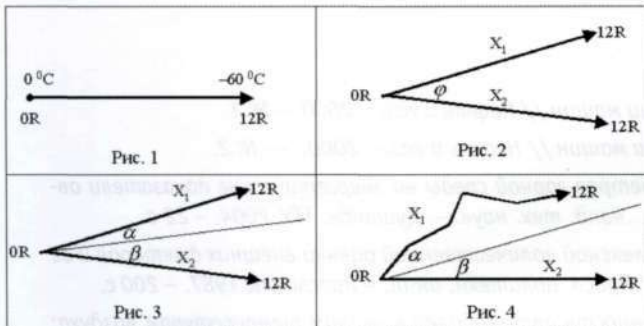
мальных, стандартных) условий эксплуатации, т.е. сочетание факторов внешней среды, при которых наблюдается номинальное значение показателей эксплуатационных свойств автомобилей.

Предположим, что угол  $\varphi$  (см. рис. 2), образованный векторами, является одновременно характеристикой взаимного влияния факторов условий эксплуатации друг на друга и характеристикой приспособленности автомобиля. Таким образом, его можно представить в виде суммы углов:

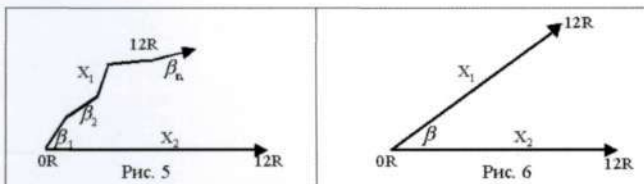
$$\varphi = \alpha + \beta. \quad (1)$$

При этом угол  $\alpha$  является характеристикой приспособленности автомобиля к данным факторам условий эксплуатации, а угол  $\beta$  показывает совместное действие данных факторов условий эксплуатации с учетом их взаимного влияния (рис. 3).

Исходящие из одной точки векторы на протяжении всего диапазона изменения значений факторов не будут расходиться под одним и тем же углом, что связано с физикой протекания процесса взаимодействия этих факторов, как сложного механизма (рис. 4).

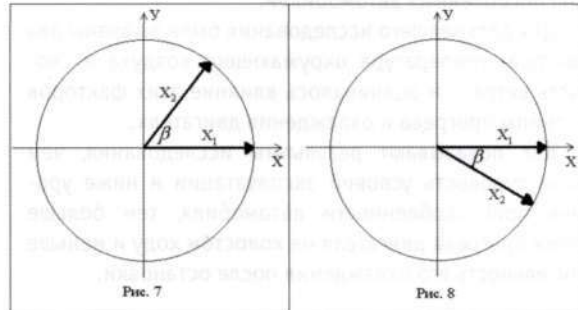


Для придания геометрической модели свойства индифферентности по отношению к свойствам автомобиля и определения взаимного влияния факторов необходимо вычленение параметра, характеризующего приспособленность автомобиля и нахождение угла  $\beta$  (рис. 5, 6).



$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n} \quad (2)$$

На следующем этапе данная система совмещается с тригонометрическим кругом (рис. 7, 8). При этом фактор  $X_1$  совмещаем с осью X. Фактор  $X_2$  отклоняется на угол  $\beta$  либо по часовой, что характеризует ослабление совместного влияния факторов, либо против часовой стрелки, что свидетельствует об усилении их влияния.



Всесторонний анализ и обобщение параметров геометрической модели позволил перейти к аналитическому методу установления математической модели формирования комплексного индекса суровости условий эксплуатации ( $h_{об}$ ), учитывающей взаимодействие факторов,

$$h_{об} = (h_1 + h_2) \cdot K_{вз}, \quad (3)$$

$$h_{об} = \frac{h_1 + h_2}{K_{вз}} \quad (4)$$

где  $h_{об}$  – комплексный индекс суровости условий эксплуатации;

$h_1$  – суровость фактора  $X_1$ ;

$h_2$  – суровость фактора  $X_2$ ;

$K_{вз}$  – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов ( $K_{вз} = \cos \beta$ );

$\beta$  – угол, характеризующий изменение суровости при совместном влиянии факторов.

Формула (3) используется при ослаблении суровости совместного действия факторов, формула (4) – при усилении их влияния.

Следующим шагом является определение показателя приспособленности. В аналитическом виде процесс получения численного значения показателя приспособленности может быть представлен в следующем виде:

$$A = \frac{90^\circ - (\varphi - \beta)}{90^\circ} = 1 - \frac{\varphi - \beta}{90^\circ} \quad (5)$$



Диапазон варьирования показателя приспособленности находится в пределах от 0 до 1. Причем значению 0 соответствует полное отсутствие приспособленности, а значению 1 – абсолютная приспособленность. Таким образом, необходимо на стадии проектирования автомобиля учитывать условия его дальнейшей эксплуатации для производства высокоприспособленных автомобилей.

Для дальнейшего исследования были выбраны два фактора: температура окружающего воздуха и скорость ветра – и оценивалось влияние этих факторов на темпы прогрева и охлаждения двигателя.

Как показывают результаты исследования, чем выше суровость условий эксплуатации и ниже уровень приспособленности автомобиля, тем больше время прогрева двигателя на холостом ходу и меньше длительность его охлаждения после остановок.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет разработать следующие основные направления практической реализации:

1. Определение времени охлаждения двигателя при заданных условиях суровости условий эксплуатации и уровне приспособленности автомобиля.

2. Определение рационального времени прогрева двигателей автомобилей в заданных условиях суровости при известном уровне приспособленности автомобиля.

Разработаны соответствующие методики. Данными методиками можно пользоваться для определения рационального времени прогрева и допустимой длительности охлаждения двигателей автомобилей различных марок и моделей, в зависимости от массы, месторасположения двигателя, степени его утепления и плотности компоновки подкапотного пространства.

## Литература

1. Резник Л.Г. Индекс суровости условий эксплуатации машин// Нефть и газ. - 2000. - № 1.
2. Резник Л.Г. Индекс суровости условий эксплуатации машин// Нефть и газ.- 2000. — № 2.
3. Абдуллоев М.А. Влияние термодинамических параметров горной среды на энергетические показатели автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Дис. ...канд. тех. наук. - Душанбе: ТТУ, 2004. - 22 с.
4. Бодров В.А., Перцев А.В., Шкарин С.Г. Система комплексной количественной оценки внешних факторов и ее применение при создании и использовании автомобилей/Яросл, политехн, ин-т. -Ярославль, 1987. - 200 с.
5. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха: Учебное пособие. - Тюмень: ТГУ, 1985. - 105 с.
6. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах. - М.: Транспорт, 1973. -120 с.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АДАПТИВНОСТИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ К ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ ВОЗДУХА

В последние годы, в связи с приближающимся мировым кризисом запасов нефти, актуальность проблемы по поиску путей замены нефтяного топлива на альтернативные виды резко возросла. Выходом из создавшейся ситуации может быть переход работы автомобилей, в том числе городского пассажирского транспорта, на сжиженный нефтяной газ. При эксплуатации автомобилей заметно изменяются такие показатели качества, как расход топлива и токсичность отработавших газов.

Особенно существенно это изменение при их работе в низкотемпературных условиях. В связи с тем что автомобили по-разному реагируют на изменение условий эксплуатации по-разному адаптированы к ним, необходимо вести учет уровня их приспособленности к тем условиям, в которых они работают.

Цель работы состоит в определении влияния отрицательных температур воздуха на расход топлива и токсичность отработавших газов газобаллонных автомобилей.

Таким образом, для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выявить закономерность изменения расхода топлива и содержания вредных веществ в отработавших газах от температуры воздуха на входе в двигатель при различных нагрузочных и скоростных режимах работы.

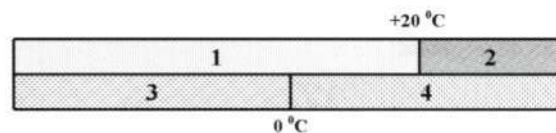
2. Установить закономерность изменения коэффициентов приспособленности по расходу топлива и токсичности отработавших газов газобаллонных автомобилей при отрицательных температурах окружающего воздуха.

3. Разработать пути практического использования результатов исследования и оценить их эффективность.

Прежде чем проводить исследования по оценке влияния условий эксплуатации на изменения выходных параметров автомобилей, необходимо сформулировать основные понятия, которые будут использованы в работе.

Условиями эксплуатации автомобилей обычно называют особенности выполнения транспортной работы, характеризующиеся сочетаниями различных внешних по отношению к автомобилю факторов. Эти факторы оказывают существенное влияние на реализуемые показатели качества автомобилей и эффективности перевозок. Одним из наиболее важных факторов является температура окружающего воздуха,

поэтому в зависимости от значения температуры окружающего воздуха условия эксплуатации можно разделить на низкотемпературные, стандартные и высокотемпературные (рис. 1).



**Рисунок 1 – Шкала оценки температур окружающего воздуха и условий эксплуатации автомобилей:**

**1 – низкотемпературные условия эксплуатации; 2 – высокотемпературные условия эксплуатации; 3 – отрицательная температура окружающего воздуха; 4 – положительная температура окружающего воздуха**

Отрицательная температура окружающего воздуха – это температура, лежащая ниже точки замедзания воды (перехода воды из жидкого состояния в твердое –  $0^{\circ}\text{C}$ ).

Положительная температура окружающего воздуха – это температура, лежащая выше точки перехода воды из твердого состояния в жидкое.

Стандартными условиями эксплуатации называют такие условия, при которых производится оценка показателей качества новых автомобилей. Этим условиям соответствует стандартная температура окружающего воздуха ( $+20^{\circ}\text{C}$ ).

Низкотемпературные – это такие условия эксплуатации, при которых температура окружающего воздуха ниже стандартной.

Высокотемпературные – это такие условия эксплуатации, при которых температура окружающего воздуха выше стандартной.

Известно, что в бензиновых двигателях образование  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  и  $\text{NO}_x$  зависит в основном от состава



горючей смеси поступающей в цилиндры двигателя. В связи с этим можно выдвинуть следующую гипотезу: бензин и сжиженный нефтяной газ являются углеводородами, поэтому протекание процесса сгорания в двигателях при работе на данных видах топлива аналогично. Это основание можно использовать при проведении исследований и разработке математических моделей влияния температуры воздуха на расход топлива и токсичность отработавших газов газобаллонных автомобилей.

Отклонение температуры окружающего воздуха от номинального значения ведет к изменению эксплуатационных показателей автомобиля. По величине отклонения фактического значения от номинального можно судить об уровне приспособленности данного автомобиля к конкретным условиям эксплуатации. Для количественной оценки приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации применяется коэффициент приспособленности  $A$ .

Коэффициенты приспособленности автомобилей к фактической температуре воздуха  $t$  по содержанию оксида углерода, углеводородов и оксида азота в отработавших газах могут быть представлены следующими формулами:

$$A_{CO} = \frac{X_H^{CO}}{X_t^{CO}}, \quad (1)$$

$$A_{CH} = \frac{X_H^{CH}}{X_t^{CH}}, \quad (2)$$

$$A_{NO} = \frac{X_H^{NO}}{X_t^{NO}}, \quad (3)$$

где  $X_H^{CO}; X_H^{CH}; X_H^{NO}$  – нормативное содержание оксида углерода и углеводородов соответственно;

$X_t^{CO}; X_t^{CH}; X_t^{NO}$  – фактическое содержание оксида углерода и углеводородов соответственно при температуре окружающего воздуха  $t$ .

При эксплуатации автомобилей с бензиновыми двигателями регламентируется процентное содержание оксида углерода и углеводородов. Кроме того, при стендовых испытаниях нормируется содержание оксидов азота.

Однако необходимо учитывать не только содержание вредных веществ, но и их токсичность. Таким образом, если токсичность оксида углерода принять за единицу, то относительная токсичность суммы углеводородов составит – 3, а оксида азота – 59.

Тогда суммарный коэффициент приспособленности, приведенный к токсичности окиси углерода, определяется по формуле

$$A = \frac{A_{CO} + 3A_{CH} + 59A_{NO}}{63} \quad (4)$$

Коэффициент приспособленности автомобилей к фактической температуре воздуха  $t$  по расходу топлива определяется как отношение нормируемого значения расхода топлива, определенного в стандартных условиях эксплуатации, к фактическому расходу для определенных условий эксплуатации по формуле

$$A_q = \frac{q_n}{q_\phi}, \quad (5)$$

где  $q_n$  – значение расхода топлива при стандартных температурных условиях, л/100 км;

$q_\phi$  – значение расхода топлива при фактических температурных условиях, л/100 км.

Для выявления закономерности влияния отрицательных температур окружающего воздуха на коэффициент приспособленности исходили из следующего. Коэффициент приспособленности определяется как отношение числа с постоянным значением, ( $N_n = const$ ) к числу, значение которого изменяется по определенной, гипотетической зависимости. Таким образом, можно предположить, что сумма частных этих отношений будет изменяться по такому же закону. На основании вышеизложенного выдвигается следующая рабочая гипотеза зависимости коэффициента приспособленности  $A$  от отрицательных температур окружающего воздуха.

Для выявления закономерности влияния отрицательных температур окружающего воздуха на коэффициент приспособленности автомобиля к низкотемпературным условиям эксплуатации предложена следующая рабочая гипотеза:

$$A = A_{20} + S_t \cdot (20 - t)^2, \quad (6)$$

где  $A_{20}$  – коэффициент приспособленности при температуре окружающего воздуха 20°C;

$S_t$  – параметр чувствительности к изменению температуры окружающего воздуха по коэффициенту приспособленности, 1/°C.

Экспериментальные исследования проводятся на двигателе 3МЗ-4062.10 при различных температурах воздуха на входе в двигатель, оборотах коленчатого вала, тормозном крутящем моменте (нагрузке).

Замеры по содержанию CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> и NO<sub>x</sub> в отработавших газах и расходу топлива проводятся на двух видах топлива – сжиженном нефтяном газе и бензине.

Расход сжиженного нефтяного топлива производится весовым методом, расход бензина – при помощи измерительной колбы, встроенной в топливную магистраль стенда.

При проведении стендовых испытаний были получены зависимости влияния температуры воздуха на

входе в двигатель на содержание вредных веществ в отработавших газах и расход топлива при различной частоте вращения коленчатого вала и нагрузке на двигатель, создаваемой тормозным устройством, некоторые из них представлены на рис. 2-5.

Результаты расчета коэффициента приспособленности позволили получить графическую зависимость этого коэффициента от температуры окружающего воздуха, представленную на рис. 6, 7.

Таким образом, проанализировав графические зависимости влияния температуры воздуха на коэффициент приспособленности по токсичности отработавших газов, можно сделать следующий вывод, что при работе двигателя на сжиженном нефтяном газе автомобиль более приспособлен к низкотемпературным условиям эксплуатации, чем при работе его на бензине.

На основании значения коэффициентов приспособленности были разработаны коэффициенты, позволяющие более гибко, дифференцированно подходить к вопросу корректирования норм рас-

хода топлива и платы за выбросы вредных веществ от передвижных источников в низкотемпературных условиях эксплуатации. Такой подход, основанный на соответствующих методиках, позволит значительно повысить эффективность эксплуатации газобаллонных автомобилей в условиях низких температур окружающего воздуха.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлена закономерность влияния температуры воздуха на входе в двигатель при различных нагрузочных режимах работы на расход топлива и содержание вредных веществ в отработавших газах.
2. Установлена закономерность изменения коэффициента приспособленности по расходу топлива и токсичности отработавших газов газобаллонного автомобиля ГАЗ-3221 «ГАЗель» с двигателем ЗМЗ-406.2.10 к отрицательным температурам окружающего воздуха.

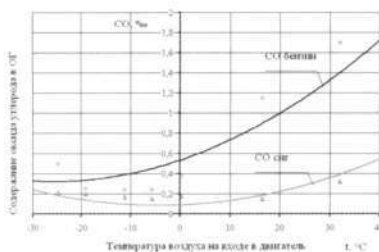


Рис. 2 Зависимость изменения содержания оксида углерода от температуры воздуха на входе в двигатель при  $n=3200$  об/мин

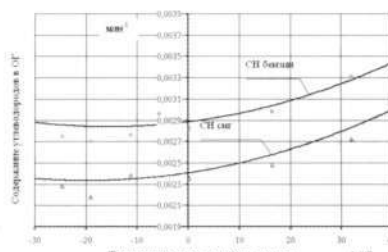


Рис. 3 Зависимость изменения содержания углеводородов от температуры воздуха на входе в двигатель при  $n=3200$  об/мин

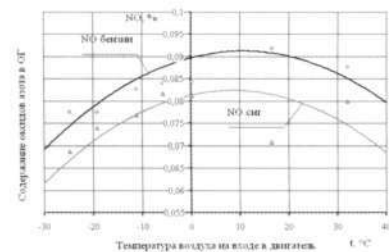


Рис. 4 Зависимость изменения содержания оксидов азота от температуры воздуха на входе в двигатель при  $n=3200$  об/мин

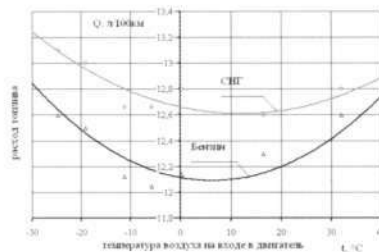


Рис. 5 Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель

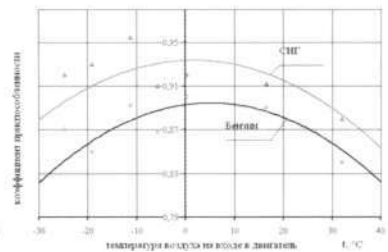


Рис. 6 Зависимость изменения коэффициента приспособленности по расходу топлива от температуры воздуха на входе в двигатель

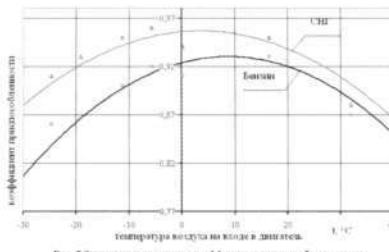


Рис. 7 Зависимость изменения коэффициента приспособленности по токсичности отработавших газов от температуры воздуха на входе в двигатель

## Литература

1. Анисимов И.А. Приспособленность автомобилей с дизельными двигателями к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - 20 с.
2. Магарил Е.Р., Резник Л.Г. Оценка приспособленности автомобиля к окружающей среде по токсичности отработавших газов// Повышение эффективности работы колесных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации. - Тюмень: ТГНГУ, 1996. - С. 86-88.
3. Новоселов О.А. Оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. - 20 с.
4. Резник Л.Г. Индекс суровости условий эксплуатации машин// Нефть и газ. - Тюмень: ТюмГНГУ. - 2000. - №2. - С. 112-115.



## РАСЧЕТ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОПЫТНОГО ЭНЕРГОСБЕРГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Открытым акционерным обществом «Силовые машины Электросила» в научно-техническом содружестве с кафедрой «Электрическая тяга» ПГУПС разработана схемно-техническая документация и изготовлен комплект электрооборудования для опытного электропоезда ЭД9Э переменного тока напряжением 25кВ с улучшенными энергетическими характеристиками.

На созданном электропоезде произведена замена контактных пуско-тормозных аппаратов четырехзонным выпрямительно-инверторным преобразователем (ВИП), обеспечивающим бесконтактное плавное регулирование напряжения тяговых электродвигателей в режимах тяги и электрического рекуперативного торможения [1].

Микропроцессорная система автоматического управления (МПСУ) обеспечивает плавное нарастание токов тяговых электродвигателей при пуске электропоезда и повторных включениях силовой цепи, при входе в режим рекуперативного торможения, а также стабилизацию пусковых и тормозных токов, ликвидацию режимов боксования-юза колесно-моторных блоков, локализацию переходных процессов в силовых цепях при нарушении скользящих контактов токоприемников.

На кафедре «Электрическая тяга» ПГУПС разработана компьютерная модель силовой цепи и системы автоматического управления с дискретной обработкой сигналов управления выпрямительно-инверторным преобразователем опытного электропоезда в тяговых и тормозных режимах, предназначенная для исследования возможных эксплуатационных и аварийных процессов в силовых цепях электропоезда и усовершенствования алгоритмов управления, обеспечивающих локализацию переходных процессов, защиту электрооборудования от перегрузок.

Компьютерная модель создана на основе принципиальных схем силовых электрических цепей и функциональных схем систем автоматического управления тяговыми электродвигателями (ТЭД), а также дифференциальных уравнений и алгоритмов, характеризующих протекание переходных процессов в замкнутой системе для режимов тяги и электрического рекуперативного торможения.

На схемах обозначены основные элементы: тяговый трансформатор (ТТ), выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП) VS1-VS8, тяговые электродвигатели (1-4), контакторы и тиристоры ослабления воз-

буждения KB1-KB2, VS9-VS10 (для режима тяги, рис. 1а), управляемые выпрямители возбуждения (УВВ) VS9-VS12 (для режима рекуперации, рис. 1б), стабилизирующие резисторы  $r_{\Sigma}$ , диоды рекуперации VD1, VD2, датчики тока якорей и возбуждения ТЭД (ДТЯ, ДТВ), элементы микропроцессорной системы управления: задатчик уставок (ЗУ), регуляторы тока якорей (РТЯ) (для режима тяги) и тока рекуперации (РТР), а также тока возбуждения (РТВ) (для режима рекуперации), блоки фазового регулирования ВИП и УВВ (ФР). Система автоматического управления режимом рекуперации

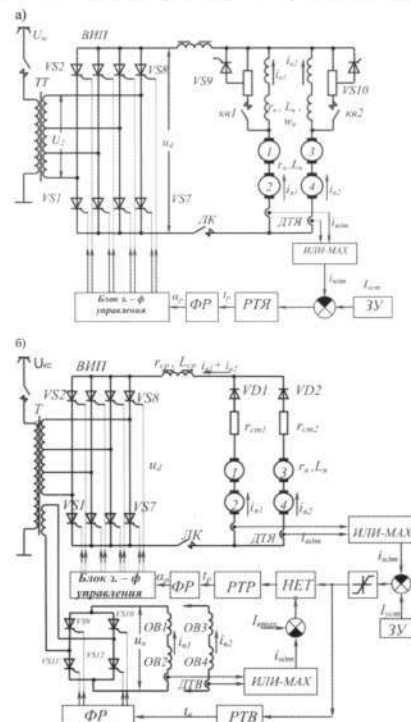


Рисунок 1 – Схемы силовых цепей и функциональные схемы САУ электропоезда:

а – режима тяги;

б – режима рекуперативного торможения



содержит также блок ограничения сигнала рассогласования тока рекуперации, модуль запрета (НЕТ), блокирующий работу интегрального канала регулятора РТВ до тех пор, пока ток возбуждения ТЭД не достигнет величины ограничения  $I_{в\max} = 250\text{А}$ .

На схемах обозначены основные переменные:  $i_a$  – ток якорей,  $i_b$  – ток возбуждения тяговых электродвигателей;  $u_d$  – выходное напряжение ВИП;  $u_{tr}$  – напряжение обмотки трансформатора возбуждения;  $I_{уст}$  – ток уставки;  $i_{дат}$ ,  $i_{вдт}$  – выходные сигналы датчиков тока якорей и возбуждения тяговых двигателей;  $t_p$  – выходной сигнал регуляторов РТЯ, РТР;  $t_b$  – выходной сигнал регулятора РТВ;  $a_r$ ,  $a_b$  – углы фазового регулирования ВИП и УВВ.

Компьютерная модель режимов тяги и рекуперативного торможения электропоезда с зонно-фазовым регулированием создана в среде MatLab с приложением Simulink [2]. Модель содержит блоки тягового электродвигателя, тягового трансформатора, выпрямительно-инверторного преобразователя, управляемого выпрямителя возбуждения, датчиков токов ТЭД, регуляторов токов якорей и возбуждения, системы фазового управления ВИП и УВВ (рис. 2).

Компьютерная модель тягового двигателя постоянного тока последовательного возбуждения представлена на рис. 3 а. Модель составлена на основе дифференциальных уравнений [3]:

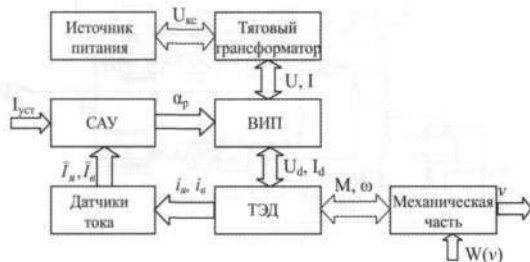


Рисунок 2 – Функциональная схема компьютерной модели

-цепи якорей:

$$u_d = 2(r_a + r_{cp})i_a + 2r_b i_b + 2(L_a + L_{cp}) \frac{di_a}{dt} + 2L_b \frac{di_b}{dt} + 4p_a w_b \frac{d\Phi}{dt} + 2C\Phi\omega; \quad (1)$$

-намагничивающих сил:

$$C\Phi + \tau_{ax} \frac{dC\Phi}{dt} = f(i_b - \Phi \cdot i_a); \quad (2)$$

-вращающих моментов на валу ТЭД:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{np}} (C\Phi i_a \eta - M_c(\omega)). \quad (3)$$

В уравнениях (1) – (3) приняты следующие обозначения:

$r_a, r_b, r_{cp}, L_a, L_b, L_{cp}$  – сопротивление и индуктивность соответственно, обмоток якоря, возбуждения ТЭД, сглаживающего реактора;

$\Phi$  – магнитный поток ТЭД;

$C$  – конструкционный коэффициент обмоток ТЭД;

$\omega$  – угловая скорость вращения ТЭД;

$\varphi$  – размагничивающая реакция якоря;

$p_a, w_b$  – число пар полюсов, количество витков обмоток возбуждения;

$\tau_{ax}$  – постоянная времени контура вихревых токов ТЭД;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий снижение электромагнитного момента за счет магнитных потерь в якоря ТЭД;

$J_{np}$  – момент инерции, приведенный к валу ТЭД, обусловленный инерционным действием массы электропоезда и вращающихся частей,

$$J_{np} = \frac{10^3 (1 + \gamma) m_a D_k^2}{N 4 \mu^2}. \quad (4)$$

В формуле (4) приняты следующие обозначения:

$m_a$  – масса электропоезда, т;

$N$  – число тяговых осей электропоезда;

$D_k$  – диаметр колесной пары по кругу катания, м;

$\mu$  – передаточное число тяговой зубчатой передачи;

$\gamma$  – коэффициент инерции вращающихся частей экипажной части электропоезда.

Момент сопротивления  $M_c(\omega)$  на валу ТЭД, обусловленный действием сил сопротивления движению электропоезда, определяется эмпирической формулой, Н:

$$W(v) = 9,81 m_a (a + bv + cv^2). \quad (5)$$

Эмпирические коэффициенты  $a, b, c$  в формуле (5) для электропоезда переменного тока серии ЭД9Т приняты в соответствии с правилами тяговых расчетов [4].

В компьютерной модели параметры силовой цепи ТЭД представлены сопротивлением  $R_a$  и индуктивностью рассеяния  $L_a$  обмоток якоря, сопротивлением  $R_b$  и индуктивностью рассеяния  $L_b$  обмоток возбуждения. В цепь возбуждения ТЭД компьютерной модели включены сопротивления постоянного шунтирования  $R_{f1}$  обмоток возбуждения и сопротивления ступеней ослабления возбуждения  $R_{f2}, R_{f3}$ . Обозначения и индексы параметров элементов компьютерной модели приняты в соответствии со схемными обозначениями Simulink.

Напряжение питания ТЭД  $u_d$  подводится через входы  $I_{n1}, I_{n2}$  от блока ВИП.

Перечисленные ниже функциональные модули производят суммирование и преобразование сигналов компьютерной модели.

Модули  $I_a, I_b$  формируют сигналы тока якоря и тока возбуждения.

Модули Gain3 и Sum2 воспроизводят учет размагничивающей реакции якоря. Ток якоря умножается в модуле Gain3 на коэффициент размагничивающего действия  $\varphi$  и вычитается в модуле Sum2 из тока возбуждения.



Модуль  $F_{cn}$  формирует характеристику намагничивания ТЭД, которая воспроизводится функцией арктангенса [5]:

$$CF = C\Phi_n \arctan\left(\frac{2,6(i_a - \Phi \cdot i_n)}{I_{an}}\right). \quad (6)$$

Здесь:  $I_{an}$ ,  $C\Phi_n$  – номинальные величины тока возбуждения и магнитного потока ТЭД.

Модуль Transfer вводит в функцию магнитного потока CF передаточную функцию аperiodического звена первого порядка, учитывающую действие вихревых токов в остоле тягового двигателя (см. уравнение (3)):

$$W_e(p) = \frac{1}{1 + \tau_{ex} p}. \quad (7)$$

Модуль Transfer1 осуществляет операцию дифференцирования магнитного потока CF с постоянной времени, определяемой числом витков  $w_a$  для формирования ЭДС самоиндукции обмоток возбуждения (см. уравнение (1)):

$$T_w = \frac{4p_a w_a}{C}. \quad (8)$$

Модуль содержит дополнительно передаточную функцию аperiodического звена первого порядка с постоянной времени  $\tau_A = 0,002c$ , предназначенного для сглаживания возможных импульсных помех на выходе дифференцирующего звена.

Модуль Subsystem1 формирует ЭДС вращения двух последовательно включенных двигателей посредством перемножения магнитного потока CF на частоту вращения  $\omega$ .

Модули Delay1 и Delay2 осуществляют задержку в передаче сигналов на  $10^{-6}$  с для разделения алгебраических контуров, появляющихся в ходе решения систем дифференциальных уравнений в пакете Simulink.

Модули E fcm и E sam вводят в контуры тока якорей и тока возбуждения э.д.с. вращения и э.д.с. самоиндукции. Модули позволяют связать электрические элементы пакета Power System Blockset со структурными или функциональными схемами элементов библиотек Simulink Library.

Уравнение моментов на валу ТЭД (3) воспроизводят модули Product1, Constant1, Fcn1.

Модуль Product1 формирует электромагнитный момент  $T_e$  ТЭД посредством перемножения сигналов  $i_a$  и CF:

$$T_e = i_a CF. \quad (9)$$

Модули Constant1, Fcn2 формируют постоянную  $T_{con}$  и переменную  $T_{var}$  составляющие моментов сопротивления на валу ТЭД обусловленных силами сопротивления движению  $W(v)$  электропоезда. Приведение сил сопротивления движению к моменту на валу двигателя выполнено для угловой скорости  $\omega$  вращения ТЭД следующими формулами:

$$T_{con} = 9,81 \cdot a \frac{m_a D_k}{\eta N 2\mu}, \quad (10)$$

$$T_{var} = 9,81 \frac{m_a D_k}{\eta N 2\mu} \left( b \frac{D_k 3,6}{2\mu} \omega + c \left( \frac{D_k 3,6}{2\mu} \right)^2 \omega^2 \right). \quad (11)$$

Модуль Sum осуществляет суммирование момента  $T_e$  и моментов сопротивления  $T_{con}$ ,  $T_{var}$ .

Модуль Subsystem передает суммарный момент на интегратор в случае положительности суммы моментов или положительности скорости движения электропоезда;

Модуль Gain1 формирует производную угловой скорости, выполняя деление выходного сигнала суммарного момента блока Subsystem на приведенный момент инерции  $J_{np}$ .

Модуль Integrator интегрирует выходной сигнал модуля Gain1, формируя на выходе угловую скорость  $\omega$  вращения якоря ТЭД. Масштабирование сигнала при переводе угловой скорости вращения якоря ТЭД в линейную скорость движения выполняет модуль Gain2.

Модули Ideal Switch1, Ideal Switch2 производят переключение ступеней ослабления возбуждения по команде входа In3.

Выходы 1, 2, 3 компьютерной модели предназначены для измерения тока якоря, тока возбуждения и скорости движения электропоезда.

Компьютерная модель ТЭД для режима рекуперативного торможения показана на рис. 3б. Модель по-

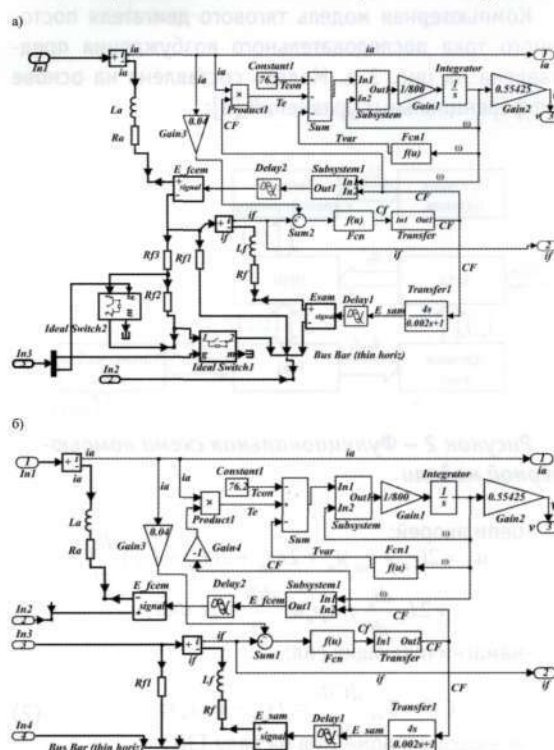


Рисунок 3 – Блок-схемы компьютерной модели ТЭД: а – режима тяги; б – режима рекуперативного торможения

строена на основе дифференциальных уравнений, характеризующих работу ТЭД в генераторном режиме с независимым возбуждением [6]:



- для цепи якорей:

$$u_d = 2C\Phi\omega - (2r_a + r_{cm} + 2r_{cp})i_a - 2(L_a + L_{cp})\frac{di_a}{dt}; \quad (12)$$

- для цепи возбуждения:

$$u_e = 2r_e i_e + 2L_e \frac{di_e}{dt} + 4p_e w_e \frac{d\Phi}{dt}. \quad (13)$$

Уравнения намагничивающих сил и вращающих моментов ТЭД аналогичны уравнениям (2), (3) тягового режима.

Напряжение  $u_d$  от блока ВИП подводится к цепи якорей ТЭД через входы  $In_1, In_2$ .

Напряжение  $u_e$  цепи возбуждения ТЭД подводится от блока управляемого выпрямителя УВВ через входы  $In_3, In_4$ .

Контур  $In_1 - R_a - L_a - E_{fсem} - In_2$  моделирует цепь якоря. Вводимыми параметрами модуля являются сопротивление  $R_a$  и индуктивность  $L_a$  цепи якоря ТЭД.

Контур возбуждения образуют элементы модели  $In_3 - L_f - R_f - E_{sam} - In_4$  и  $In_3 - R_{f1} - In_4$ ; обмотка возбуждения с элементами  $R_f - L_f$  шунтирована постоянным сопротивлением  $R_{f1}$ . Вводимыми параметрами являются: сопротивление  $R_f$  и индуктивность  $L_f$  обмоток возбуждения, а также шунтирующее сопротивление  $R_{f1}$ .

Модуль  $F_{cp}$  воспроизводит характеристику намагничивания аналогично тяговому режиму.

Модуль  $Subsystem1$  формирует ЭДС вращения  $E_{fсem}$  двух последовательно включенных двигателей посредством перемножения магнитного потока  $\Phi$  на частоту вращения  $\omega$ . В отличие от тягового режима, сигнал модуля  $Subsystem1$  инвертируется в соответствии с режимом торможения ТЭД.

Компьютерная модель тягового трансформатора выполнена на основе схемотехнического модуля Simulink «Multi-winding transformer».

Вводимыми параметрами модуля трансформатора являются:

номинальная полная мощность (ВА) и номинальная частота (Гц) [ $P_n$  (VA),  $f_n$  (Hz)];

действующее значение напряжений обмоток трансформатора (В) [ $U_{11}, U_{21}, U_{22}, U_{23}$ ];

активное сопротивление и индуктивность рассеяния обмоток трансформатора в относительных единицах (о.е.) [ $R_{11}, R_{21}, R_{22}, R_{23}, L_{11}, L_{21}, L_{22}, L_{23}$ ];

активное сопротивление и индуктивность цепи намагничивания трансформатора (о.е.) [ $R_m, L_m$ ].

Для каждой обмотки, а также для цепи намагничивания относительные значения активных сопротивлений и индуктивности вычисляются по следующим формулам [6]:

$$\bar{R}_i = \frac{R_i P_n}{U^2}; \quad \bar{L}_i = \frac{L_i P_n 2 \cdot \pi \cdot f_n}{U^2}, \quad (14), (15)$$

где  $U_{11}, R_i$  и  $L_i$  – номинальное напряжение, физические значения активного сопротивления и индуктивности рассеяния  $i$ -й обмотки трансформатора.

Параметры цепи намагничивания приняты по величине тока намагничивания, задаваемого в % относительно номинального тока.

Блок ВИП составлен из 8 модулей Thyristor, шунтированных RC-цепями. Отпирание тиристорных модулей осуществляется посредством подачи единичных импульсных сигналов длительностью 10 мкс, формируемых таймерами блока фазового регулирования. Коммутация тириستоров компьютерной модели естественная, без обратных токов.

Алгоритмы работы компьютерной модели ВИП опытного электропоезда идентичны алгоритмам, применяемым на серийных электровозах серии ВЛ85, ЭП1.

Блок УВВ составлен из 4 модулей Thyristor по схеме моста с симметричным управлением. Отпирание тиристорных модулей УВВ осуществляется аналогично тиристорным модулям ВИП.

Блок датчиков тока производит цифровую обработку сигналов тока якорей, аналогично производимой в МПСУ, для формирования среднего за период управления значения. Цифровая обработка производится посредством  $n$ -кратного квантования сигналов модулей  $I_a, I_f$  блока ТЭД каждый  $v$ -й период управления, равный 0,01 с (полупериод изменения питающего напряжения).

Все значения, полученные на каждый период управления, формируются в вектор размерностью  $I \{I^* n\}$ , после чего вычисляется среднее значение элементов вектора, например, для тока якорей модели  $i_a$ :

$$I_{av} = \frac{1}{n} \left\{ \bar{I}_a \right\}.$$

Далее полученные значения средних за период управления сигналов датчиков токов передаются в регуляторы.

Функциональные схемы блоков регуляторов токов ТЭД показаны на рис 4.

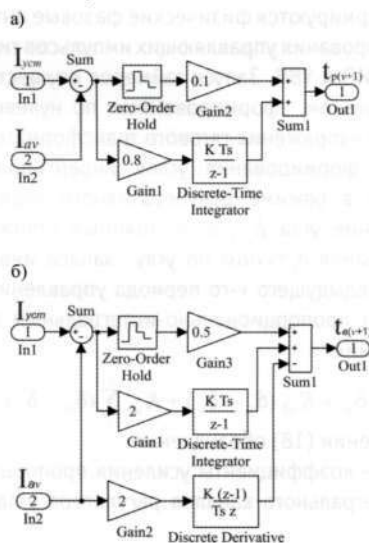


Рисунок 4 – Блок-схемы регуляторов тока САУ: а – регулятора тока якорей; б – регулятора тока возбуждения



Уравнения цифровой обработки сигналов регуляторов МПСУ РТЯ, РТР с пропорционально-интегральным законом регулирования:

$$t_{p(v+1)} = K_{pm}(I_{уст} - I_{av}) + K_{ипи} \sum_{i=1}^v (I_{уст} - I_{av}) \quad (16)$$

и регулятора РТВ с пропорционально-интегральным-дифференциальным законом регулирования:

$$t_{a(v+1)} = K_{pa}(I_{уст} - I_{av}) + K_{ипи} \sum_{i=1}^v (I_{уст} - I_{av}) - K_{дрв}(I_{av} - I_{a(v-1)}), \quad (17)$$

в компьютерной модели воспроизводятся модулями пропорциональной, интегральной и дифференциальной обработки средних за период управления сигналов.

В уравнениях (16), (17) обозначены:

$K_{pm}, K_{ипи}$  – коэффициенты усиления пропорционального и интегрального каналов регуляторов РТЯ, РТР;

$K_{pa}, K_{ипи}, K_{дрв}$  – коэффициенты усиления пропорционального, интегрального и дифференциального каналов РТВ.

На схемах рис. 4 на вход In1 подается сигнал уставки тока  $I_{уст}$ , на вход In2 средний за  $v$ -й период управления сигнал датчика тока якоря  $I_{av}$ . На входе пропорционального канала включен квантователь нулевого порядка. В блоках интегрирования и дифференцирования квантование сигналов производится в процессе математической обработки.

Коэффициенты усиления регуляторов являются параметрами настройки и выбираются с учетом параметров силовых цепей и режимов работы электропоезда [3, 6]. Числовые величины коэффициентов модели вводятся в модули Gain пропорционального, интегрального и дифференциального каналов регуляторов.

Выходными сигналами регуляторов модели являются числовые переменные  $t_p, t_d$  пропорциональные интервальным промежуткам фазового регулирования. Эти переменные передаются в таймеры, посредством которых формируются физические фазовые интервалы  $\alpha_p, \alpha_d$  формирования управляющих импульсов тиристорных плеч ВИП и УВВ. Запуск таймеров осуществляется синхрипульсом, сформированным по нулевой фазе первичного напряжения тягового трансформатора.

Модуль формирования углов инвертирования  $\beta$  производит в режиме рекуперативного торможения формирование угла  $\beta_{v+1}$  с постоянным углом запаса инвертирования  $\delta_0 = const$  по углу запаса инвертирования  $\delta_v$  предыдущего  $v$ -го периода управления в соответствии с пропорционально-интегральным законом регулирования:

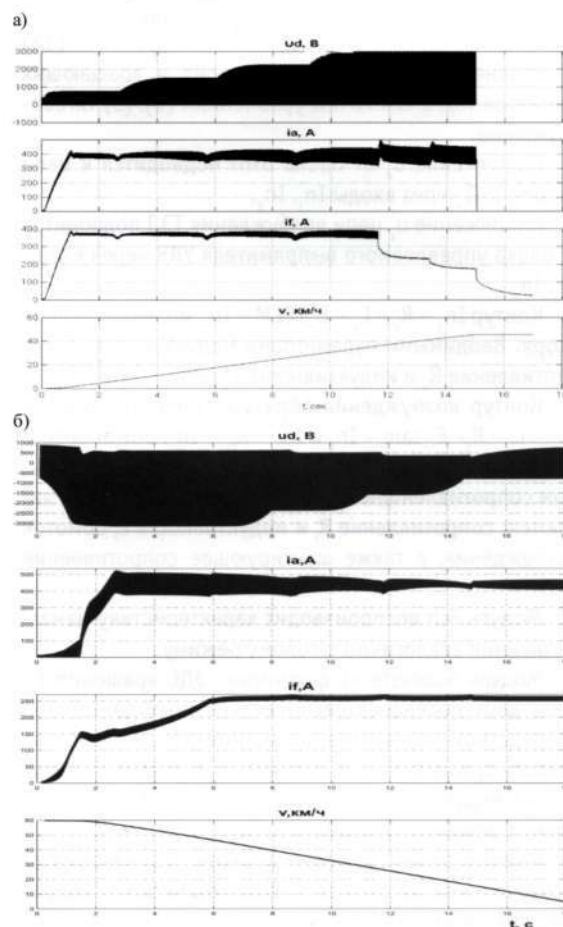
$$\beta_{v+1} = \delta_0 + K_{п\delta}(\delta_0 - \delta_v) + K_{и\delta} \sum_{i=1}^v (\delta_0 - \delta_v). \quad (18)$$

В уравнении (18) обозначены:

$K_{п\delta}, K_{и\delta}$  – коэффициенты усиления пропорционального и интегрального каналов регулятора угла запаса  $\delta$ .

Величина угла запаса инвертирования принята равной  $\delta_0 = 200$ .

Результаты моделирования режима пуска приведены на рис. 5а в виде диаграмм изменения напряжения ВИП  $u_d$ , тока якорей  $i_a$ , тока возбуждения ТЭД  $i_f$ , скорости движения электропоезда  $v$ .



**Рисунок 5 – Диаграмма напряжения  $u_d$ , токов якорей  $i_a$ , возбуждения  $i_f$  ТЭД, скорости  $v$  движения компьютерной модели электропоезда:**

**а – режима тяги; б – режима рекуперативного торможения**

САУ обеспечивает плавное нарастание тока ТЭД до уставки и его стабилизацию в полном диапазоне изменения скорости движения. При переключении зон регулирования и в режимах ослабления возбуждения регулятор РТЯ обеспечивает аperiodический процесс регулирования с перегибанием в пределах 10%.

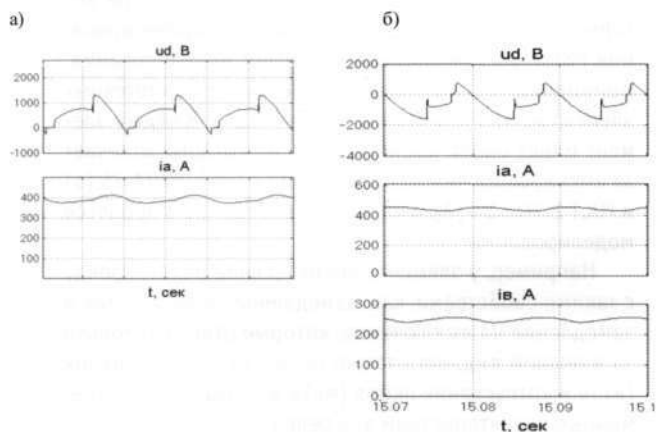
В режиме рекуперативного торможения разработан алгоритм программного регулирования коэффициентов усиления регулятора тока РТВ, обеспечивающего интенсивное начальное возбуждение ТЭД, вход в рекуперацию, плавное нарастание тока рекуперации до уставки с последующей его стабилизацией посредством регулирования тока возбуждения ТЭД регулятором РТР на 4-й зоне регулирования. Результаты моделирования режима рекупера-



тивного торможения приведены на рис. 5б в виде диаграмм изменения напряжения ВИП  $u_d$ , тока якорей  $i_a$ , тока возбуждения ТЭД  $i_b$ , скорости движения электропоезда  $v$ . Когда ток возбуждения достигает уровня ограничения  $I_b=250A$ , САУ производит включение посредством блока запрета интегрального канала регулятора РТР. Дальнейшая стабилизация тока рекуперации производится регулированием фазовых углов ВИП с переключением зон регулирования при постоянном токе возбуждения ТЭД.

Регуляторы РТВ и РТЯ с заданными параметрами настройки обеспечивают аperiodический процесс входа в рекуперацию, а также процесс переключения регуляторов при достижении тока  $I_b=250A$  с переуправлением около 10%.

Форма мгновенных значений напряжения ВИП  $u_d$ , тока якорей  $i_a$  и тока возбуждения  $i_b$  ТЭД для режимов тяги и рекуперативного торможения показана на рис. 6а,б.



**Рисунок 6 – Осциллограммы напряжения  $u_d$ , токов якорей  $i_a$ , тока возбуждения  $i_b$  компьютерной модели для II зоны регулирования:**

**а – режима тяги; б – режима рекуперативного торможения**

Оценка адекватности компьютерной модели выполнена путем сопоставления расчетных параметров и физических переменных преобразователя, а также тя-

гового привода с параметрами и переменными, воспроизведенными на компьютерной модели. Произведено сопоставление токов короткого замыкания тягового трансформатора, углов коммутации тиристорных плеч ВИП, коэффициентов пульсации тока тяговых электродвигателей, электромагнитных моментов ТЭД, величин пусковых ускорений и тормозных замедлений электропоезда.

Полученные в модели средние пусковые ускорения и тормозные замедления составляют  $0,7-0,9m/c^2$ , что соответствует реальным величинам для электропоезда.

Разработанная компьютерная модель предназначена для воспроизведения переходных процессов при возникновении и ликвидации юза-буксования, нарушениях скользящего контакта при отрывах токоприемника, коротких замыканиях в силовой цепи, а также при опрокидывании инвертора. На основании результатов моделирования переходных процессов разработаны рекомендации по усовершенствованию алгоритмов управления ВИП в нестационарных эксплуатационных режимах МПСУ электропоезда.

## ВЫВОДЫ

1. Компьютерная модель замкнутой системы автоматического управления выпрямительно-инверторным преобразователем отображает основные реальные физические параметры силового электрооборудования тягового электропривода, а также интервальные дискретной цифровой обработки сигналов МПСУ опытного электропоезда.
2. Компьютерная модель воспроизводит процессы пуска и электрического рекуперативного торможения электропоезда, обеспечивая начальное плавное нарастание тока и его дальнейшую стабилизацию на уровне заданной уставки в реальном для электропоезда диапазоне изменения скорости движения.
3. Полученные на модели переходные и квазистационарные процессы адекватны реальным физическим процессам в тяговом электроприводе электропоезда.

## Литература

1. Дробкин Б.З., Чернов С.С., Корнев А.С., Якушев А.Я. Новые комплекты электрооборудования для электропоездов с улучшенными тягово-энергетическими характеристиками // Состояние и перспективы развития электроподвижного состава: Материалы IV Международной научно-технической конференции. - Новочеркасск: НЭВЗ, 2003. - 120 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. - СПб: КОРОНА принт, 2001. - 320с.
3. Якушев А.Я. Расчет параметров регулятора пускового тока микропроцессорной системы управления опытного электропоезда переменного тока // Вестник ВНИИЖТ. - 2005. - №2. - С. 30-36.
4. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. - 287 с.
5. Пласк А.В. Системы управления электрическим подвижным составом. - М.: Маршрут, 2005. - 380 с.
6. Якушев А.Я., Викулов И.П. Способы расчета параметров регуляторов тока рекуперации микропроцессорной системы управления опытного электропоезда с зонно-фазовым регулированием напряжения // Транспорт Урала. - 2006. - №-1(8). - С. 57-66.





## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ

**В статье рассмотрен метод моделирования релейно-контактных схем. Описан процесс создания имитационной модели для систем железнодорожной автоматики в специализированном редакторе. Показаны перспективы применения описанного метода для нескольких направлений: автоматизированного поиска отказов, обучения и тренировки персонала, проектирования систем железнодорожной автоматики.**

### ВВЕДЕНИЕ

Безопасность процесса движения поездов, эффективность работы оперативного персонала обеспечивают системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Большинство СЖАТ, функционирующих на сети железных дорог России в настоящее время, построены на релейной элементной базе. Такая техника наряду с неоспоримыми достоинствами (простота схем, нечувствительность к питающей сети и различным помехам, наглядность при обслуживании и ремонте) обладает и недостатками. Среди них, кроме традиционно упоминаемых высоких энерго- и материалоёмкости и ограниченных функциональных возможностей, следует отметить также большое количество модификаций СЖАТ (в рамках одного типового альбома схем на практике встречаются разные схемные решения), большие объёмы проектной документации и сложность проверки принципиальных и монтажных схем, невозможность самодиагностики и самотестирования релейно-контактных схем (РКС), сложность налаживания полноценного учебного процесса, поскольку создание действующих макетов СЖАТ требует больших площадей и ресурсов.

Решению отмеченных проблем может способствовать создание компьютерных моделей РКС и моделей СЖАТ на их основе. Такие модели позволяют легко адаптировать схемы к изменению путевого развития, оперативно отражать изменения в схемных решениях, создавать тренажеры как для оперативного персонала, так и по поиску неисправностей, обучающие и контрольные модули к автоматизированным обучающим системам (АОС).

На кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) разработана среда моделирования РКС. Построенные с ее помощью модели адекватно отражают логико-временные процессы, происходящие в схеме, позволяют отображать изменения состояний приборов как в виде имитатора пульта-табло, так и в виде временных диаграмм.

### СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ. ГРАФИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Работы по созданию модели пользователь может проводить во встроенном графическом редакторе, который специально создавался для задач проектирования РКС с учетом специфики задачи моделирования. Принципиальная схема составляется из библиотечных элементов (реле, контакт, лампа и т.п.). Каждый элемент имеет набор свойств, часть из которых отвечает за его внешний вид в соответствии с ГОСТ 2.702-75 [1] и ГОСТ 2.707-84 [2], а часть – за поведение в процессе моделирования.

Например, у элемента «нейтральное реле», наряду с такими свойствами, как замедление на включение и замедление на выключение, которые отвечают только за внешний вид, есть также свойства «подъем якоря (мс)» и «отпускание якоря (мс)», которые задают временные характеристики для реле (рис. 1).

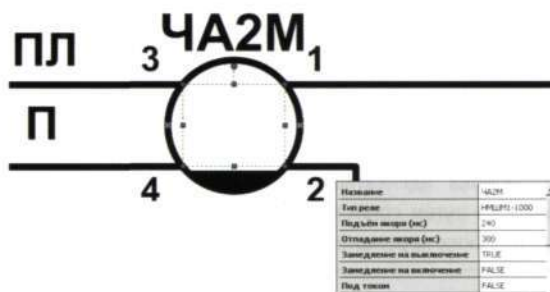


Рисунок 1 – Окно свойств

Для автоматического определения набора свойств, определяющих поведение элемента при моделировании, по данным из [3, 4], созданы базы данных элементов автоматики. В случае необходимости в базы можно добавлять новые элементы.

При вводе элемента в диалоговом режиме определяется тип реле. По типу реле – его временные характеристики, а также допустимое число контактов, что помогает при автоматизированной проверке схемы.



Несмотря на то что параметры для каждого реле однозначно определены, пользователь имеет возможность изменять их, чтобы задавать дополнительные замедления, вводимые схемным путем (параллельное подключение обмоток, конденсатор и т.п.).

Графический редактор – это одно из средств задания модели. Принципиальная схема, изображенная в нем, содержит в себе все необходимые данные для моделирования.

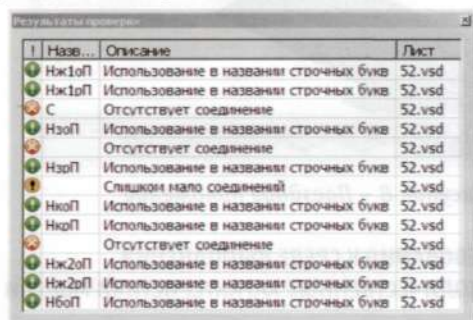
Для создания модели можно использовать схемы, созданные в любых CAD-приложениях. Для этого достаточно разработать соответствующий конвертер, который будет переводить схемы в вид, удобный для их анализа, модулем компиляции. Опыт показывает, что это задача сравнительно несложная.

Третьим способом задания модели являются монтажные карты. И принципиальные схемы, и монтажные карты однозначно задают логику функционирования системы, однако для нового проектирования удобнее использовать первый способ, тогда как моделировать уже действующие системы – второй.

## МОДУЛЬ ПОИСКА ОШИБОК В СХЕМЕ

На всех стадиях создания модели требуется постоянно отслеживать отсутствие ошибок в проекте. Для этого предназначен модуль поиска ошибок.

В задачи модуля входит нахождение в схеме логических противоречий, опечаток и случайных ошибок, совершенных по невнимательности. На выходе модуля формируется таблица с результатами проверки (рис. 2). Выделение строки таблицы производит переход к элементу с ошибкой.



№	Название	Описание	Лист
1	Нк10П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
2	Нк10П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
3	С	Отсутствует соединение	52.vsd
4	Нк20П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
5	Нк20П	Отсутствует соединение	52.vsd
6	Нк20П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
7	Нк20П	Слишком мало соединений	52.vsd
8	Нк0П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
9	Нк0П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
10	Нк0П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
11	Нк20П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
12	Нк20П	Использование в названии строчных букв	52.vsd
13	Нк0П	Использование в названии строчных букв	52.vsd

Рисунок 2 – Список ошибок

Каждая ошибка попадает в одну из трех категорий, в зависимости от того, насколько сильно она влияет на правильное функционирование схемы.

К первой категории относятся ошибки, на которые стоит обратить внимание проектировщику, но которые, скорее всего, не влияют на правильное функционирование модели.

Ко второй категории относятся ошибки, при которых модель будет функционировать, но, скорее всего, будет делать это неправильно. Этот тип ошибок характерен на этапах, когда в проект включены не все схемы, но уже производятся попытки сформировать модель.

К третьей категории относятся ошибки, которые приводят к невозможности сформировать модель и требуют обязательного исправления.

После поиска и исправления ошибок принципиальные схемы становятся готовыми к компиляции модели.

## МОДУЛЬ КОМПИЛЯЦИИ

Модуль компиляции отвечает за преобразование графического изображения схемы в набор данных, необходимых для имитационного моделирования.

Так как схемы моделируются на логико-временном уровне, графическое изображение специальным образом преобразуется в функции изменения состояний элементов (функции включения нейтральных реле, переключения поляризованных, запуска электродвигателя стрелочного привода и т.п.). В файле модели сохраняется также время, характеризующее все переходы, возможные в схеме. Перед сохранением все функции минимизируются по правилам алгебры логики и записываются в виде бинарных графов [5]. В некоторых случаях сохраняются электрические параметры элементов (ток полного притяжения и сопротивление), которые извлекаются из базы элементов.

## МОДУЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модуль запускает на выполнение готовую модель. На основе данных, подготовленных модулем компиляции, он вычисляет новые состояния элементов модели в каждый момент времени, организует соответствующие временные задержки и оповещает модули вывода о соответствующих изменениях, произошедших в схемах.

Модуль производит согласование реального и внутримодельного времени с помощью поправок на время исполнения программного кода. Отвечает за пошаговую работу схемы и отслеживает нагрузку на центральный процессор (рис. 3).

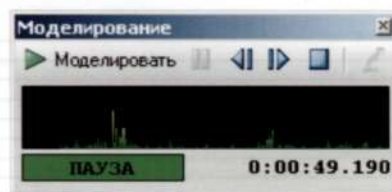


Рисунок 3 – Окно моделирования



## МОДУЛИ ВЫВОДА

На данном этапе существует 3 уровня абстракции, за каждый из которых отвечает свой модуль вывода.

1-й уровень – уровень РКС. Особенностью модуля является использование в качестве элементов вывода информации входных данных, т.е. принципиальных схем, нарисованных в графическом редакторе. Здесь отображается состояние всех реле, контактов, приводов, контактов автопереключателя, полюсов питания, подсвечиваются цепи прохождения тока (рис. 4).

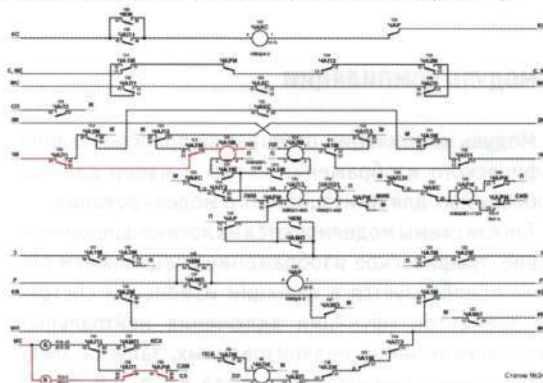


Рисунок 4 – Уровень релейно-контактных схем

Одновременно система ведет журнал изменений (рис. 5), в котором фиксируются все изменения, происходящие в схеме, а также, что особенно важно, для

Время	Элемент	Изм.	Причина
0:00:00.600	П	0->1	
0:00:00.700	П	0->1	П=1
0:00:00.700	П1	0->1	П=1
0:00:00.800	2ОСД	0->1	П=1
0:00:00.900	2ОС	0->1	2ОСД=1
0:00:01.000	2ОС1Д	0->1	2ОС=1
0:00:01.100	2ОС1	0->1	2ОС1Д=1
0:00:01.100	П	1->0	
0:00:01.100	Н	0->1	
0:00:01.200	НК	0->1	Н=1
0:00:01.300	НКН	0->1	НК=1
0:00:01.300	1С	0->1	1С=
0:00:01.400	Н	0->1	1С=1

Рисунок 5 – Журнал изменений

каждого из них указывается причина. Журнал поддерживает гипертекстовые переходы, что позволяет, выбрав элемент в списке, перейти к его изображению на схеме. Возможен вывод результатов моделирования и в виде временных диаграмм. В этом случае на диаграмму выносятся только те элементы, которые изменили свое состояние в заданном промежутке времени (рис. 6).



Рисунок 6 – Временная диаграмма

2-й уровень – уровень пульта-табло. Имитатор пульта-табло набирается из стандартных ячеек (аналогов ячеек ИСОЕЦ), поэтому полностью повторяет вид аппарата управления типа ППНБ (рис. 7).

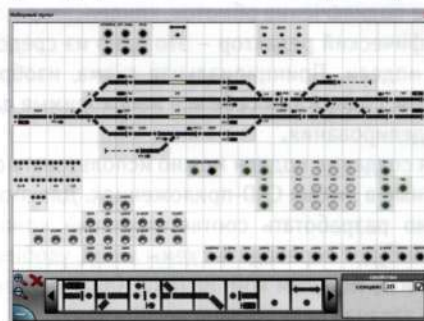


Рисунок 7 – Пульт-табло

На табло отображается текущее поездное положение. Имеется возможность производить все технологические операции, которые возможны на реальном пульте (задание и отмена маршрута, искусственная разделка и т.д.).

Кроме того, пользователь имеет возможность имитировать изменения поездного положения, вносить в схему различные неисправности (рис. 8).

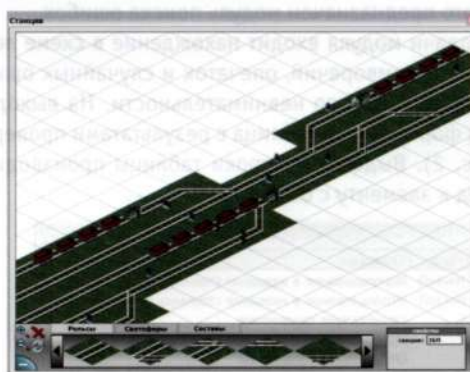


Рисунок 8 – Поездное положение

## ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛИ

В разработанной среде моделирования применен ряд уникальных методик, которые обеспечивают высокую скорость создания модели на всех стадиях проектирования:

- минимизация функций алгебры логики;
- применение метода бинарных программ;
- использование таблиц взаимозависимостей элементов;
- изолирование зависимостей между листами;
- динамическое вычисление шага моделирования;
- применение метода пошаговой декомпозиции принципиальных схем;



- использование схем замещения;
- замена элементов ссылками на родительские элементы;
- использование первичных моделей для каждого листа проекта.

Рассмотрим скорость подготовки и функционирования модели на конкретном проекте – модели типового альбома электрической централизации ЭЦ-12-90. В альбом входит 80 листов принципиальных схем. От внесения изменений в проект до запуска модели проходит менее 15 с. Модель функционирует в масштабе реального времени, с возможностью как ускорения, так и замедления, вплоть до пошаговой работы.

Ряд решений, принятых в данной работе, позволил сделать время обсчета следующего состояния модели меньшим времени, за которое реальная система переходит в это состояние, что и позволяет модели работать в реальном времени. А это, в свою очередь, открывает широкие возможности по применению данной разработки.

Среда моделирования была организована таким образом, чтобы скорость моделирования нелинейно зависела от числа элементов в схеме. В данной разработке скорость моделирования зависит от количества одновременно изменяющихся элементов в схеме, а это число ограничено и примерно постоянно, а также не зависит от количества элементов. Это свойство особенно важно для масштабных проектов, для которых стандартные подходы [6] не годятся, так как с ростом числа элементов схемы, резко замедляется скорость расчета модели.

## СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

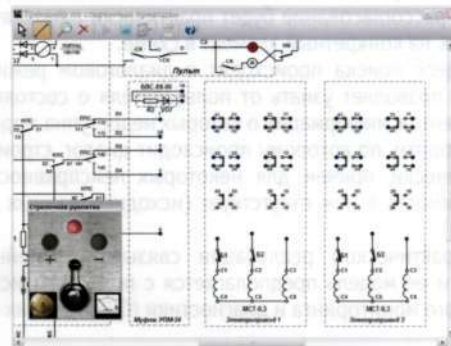
**Учебный процесс.** Сегодня учебный процесс в вузе должен отвечать современным требованиям как с точки зрения методики преподавания, так и по техническому оснащению. Однако установить в рамках учебной лаборатории действующий макет, например, электрической централизации (ЭЦ), не всегда представляется возможным, учитывая количество аппаратуры, которое необходимо при этом разместить. В связи с этим актуальным становится применение в учебном процессе, наряду с действующими макетами СЖАТ, их имитационных моделей, не имеющих указанных недостатков.

С точки зрения учебного процесса модели РКС обладают следующими возможностями:

- созданием модели любой модификации любой релейной системы СЖАТ; изменением модификации системы;
- изменением схем при изменении путевого развития станции (путевого плана перегона);
- подсветкой цепей, находящихся под током;
- пошаговой работой схем;
- ведением журнала изменения состояний реле;

- автоматическим построением временных диаграмм;
- внесением неисправностей в схему;
- построением тренажеров по поиску неисправностей;
- построением тренажеров для оперативного персонала (ДСП, ДНЦ и т.д.), в том числе и по работе в чрезвычайных ситуациях;
- автоматизированным получением иллюстраций и слайдов к лекциям, докладом;
- автоматизацией учебного процесса путем включения моделей в различные АОС.

Компьютерные модели РКС позволяют решать вопросы не только анализа схем, но и их синтеза. На базе рассматриваемых моделей возможно создание тренажеров с «творческой» составляющей [5], где некоторую часть схем предлагается дорисовать обучающему. Далее автоматически создается модель полученной схемы. По ее реакции на входные воздействия (например, воздействие на органы управления) можно судить о правильности собранной схемы (рис. 9).



**Рисунок 9 – Тренажер по синтезу пятипроводной схемы управления спаренными приводами**

Кроме того, такие тренажеры дополняются блоком автоматической проверки правильности сборки схемы, который не только констатирует правильность сборки, но и выдает замечания по обнаруженным недостаткам.

**Проектирование.** Так как исправление ошибки на этапе проектирования значительно дешевле, чем исправление ее на этапе пусконаладочных работ, целесообразно применять модель РКС для проверки проектных решений и контроля качества проектной документации.

### Автоматизированный поиск неисправностей.

Пожалуй, одним из наиболее интересных и полезных применений модель РКС находит в сфере диагностики и поиска отказов. Авторами предложена методика автоматизированного поиска отказов в РКС.

Принцип метода заключается в параллельной работе реальной схемы автоматики и ее имитационной модели. Все воздействия (нажатия кнопок на пульте, перемещение поезда по станции) должны одновременно поступать как на вход релейной системы, так и на вход ее логико-временной модели.



Если неисправности в системе отсутствуют, то модель и релейная система ведут себя одинаково. Рассогласование выходных данных считается признаком отказа.

Однако модель РКС позволяет не только зарегистрировать факт отказа, но и значительно сузить круг поиска его источника. Это становится возможным, так как модель РКС обладает информацией о каждом цикле работы схемы после каждого внешнего воздействия. Сравнивая выходные показания релейной схемы (индикацию на пульте и состояние некоторых реле) модуль поиска неисправностей может делать выводы о том, на каком именно такте работы произошел отказ.

Как показали предварительные испытания, проведенные на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС, этой информации вполне достаточно, чтобы определить неисправный элемент в РКС.

На основе сравнения временных параметров можно выявлять предотказные состояния системы. Например, в случае потери конденсатором нормативных временных характеристик система РКС и ее модель все еще будут работать синхронно, однако будет наблюдаться рассогласование по временам тактов работы. Так как в ответственных схемах применяется незначительное число конденсаторов, рассогласование будет практически однозначно указывать на конкретный элемент в схеме.

Процесс поиска происходит в диалоговом режиме, который позволяет узнать от пользователя о состоянии тех элементов, информация о которых недоступна модели РКС. Алгоритм, по которому происходит диалог, строится автоматически, причем для некоторых неисправностей необходимость в нем отсутствует (исходных данных достаточно).

В практической реализации связывать релейную систему и ее модель предполагается с помощью систем удаленного мониторинга и диагностики (СДУМ), таких как АПК-ДК.

Как известно, информация в таких системах снимается в основном с пульта-табло. Как показывает практика,

этой информации достаточно, чтобы количество шагов в диалоге с пользователем составляло от 0 до 5.

Таким образом, модель РКС выполняет очень важную функцию, практически отсутствующую на современном этапе в системах СДУМ, – интеллектуальную обработку потока снимаемых показаний.

Примерно по такой же схеме можно построить и систему подсчета количества срабатываний реле и длительности горения ламп светофоров. На базе логико-временной модели такие задачи являются тривиальными, при этом решение их другими методами вызывает значительные затруднения или дает неточные результаты.

Экономический эффект от использования подобной технологии очевиден: замена приборов может производиться не на регулярной основе, а на адаптивной – в зависимости от нагрузки на конкретный прибор (обслуживание по фактическому техническому состоянию).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная в статье технология моделирования релейно-контактных схем обладает рядом замечательных свойств, что позволяет применять ее для решения широкого круга задач:

- подготовки специалистов;
- проектирования устройств и систем ж/д автоматики;
- автоматизированного поиска неисправностей;
- выявления предотказных состояний;
- подсчета числа срабатываний приборов;
- определения мест установки датчиков систем СДУМ;
- отладки и диагностики микропроцессорных систем

СЖАТС.

Работа носит практический характер, поэтому авторы надеются, что она получит внедрение на сети железных дорог.

## Литература

1. ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
2. ГОСТ 2.707-84 ЕСКД. Правила оформления электрических схем железнодорожной сигнализации, централизации и блокировки.
3. Сороко В.И., Милуков В.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник в 2 кн. Кн. 1; 3-е изд. - М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. - 960 с.
4. Время срабатывания и отпускания малогабаритных реле типа НМШ и НМШМ. - Л.: Гипротрансисигнальсвязь, 1963. - 39 с.
5. Henrik Reif Andersen and Henrik Hulgaard. Boolean expression diagrams. In Proceedings, Twelfth Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science, pages 88-98. - Warsaw, Poland, June 29 - July 2, 1997. IEEE Computer Society.
6. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (PSpice). - М.: СК Пресс, 1996. - 272 с.
7. Левин В.И. Обучение и самообучение, или Когда компьютеры помогают обучению// Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Материалы Всероссийской конференции, г. Камышин. - Волгоград, 2002. - 258 с.



## УСЛОВИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЛУЧЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ИСПЫТАНИЙ

**Опыт проведения и участия в скоростных испытаниях на действующих линиях ОАО «РЖД» начиная с 1974 г. позволяет говорить о необходимости совершенствования экспериментальных методик и применения дополнительных организационных мероприятий.**

Одним из условий адекватности полученных результатов и затрат на проведение испытаний является правильная постановка задачи. В данном контексте задача – это получение информации, способствующей дополнительному уточнению сведений либо предположений о характере изучаемого процесса.

В ходе реализации программы испытаний, сочетания различных параметров целесообразно определять не только исходя из теоретических предпосылок и на основании опыта предшествующих экспериментов, но и с учетом однозначности трактовки получаемых результатов.

*Пример.* Определение аэродинамического вертикального воздействия набегающего на токоприемник воздушного потока нерационально без регистрации характера, направления и местных скоростей обтекания его различных элементов, поэтому полученная таким образом зависимость не позволяет дать рекомендации по совершенствованию или корректировке аэродинамики токоприемника. Более того, при изменении нерегистрируемых параметров получаемые результаты могут быть противоречивыми или ложными.

Накопление статистических данных частично помогает отстроиться от случайных изменений и получить усредненные величины, при этом затратив значительное количество времени и средств.

*Пример.* Для того чтобы дать количественную оценку изменения отжата контактных проводов, необходимо произвести 30 экспериментов по определению отжата контактных проводов при взаимодействии с токоприемником в примерно совпадающих условиях, получив среднее значение, среднеквадратическое отклонение и пр. для скорости электроподвижного состава 150 км/ч, а также провести эти же эксперименты со скоростью электроподвижного состава, равной 200 км/ч.

Интерес представляет постоянное изменение одного параметра (например, скорости) при относительно постоянных прочих обстоятельствах и при условии достижения установившегося режима системы при каждом изменении.

В рамках линейных испытаний контактных подвесок этот способ приводит к увеличению размеров полигона, требует трудоемкой подготовки инфраструктуры, но за счет «контрольных точек» (к которым всегда можно вернуться) можно говорить о количественном влиянии какого-либо параметра на результат.

*Пример.* При движении с постоянной скоростью по полигону экспериментальной контактной подвески, анкерные участки которой отличаются только натяжением проводов, можно установить влияние натяжения на отжата при взаимодействии с токоприемником.

В реальных условиях чрезвычайно трудно обеспечить проведение линейных испытаний таких объектов, как система токосъема магистрального электрического транспорта, так как вся инфраструктура испытательного комплекса используется и в основной деятельности (в перевозочном процессе), и при проведении различных видов испытаний. Поэтому задачи исследования укрупняются и обобщаются. Желание проследить в таких условиях какие-либо закономерности трудноосуществимо. Таким образом, в ходе таких испытаний оценивается работоспособность системы в различных режимах типовых эксплуатационных условий, а полученные при этом результаты могут быть использованы в научной работе опосредованно, после уточнения значения всех компонент.

Исходя из вышесказанного, типовая программа проведения линейных испытаний системы токосъема магистрального электрического транспорта может быть сформулирована следующим образом: программа испытаний системы токосъема контактной подвески, модифицированной для скорости движения 250 км/ч

### 1. Цель испытаний

Экспериментальная проверка статических и динамических параметров системы токосъема контактной сети, модифицированной для скоростей до 250 км/ч, и оценка ее свойств на перегоне. Предварительные сравнительные испытания различных типов контактных подвесок.





## 2. Объекты и условия испытаний

2.1. Объектами испытаний являются проектные решения контактной сети, отличающиеся натяжением контактных проводов и несущих тросов, а также конструкцией опорных узлов (рессорный трос или смещенные струны, величина зигзага контактных проводов).

Дополнительно исследуются сопряжения анкерных участков и пролеты с поперечными электрическими соединителями.

2.2. Статические испытания включают проверку характеристик и параметров контактной подвески и сравнение их с проектными для расчетов взаимодействия контактной подвески с токоприемниками.

2.3. Динамические испытания осуществляются со скоростями до 250 км/ч с одним измерительным токоприемником вагона-лаборатории для испытания контактной сети (ВИКС) и токоприемником локомотива, оснащенного измерительным комплексом.

2.4. Опытный поезд формируется из электроваза ЧС200, тепловоза ТЭП-70БС и ВИКС, оборудованный тележками для скорости движения до 200 км/ч.

2.5. Измерительный токоприемник вагона ВИКС должен быть на период проведения испытаний оборудован подъемно-опускающим механизмом, обеспечивающим регулирование статического нажатия на контактный провод до 300 Н.

2.6. Испытания должны производиться в окна продолжительностью не менее четырех часов.

## 3. Программа испытаний

3.1. Определение параметров контактной подвески по перечню величин, заданных в альбоме схемных решений по контактной сети для скоростей движения 250 км/ч.

3.2. Регистрация контактного нажатия и перемещений ползцов и рам измерительного токоприемника.

3.3. Регистрация отжатий и колебаний проводов в характерных точках исследуемых пролетов (переходные пролеты сопряжений анкерных участков, места установки экспериментальных поперечных электрических соединителей).

3.4. Определение высотного положения проводов контактной подвески в пролетах сопряжения при различных значениях статического нажатия токоприемника с помощью ВИКС.

3.5. Определение зоны подхвата и угла наклона в ней контактных проводов при различных значениях статического нажатия токоприемника.

3.6. Определение жесткости контактной подвески в пролетах, сгруппированных по три, в про-

летах сопряжений анкерных участков, а также в местах установки экспериментальных поперечных электрических соединителей.

3.7. Измерение массовых и габаритных показателей поперечных электрических соединителей, определение их собственной жесткости и предварительного натяжения.

3.8. Определение характеристик и параметров токоприемников.

3.9. Оценка качества токосъема высокоскоростной системы взаимодействия токоприемник – контактная подвеска.

## 4. Результаты работы

Результаты должны содержать:

а) по статическим параметрам:

- геометрические размеры контактной подвески в выбранных пролетах и на сопряжениях анкерных участков; натяжения всех проводов и тросов, входящих в состав подвески, измеренные согласно разработанной методике;

- ведомости отжатий контактных проводов под действием сил 150 и 300 Н в выбранных пролетах и на сопряжениях анкерных участков;

- результаты должны быть представлены в виде таблиц и графиков жесткости (эластичности) для выбранных пролетов;

б) по динамическим параметрам:

- контактное нажатие, его среднее значение и среднеквадратическое отклонение вдоль анкерных участков;

- отжатия и колебания проводов в указанных точках измерительных пролетов, в том числе на сопряжениях;

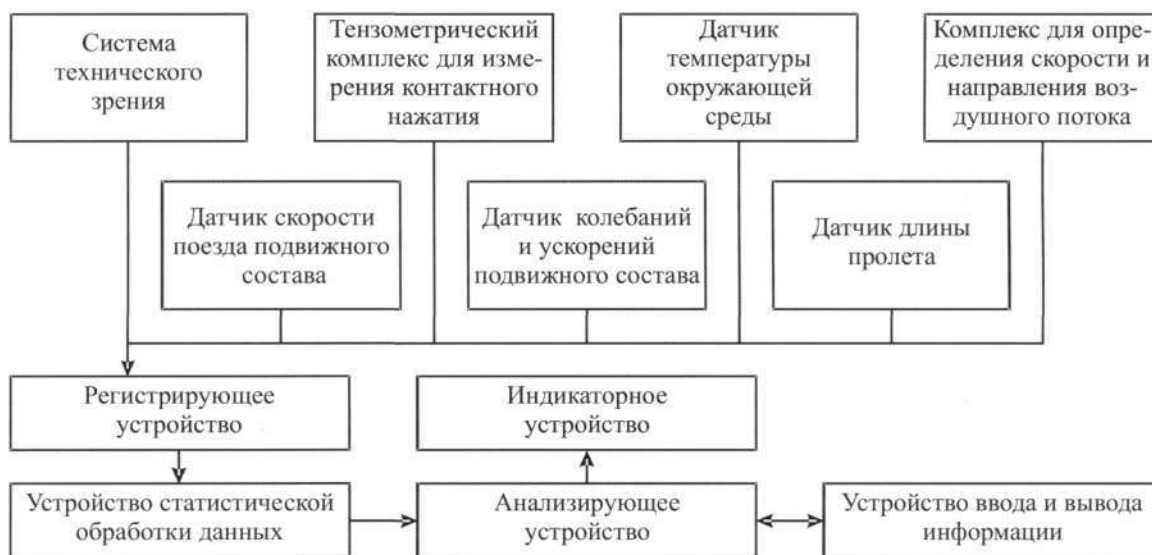
- частотную и амплитудную характеристики вертикальных, продольных и поперечных колебаний полоза и системы подвижных рам токоприемника для каждого анкерного участка;

- зависимости аэродинамической подъемной силы токоприемника от скорости движения и высоты подъема;

- результаты должны быть представлены в виде графиков вдоль измеряемых анкерных участков.

Для проведения испытаний по предложенной программе информационно-вычислительный комплекс может быть выполнен по схеме, приведенной на рис. 1. Измерительная подсистема может быть адаптирована в соответствии с потребностями. Полученные в ходе обработки результаты могут быть подвергнуты анализу в сравнении с первичными данными, что позволяет снизить вероятность ошибочных оценок в различных условиях.





**Рисунок 1 – Система динамической оценки состояния контактной сети**

Исследования контактных подвесок, выполненные по предлагаемой программе, позволяют получить однозначные оценки работоспособности представленных типов устройств. Качественные оценки работоспособности устройств получаются со значительным «доверительным интервалом», а о количественных вести речь не представляется возможным. При этом в ходе выполнения программы предвари-

тельно определяется значительное количество параметрических данных и характеристик отдельных элементов системы взаимодействия. При надлежащем качестве измерений они представляют значительную научную и практическую ценность, так как являются достоверными и могут быть использованы в качестве исходных данных в расчетах и моделировании.

## Литература

1. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов ж/д транспорта. - М.: Маршрут, 2003. - 416 с.
2. Мирошинченко Р.И., Купцов Ю.Е., Шинкарева Т.Ф. Автоматизированная система контроля и оценки состояния тяговой сети по данным вагона-лаборатории с мини-ЭВМ//Тр. ВНИИЖТ. - 1980. - Вып. 635. - С. 42-60.
3. Вологин В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. - М.: Ин-текст, 2006. - 256 с.



## СТРУКТУРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В современных условиях широкое применение на транспорте получают полупроводниковые приборы и устройства на их основе, позволяющие управлять нагрузкой в самом широком диапазоне, по любой желаемой характеристике.

Наибольшее внимание среди них заслуживают тяговые электроприводы и системы управления ими, совершенствование которых идет по пути полной автоматизации всех процессов пуска и торможения. С каждым годом тяговый электропривод и системы автоматического управления им становятся сложнее, повышаются требования к качеству переходных процессов в них. Поэтому исследование динамических свойств таких автоматических систем является актуальной задачей.

Оценка динамических свойств системы автоматического регулирования (САР) производится по ее переходной функции  $y_p(t)$  (где  $y_p$  – регулируемая величина) с помощью прямых показателей качества регулирования (перерегулирование, время регулирования и т.д.). Учитывая, что в общем случае САР представляет собой последовательно и параллельно соединенные группы динамических звеньев 1-го и 2-го порядков с внутренними и внешними обратными связями, то получение ее переходной функции аналитическим или частотным методами представляется сложной задачей [1].

Такая задача может быть достаточно просто решена методом структурного математического моделирования с применением численного интегрирования дифференциальных уравнений на ЭВМ [2]. Технология выполнения вычислительных процедур при реализации этого метода следующая:

а) на основе математической модели САР составляется ее структурная схема (назовем ее исходной), на которой изображаются все составляющие САР динамические звенья и их взаимосвязи. На рис. 1 в качестве примера приведена структурная схема САР, которая содержит пропорционально-интегральный регулятор, пропорциональное звено и два аperiodических звена 1-го порядка;

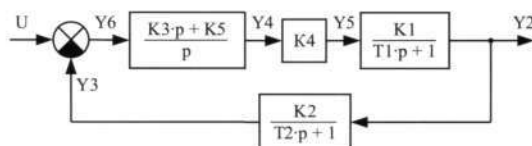


Рисунок 1 – Исходная структурная схема САР

б) исходная структурная схема САР преобразуется таким образом, чтобы она состояла только из динамических звеньев 1-го порядка – рис. 2 (необходимость этого объясняется тем, что метод численного интегрирования применим только для дифференциальных уравнений 1-го порядка [3]).

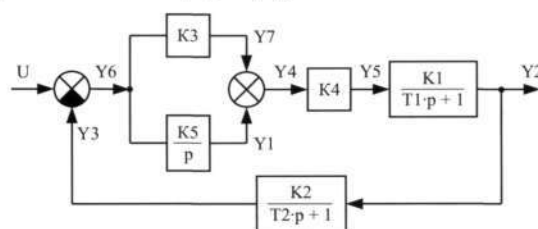


Рисунок 2 – Преобразованная структурная схема САР

В табл. 1 приведены примеры преобразования основных типовых динамических звеньев и соответствующие им формализованные дифференциальные уравнения, в которых принято обозначение  $\dot{Y}_i = dy_i/dt$ ;

Динамическое звено	Структурная схема		Дифференциальные уравнения
	Исходная	Преобразованная	
Аperiodическое звено 1-го порядка	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T_1 p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T_1 p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_2 = K \cdot Y1 - \frac{Y2}{T_1}$
Аperiodическое звено 2-го порядка	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T_1 p + 1} \right] \rightarrow Y3 \rightarrow \left[ \frac{1}{T_2 p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_3 = K \cdot Y1 - \frac{Y3}{T_1}$ $\dot{Y}_2 = \frac{Y3 - Y2}{T_2}$
Интегральное звено	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{p} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{p} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_2 = K \cdot Y1$
Пропорционально-интегральное звено	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K1 p + K2}{p} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K1}{p} \right] \rightarrow Y3 \rightarrow \left[ \frac{K2}{p} \right] \rightarrow Y4 \rightarrow \left[ \frac{1}{p} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_4 = K2 \cdot Y1$ $\dot{Y}_2 = K1 \cdot Y1 + Y4$
Дифференциальное звено 1-го порядка	$Y1 \rightarrow \left[ K p \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ K p \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_1 = \frac{Y2}{K}$
Дифференциальное звено 2-го порядка	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T p + 1} \right] \rightarrow Y3 \rightarrow \left[ \frac{1}{T p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_1 = \frac{Y3 - Y1}{T}$ $\dot{Y}_3 = \frac{Y2 - Y1}{T}$
Колебательное звено	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$Y1 \rightarrow \left[ \frac{K}{T p + 1} \right] \rightarrow Y3 \rightarrow \left[ \frac{1}{T p + 1} \right] \rightarrow Y2$	$\dot{Y}_3 = \frac{Y1 - Y3 - 2\zeta \cdot Y3}{T}$ $\dot{Y}_5 = \frac{Y3}{T}$ $\dot{Y}_2 = K \cdot Y5$



в) для преобразованной структурной схемы с учетом данных табл. 1 составляется система уравнений. Для рассматриваемого примера:

$$Y_6 = U - Y_3, \quad (1)$$

$$Y_7 = K_3 \cdot Y_6, \quad (2)$$

$$\dot{Y}_1 = K_5 \cdot Y_6, \quad (3)$$

$$Y_4 = Y_7 + Y_1, \quad (4)$$

$$Y_5 = K_4 \cdot Y_4, \quad (5)$$

$$\dot{Y}_2 = \frac{K_1 \cdot Y_5 - Y_2}{T_1}, \quad (6)$$

$$\dot{Y}_3 = \frac{K_2 \cdot Y_2 - Y_3}{T_2}. \quad (7)$$

Полученная система уравнений решается затем относительно дифференцируемых переменных. В результате получается новая система, состоящая только из дифференциальных уравнений первого порядка (назовем их базовыми уравнениями), число которых определяется порядком характеристического уравнения САР. Для рассматриваемого примера:

$$\dot{Y}_1 = K_5 \cdot (U - Y_3), \quad (8)$$

$$\dot{Y}_2 = \frac{K_1 \cdot K_4 \cdot (K_3 \cdot (U - Y_3) + Y_1) - Y_2}{T_1}, \quad (9)$$

$$\dot{Y}_3 = \frac{K_2 \cdot Y_2 - Y_3}{T_2}; \quad (10)$$

г) базовая система дифференциальных уравнений одновременно решается на ЭВМ каким-либо методом численного интегрирования. В результате получают зависимости  $y_i(t)$  (в том числе и регулируемой величины  $y_p(t)$ ), которые могут быть выведены на экран, на печать или в файл;

д) если какие-либо параметры динамических звеньев (постоянные времени или коэффициенты передачи) являются нелинейными функциями дифференцируемых переменных, то записываются аналитические выражения, характеризующие эти нелинейные зависимости (назовем их вспомогательными уравнениями):

$$K_i = \varphi_1(Y_i), \quad (11)$$

$$T_i = \varphi_2(Y_i), \quad (12)$$

с помощью которых значения этих параметров обновляются на каждом шаге интегрирования базовых уравнений;

е) в соответствии с вышеизложенным алгоритмом выполнения вычислительных процедур составляется блок-схема одновременного решения базовых уравнений каким-либо методом численного интегрирования на ЭВМ с обновлением начальных условий и параметров динамических звеньев на каждом шаге интегрирования (рис. 3);

ж) составляется программа решения всех уравнений математической модели САР на каком-либо машинном языке ЭВМ.

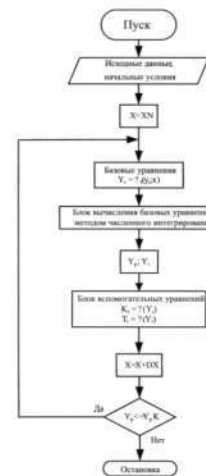


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма вычисления уравнений математической модели САР на ЭВМ

Таким образом, эквивалентные преобразования заданных структурных схем САР путем замены динамических звеньев второго порядка на динамические звенья первого порядка позволяют получить для любой САР стандартную математическую модель, которая легко решается на ЭВМ каким-либо методом численного интегрирования. Это дает возможность проводить многовариантные расчеты переходной функции САР с целью оптимизации параметров автоматической системы при ее анализе или синтезе.

Изложенная методика структурного математического моделирования систем автоматического регулирования может быть с успехом использована при исследовании любых, в том числе и неавтоматизированных технических систем.

## Литература

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. - М.: Машиностроение, 1978. - 736 с.
2. Бегагоин Э.И. Исследование систем автоматического регулирования электроподвижного состава. - Екатеринбург: УЭМИИТ, 1992. - 128 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984. - 832 с.



# МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ ДЛЯ ОДНОПУТНОГО УЧАСТКА В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 94 КВ

Ведется разработка комплекса релейной защиты и автоматики системы тягового электроснабжения 94 кВ. Приведена расчетная схема системы 94 кВ. Определены места установки защит фидеров контактной сети и питающих проводов. Исследование аварийных и вынужденных режимов работы системы 94 кВ не представляется возможным без определения электрических параметров режима, т.е. токов и напряжений. В связи с этим разработана методика расчета токораспределения при коротких замыканиях для однопутного участка.

Необходимость разработки точной методики расчета токов короткого замыкания (к.з.) определяет такую расчетную схему, которая позволила бы учитывать изменение числа источников питания и промежуточных трансформаторных подстанций (ТПП). Наиболее удобной представляется использование схемы замещения в виде, приведенном на рис. 1.

Расчет токораспределения в системе 94 кВ будем производить на основании решения системы уравнений, составленных с использованием законов Кирхгофа для схемы замещения, приведенной на рис. 1, с учетом всех взаимоиндуктивных связей.

Составляются уравнения методом контурных токов. За контурные принимаются токи, протекающие между двумя ближайшими ПТП по цепям:

ГТП1 – КС (ПП) – ПТПп (или место к.з.) – рельс (ПП) – ГТП1;

ПТП<sub>n</sub> – КС (ПН) – ПТП<sub>n+1</sub> – рельс (ПН) – ПТП<sub>n</sub>,  
где n – номер ПТП.

Если для неизвестных принять ЭДС и токи ПТП, а также токи фидеров контактной сети, протекающих от ГТП1 и ГТП2, то общее число уравнений описывающих схему на рис. 1, равно  $2N + 3$ , где число уравнений, описывающих схему без ПТП, равно трем, число уравнений, описывающих одну ПТП, равно двум, после преобразований представляются в одно уравнение, и  $N$  – количество ПТП на фидерной зоне. Таким образом, конечное число уравнений, составленных для схемы замещения (см. рис. 1), равно семи.

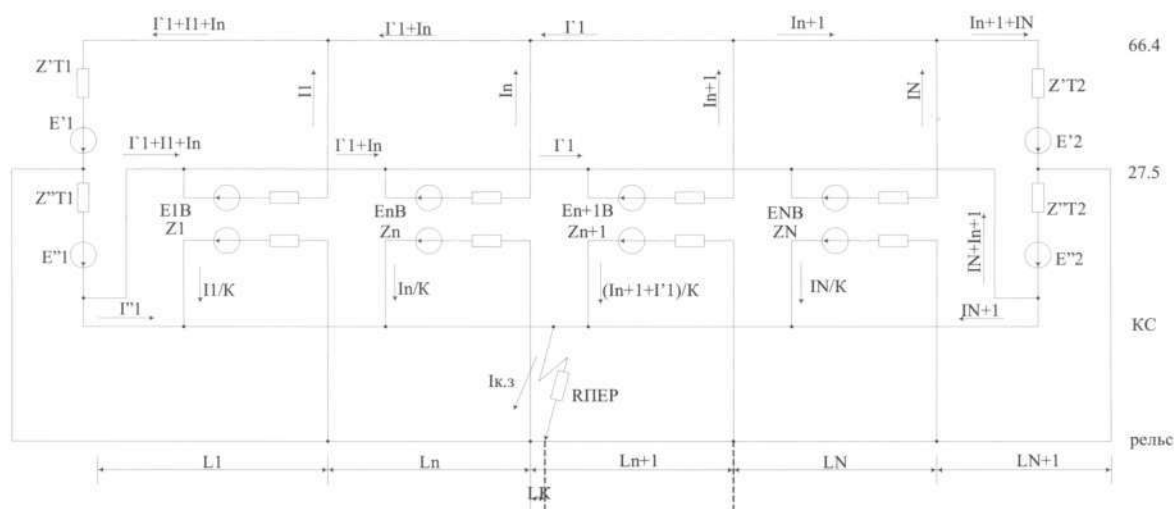


Рисунок 1 – Схема замещения системы тягового электроснабжения 94 кВ





Рассмотрим методику составления уравнений для к.з. КС – рельс.

Обход контуров производим по цепи ГТПн – КС (ПП) – КЗ (или ЭДС ПТП) – рельс – ГТПн.

Для контура ГТП1 – КС – КЗ – рельс – ГТП1 уравнение по II закону Кирхгофа после упрощений и введения дополнительных буквенных обозначений запишется:

$$\dot{E}_1'' = \dot{I}_1'' \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_1' \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_n' \cdot \underline{Z}_3 + \dot{I}_{N+1}' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_N' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_{n+1}' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}' \cdot \underline{Z}_4, \quad (1^*)$$

где  $\dot{I}_1'', \dot{I}_1', \dot{I}_n', \dot{I}_n'$  – токи КС и ПП на участке между ГТП1 и ПТП1;

$\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4$  – расчетные сопротивления, учитывающие сопротивления трансформатора ГТП1, удельное сопротивление КС, состоящей из несущего троса и контактного провода, удельное сопротивление рельсового пути однопутного участка, удельные сопротивления взаимной индукции между ПП 66,4 кВ и КС, ПП 27,5 кВ и КС, КС – эквивалентным рельсом;

$R_{\text{пер}}$  – переходное сопротивление рельс – земля.

Все собственные и взаимные сопротивления определяются по [1-3].

Таким образом, составляются уравнения, описывающие следующие контуры:

ПТПн (ЕЛТПНн) – КС – КЗ – рельс – ЕЛТПНн;

ГТП1 – ПП 27,5 – ЕЛТПВ2 – ПП 66,4 – ГТП1;

ПТП1 (ЕЛТПН1) – КС – КЗ – рельс – ЕЛТПН1;

ГТП1 – ПП 27,5 – ЕЛТПВ1 – ПП 66,4 – ГТП1;

ПТПn+1 (ЕЛТПНn+1) – КС – КЗ – рельс – ЕЛТПНn+1;

ГТП1 – ПП 27,5 – ЕЛТПВn+1 – ПП 66,4 – ГТП1;

ГТП2 – ПП 27,5 – ЕЛТПВn+1 – ПП 66,4 – ГТП2;

ПТПN (ЕЛТПНН) – КС – КЗ – рельс – ЕЛТПНН;

ГТП2 – ПП 27,5 – ЕЛТПВN – ПП 66,4 – ГТП2;

ГТП2 – КС – КЗ – рельс – ГТП2.

После преобразований и введений дополнительных обозначений полученная система линейных уравнений состоит из 7 выражений и имеет вид

$$\dot{E}_1'' = \dot{I}_1'' \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_1' \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_n' \cdot \underline{Z}_3 + \dot{I}_{N+1}' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_N' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_{n+1}' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}' \cdot \underline{Z}_4 \quad (1)$$

$$\dot{E}_1' + \dot{E}_1'' = \dot{I}_1'' \cdot (\underline{Z}_8 + \underline{Z}_5 \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_9 + \underline{Z}_5 \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_n' \cdot (\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_6 \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{11} + \underline{Z}_7 \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{N+1}' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_N' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_{n+1}' \cdot \underline{Z}_{12} \quad (2)$$

$$\dot{E}_1' + \dot{E}_1'' = \dot{I}_1'' \cdot (\underline{Z}_{17} + \underline{Z}_{13} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{18} + \underline{Z}_{14} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_n' \cdot (\underline{Z}_{19} + \underline{Z}_{15} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{19} + \underline{Z}_{16} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{N+1}' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_N' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_{n+1}' \cdot \underline{Z}_{12} \quad (3)$$

$$\dot{E}_1' + \dot{E}_1'' = \dot{I}_1'' \cdot (\underline{Z}_{24} + \underline{Z}_{12}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{25} + \underline{Z}_{12}) + \dot{I}_n' \cdot (\underline{Z}_{26} + \underline{Z}_{12}) + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{29} + \underline{Z}_{20} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{N+1}' \cdot (\underline{Z}_{27} + \underline{Z}_{21} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_N' \cdot (\underline{Z}_{27} + \underline{Z}_{22} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{n+1}' \cdot (\underline{Z}_{28} + \underline{Z}_{23} \cdot K_{\text{ЛПН}}) \quad (4)$$

$$\dot{E}_2'' = \dot{I}_1'' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_1' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_n' \cdot R_{\text{пер}} + \dot{I}_1' \cdot \underline{Z}_{30} + \dot{I}_{N+1}' \cdot \underline{Z}_{31} + \dot{I}_N' \cdot \underline{Z}_{32} + \dot{I}_{n+1}' \cdot \underline{Z}_{33} \quad (5)$$

$$\dot{E}_2' + \dot{E}_2'' = \dot{I}_1'' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_1' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_n' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{40} + \underline{Z}_{34} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{N+1}' \cdot (\underline{Z}_{37} + \underline{Z}_{35} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_N' \cdot (\underline{Z}_{38} + \underline{Z}_{35} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{n+1}' \cdot (\underline{Z}_{39} + \underline{Z}_{36} \cdot K_{\text{ЛПН}}) \quad (6)$$

$$\dot{E}_2' + \dot{E}_2'' = \dot{I}_1'' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_1' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_n' \cdot \underline{Z}_{12} + \dot{I}_1' \cdot (\underline{Z}_{41} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{N+1}' \cdot (\underline{Z}_{45} + \underline{Z}_{42} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_N' \cdot (\underline{Z}_{46} + \underline{Z}_{43} \cdot K_{\text{ЛПН}}) + \dot{I}_{n+1}' \cdot (\underline{Z}_{47} + \underline{Z}_{44} \cdot K_{\text{ЛПН}}) \quad (7)$$





Решение полученной системы уравнений производится любыми известными методами, используемыми при решении линейных систем уравнений.

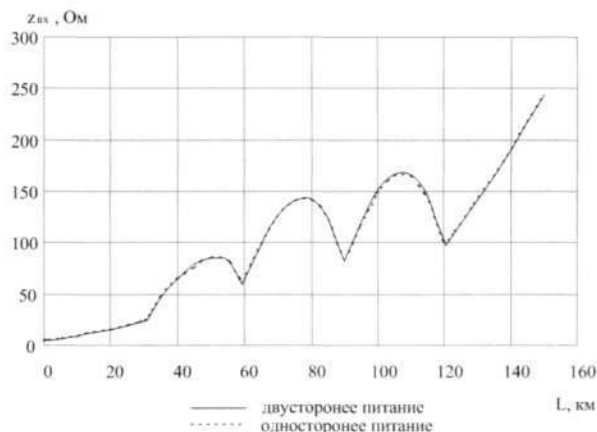
В качестве примера расчета с использованием приведенной выше методики получены входные сопротивления, измеряемые защитами КП для режима работы системы при включенных промежуточных трансформаторных подстанциях, при к.з. КП – рельс по всей длине фидерной зоны (рис. 2).

Результаты исследования влияния режимов работы СТЭ 94 кВ на параметры, измеряемые защитами, показывают, что при расчете уставок защит необходимо учитывать вынужденные режимы работы, т.е. отключение ПТП слева или справа от поврежденной зоны, так как увеличиваются значения сопротивлений, измеряемых защитами. Сопротивления, измеряемые защитами при вынужденном режиме работы, составляют 1,52–1,63 при к.з. на шинах ПТП и 1,08–1,12 при к.з. между ПТП от соответствующих сопротивлений при включенных ПТП.

Анализ результатов расчетов позволил выявить особенности изменения измеряемых защитами величин.

Таким образом, разработанная методика расчета токов короткого замыкания дает возможность определить:

1. Значение токов, напряжений и сопротивлений для любого режима работы и для всех присоединений системы 94 кВ.
2. Определить характер изменения электрических величин.



**Рисунок 2 – Входное сопротивление, измеряемое защитой ФКС при включенных ПТП1 – ПТП4**

3. Исследовать аварийные и вынужденные режимы работы системы тягового электроснабжения 94 кВ.
4. Определить места установки защит.
5. Сформулировать требования, предъявляемые к защитам системы 94 кВ.
6. Рассчитать входные сопротивления, измеряемые защитами.
7. Рассчитать уставки защит.

## Литература

1. Инструктивно-методические указания. -М.: Трансэлектропроект, 1991. - 40 с.
2. Фигурнов Е.П. Релейная защита: Учебник для вузов ж/д трансп. - М.: Желдориздат, 2002. - 720 с.
3. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения / Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги». - М.: Трансиздат, 2005. -216 с.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ЛОКОМОТИВОВ

Перед российскими производственными субъектами, интегрированными в базовых отраслях промышленности, таких как транспорт, энергетика, машиностроение, нефтегазовая и горнодобывающая сферы, стоит задача наращивания объемов производства, улучшения качества предоставляемых услуг, повышения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках. С другой стороны, основными проблемами в решении данных задач являются моральный и физический износ оборудования, высокие расходы на их содержание, устаревшая система управления производством, недостаток квалифицированных кадров.

Сотни локомотивных депо России представляют собой не только сложную структуру в плане управления, но и концентрацию особо ответственного оборудования, имеющего высокую мощность и стоимость. Учитывая сложные условия эксплуатации (значительные динамические воздействия, влияние внешних факторов, отсутствие доступа к узлам в момент движения и т.д.) и значительный износ парка подвижного состава, основой повышения надежности эксплуатации является применение передовых разработок в области технической диагностики и их совершенствование.

Для определения состояния подшипниковых узлов подвижного состава железных дорог применяются различные методы и аппаратные средства диагностики [1, 2], которые систематизированы на диаграмме рис. 1.

Более подробно остановимся на явлении акустической эмиссии и его применении для целей диагностирования.

Акустическую эмиссию (АЭ) определяют как излучение контролируемым объектом механических упругих волн, вызванное динамической локальной пере-

стройкой его внутренней структуры и взаимодействием составляющих.

Явление АЭ известно с 50-х годов XX столетия как «клик олова», возникающий при деформировании олова и слышимый ухом. Однако в течение многих десятилетий оно не находило практического применения. С 80-х годов прошлого столетия началось систематическое изучение акустической эмиссии в конструкционных материалах и узлах с подшипниками качения. К началу 90-х годов следует отнести первые разработки высокочувствительной аппаратуры для исследования явлений акустической эмиссии и начало применения методики для оценки технического состояния узлов трения [3].

В настоящее время общепризнанно мнение, что акустическая эмиссия – явление, сопровождающее практически все физические процессы в твердых телах и на их поверхности, а возможность ее регистрации при протекании большинства процессов определяется лишь чувствительностью используемой аппаратуры. АЭ возникает как в микропроцессах, обусловленных дви-



Рисунок 1 – Методы и средства диагностики подшипниковых узлов



жением мельчайших элементов структуры тел, как и в макропроявлениях, связанных с разрушением агрегатов и конструкций.

При взаимодействии элементов, составляющих подшипниковый узел, на пятнах контакта одновременно происходят сложные механические и физико-химические процессы. Одни из них совпадают с процессами деформирования и разрушения материалов, другие характерны для фрикционного взаимодействия. Поэтому источниками акустической эмиссии подшипникового узла являются в основном те же процессы, что и при работе трибологических пар и нагружении металлов [4].

Главная особенность АЭ при работе подшипниковых узлов – наличие дополнительных по сравнению с обычным деформированием и разрушением материалов источников, обусловленных быстропотекающими процессами при трибологическом взаимодействии. К ним относятся процессы упругого взаимодействия элементов микрорельефа поверхностей качения, химические процессы, связанные со смазкой, процессы взаимного трения, а также процессы образования и разрушения фрикционных связей [5].

Кроме того, работа подшипниковых узлов подвижного состава сопровождается постоянным изменением внешних факторов, а следовательно, резкими изменениями в работе мгновенных трибологических контактирующих пар и изменениями режимов смазки и трения проскальзывания.

Основными источниками формирования акустико-эмиссионного сигнала в ультразвуковом диапазоне частот являются [6]:

- упругие волны от нормальных и касательных напряжений в элементах;
- микроудары вследствие шероховатости поверхности тел качения и дорожек наружного и внутреннего колец, которые усиливаются ввиду деструкции смазки;
- гидродинамические эффекты в зоне контактных напряжений тел качения с дорожками качения, обусловленные изменениями режимов смазки;
- импульсные сигналы от образования трещин в материале тел качения;
- микроудары и удары от взаимодействия дефектных поверхностей;
- микроперемещения наружного кольца в корпусе или щите;

– износ посадочных мест подшипника, сопровождаемый проскальзыванием и перемещениями колец.

Внедренная с октября 2000 г. в локомотивном депо Санкт-Петербург-Пассажирский-Московский Октябрьской ж/д система диагностирования подшипниковых узлов на основе метода акустической эмиссии (ИРП-12, АРП-11-3АО «Меткатом» г. Санкт-Петербург) показала свою эффективность и высокую достоверность.

За период применения данной технологии проведена диагностика порядка 6,5 тыс. локомотивов, при этом обнаружено 770 дефектов подшипниковых узлов различного характера [7, 8].

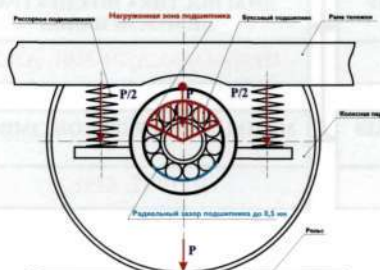
Диагностика приписного парка выполняется при плановых видах технических обслуживаний Т0-3, Т0-5, текущих ремонтов ТР-1, ТР-2, ТР-3 и средних ремонтах СР. При месячной программе ремонтов 110 электровозов ежедневно обследуются 3-4 локомотива.

Анализируя результаты применения акустико-эмиссионной диагностики в системе депоовского ремонта локомотивов можно заключить:

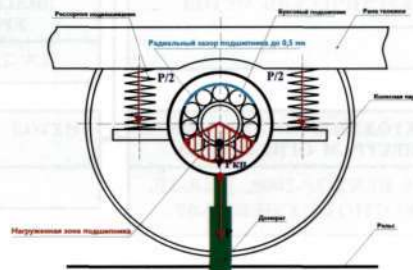
1. Достоверность акустико-эмиссионной диагностики составляет порядка 97%.
2. Акустико-эмиссионная технология позволяет сократить эксплуатационные отказы подшипниковых узлов на 70-75%.
3. Эффективное выявление «масляного голодания узла» и дефектов смазки позволяет определить ранний этап зарождения дефекта и тем самым «вернуть к жизни» подшипниковый узел.
4. Применение диагностических приборов ИРП-12, АРП-11 не требует специальной подготовки операторов.

Отмечая положительный опыт эксплуатации метода акустико-эмиссионной диагностики в системе депоовского ремонта локомотивов, необходимо отдельно остановиться на надежности эксплуатации и особенностях диагностирования наиболее ответственного оборудования – буксовых узлов колесных пар.

Диагностирование буксовых узлов локомотивов выполняется на смотровой канаве при их вывешивании на специализированных домкратных позициях, при этом происходит перераспределение нагруженной зоны подшипника и значительное снижение радиальной нагрузки подшипника относительно его эксплуатационного режима (рис. 2, 3).



**Рисунок 2 – Распределение нагрузки буксового подшипника в эксплуатационном режиме**



**Рисунок 3 – Распределение нагрузки буксового подшипника при проведении диагностики**



Указанные факторы могут оказать негативное влияние на эффективность и достоверность проведенного контроля, т.е. наличие зарождающегося дефекта в не нагруженной в процессе диагностирования зоне подшипника (а в эксплуатации именно она является рабочей) при допустимом радиальном зазоре до 0,5 мм может быть устойчиво не выявлено приборными средствами.

На рис. 4 представлен буксовый узел пассажирского электровоза ЧС 2Т, имеющий трещину наружного кольца именно в эксплуатационной зоне (верхняя часть), которая в момент диагностирования частично остается за рамками анализа.



**Рисунок 4 – Буксовый узел пассажирского электровоза ЧС 2Т, имеющий трещину наружного кольца в эксплуатационной зоне (верхняя часть узла)**

Еще одной важной особенностью эксплуатации подшипниковых узлов, существенно влияющей на надежность, является отсутствие четко определенного срока предельной эксплуатации подшипников (особенно буксовых узлов) и обезличенность их элементов (колец, сепаратора, элементов качения) при их переборке и ремонте, не позволяющая определить эксплуатационный срок подшипника в целом, т.е. при ремонте подшипников на заводах и в депо подшипник подлежит полной разборке, контролю геометрических параметров, подборке и сборке, в результате чего элементы, сформированные в один подшипник, хотя и соответствуют геометрическим параметрам и нормам допусков, но неидентичны по напряженному состоянию, в результате чего невозможно четко определить, сколько находится в эксплуатации данный подшипник и когда он должен быть заменен.

В данном вопросе возможны различные варианты решения. Например, применение системы индивидуального кодирования подшипников и ведение обобщенной базы их эксплуатации или принципиальный

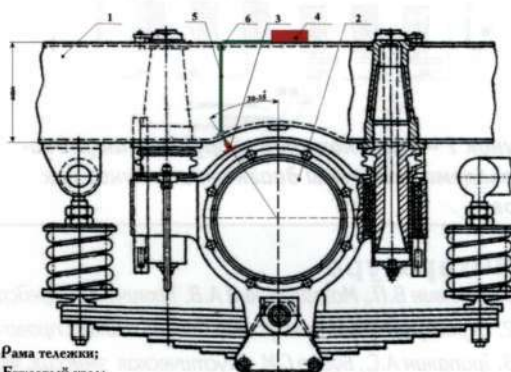
отказ от ремонта подшипников (что практикуется в станях Европы и США), а выполнять лишь их полную замену по сроку эксплуатации или техническому состоянию.

Для повышения эффективности и достоверности диагностирования буксовых узлов в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, разработана радиоуправляемая система диагностирования на базе анализатора ресурса подшипников АРП-11 (ЗАО «Меткатом», г. Санкт-Петербург).

Радиоуправляемая акустико-эмиссионная система диагностики предназначена для контроля состояния и прогнозирования остаточного ресурса подшипниковых узлов подвижного состава и характеризуется следующими преимуществами:

- позволяет проводить безразборный контроль состояния подшипниковых узлов в режиме, максимально приближенном к реальным условиям;
- не требует постановки подвижного состава на позицию ремонта;
- не требует вывешивания колесных пар;
- обеспечивает сбор данных о состоянии подшипниковых узлов при движении локомотива со скоростью  $V=30-40$  км/ч. Время мониторинга  $t=5-7$  с;
- повышает достоверность и эффективность контроля именно буксовых узлов;
- обеспечивает оперативный контроль технического состояния без выделенных ремонтных позиций;
- дает возможность перехода на выполнение периодических регламентных работ по результатам технической диагностики.

Схема установки датчиков радиоуправляемой системы диагностики на буксовый узел пассажирского электровоза ЧС 2Т приведена на рис. 5.



- 1-Рама тележки;
- 2-Буксовый узел;
- 3-Пьезоэлектрический датчик;
- 4-Модуль питания и передачи данных;
- 5-Кабель, защищенный металлолентой;
- 6-Фиксатор кабеля.

**Рисунок 5 – Схема установки датчика радиоуправляемой системы диагностики на буксовый узел пассажирского электровоза серии ЧС 2Т**



В состав радиоуправляемой акустико-эмиссионной системы диагностики буксовых узлов системы входят:

1. Пьезоэлектрические датчики с модулем питания и передачи данных мониторинга, предназначенные для получения первичной информации о состоянии контролируемых узлов и трансляции ее в аналитический блок посредством радиоканала. Датчики устанавливаются непосредственно на корпусе буксовых узлов (или крепежных болтах) при помощи специализированных креплений.

2. Коммутационный блок, выполняющий прием сигналов от датчиков, установленных на буксовых узлах, их систематизацию, усиление, фильтрацию и передачу в анализирующий блок для дальнейшей обработки.

3. Анализирующий блок, предназначенный для обработки и анализа данных мониторинга, постановки диагноза состояния и определения остаточного ресурса подшипниковых узлов. Анализирующий блок управляет системой диагностики в целом.

4. Персональный компьютер (ноутбук), предназначенный для отображения диагностической информации о состоянии подшипниковых узлов, формирования базы данных диагностики и отчетно-статистической документации.

Структурная схема радиоуправляемой системы диагностики буксовых узлов локомотивов и расположение оборудования приведены соответственно на рис. 6, 7.



Рисунок 6 – Структурная схема радиоуправляемой акустико-эмиссионной системы диагностики буксовых узлов

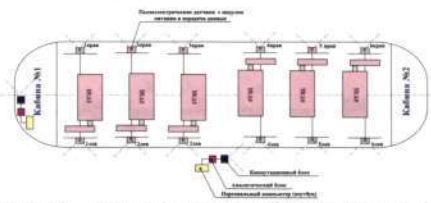


Рисунок 7 – Расположение оборудования радиоуправляемой системы диагностики буксовых узлов

По результатам диагностирования автоматически формируется отчет, в котором отображаются состояние узлов, величина остаточного ресурса, рекомендации по необходимому техническому обслуживанию. Форма отчета приведена на рис. 8. В дальнейшем, с интенсивным развитием информационных технологий, необходима интеграция технического отчета, сформированного по результатам диагностики, в единую информационную систему локомотивного хозяйства дороги.

Таким образом, диагностирование буксовых узлов должно основываться на комплексном подходе к ее реализации, включающем в себя следующие основные моменты:

- диагностирование буксовых узлов должно выполняться в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, путем применения радиоуправляемых или бортовых систем диагностирования;

- подшипник должен быть четко идентифицирован по сроку его эксплуатации;

- результаты диагностирования должны быть интегрированы в единую информационную систему локомотивного хозяйства дороги (АСУ-Т);

- результаты технической диагностики буксовых узлов должны быть использованы для проведения работ по буксовым узлам (осмотр, техническое обслуживание, лабораторный анализ смазки и т.д.), показавшим свою неустойчивую работу при диагностировании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ БУКОВЫХ УЗЛОВ					
Эксплуатационный сервис, номер ЧС 200-007, Дата 16.06.2007, Вид ремонта ТР-1					
УЗЛА	Ресурс, %	Заключение Рекомендации	УЗЛА	Ресурс, %	Заключение Рекомендации
1 правый	95 %	Запасный нет	1 левый	95 %	Запасный нет
2 правый	95 %	Запасный нет	2 левый	95 %	Запасный нет
3 правый	65 %	Запасный нет	3 левый	95 %	Запасный нет
4 правый	40 %	Запасный нет	4 левый	35 %	Запасный нет
5 правый	95 %	Запасный нет	5 левый	95 %	Запасный нет
6 правый	95 %	Запасный нет	6 левый	95 %	Запасный нет
7 правый	95 %	Запасный нет	7 левый	95 %	Запасный нет
8 правый	95 %	Запасный нет	8 левый	95 %	Запасный нет

Рисунок 8 – Отчет по результатам диагностирования буксовых узлов

## Литература

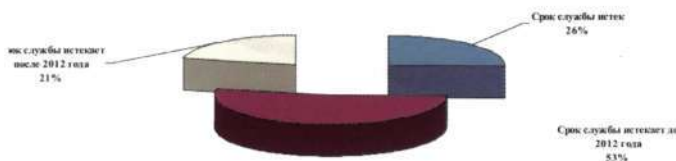
1. Калявин В.П., Мозгалецкий А.В. Технические средства диагностирования. -Л.: Судостроение, 1984. -208 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/В.В. Клюев и др. - М.: Машиностроение, 2003. - 656 с.
3. Трипалин А.С., Буйло СИ. Акустическая эмиссия. Физико-механические аспекты. -М.: Машиностроение, 1988. -271 с.
4. Щавелин В.М., Сарычев Г.А. Акустический контроль узлов трения энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1988. -218с.
5. Дробот Ю.Б., Лазарев А.М. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. -М.: Изд. Стандартов, 1987.
6. Williams K. Acoustic emission. - Bristol 1980. - 153 p.
7. Федоров Д.В. Акустико-эмиссионный метод диагностики технического состояния подшипниковых узлов локомотивов // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. - 2004. - № 4. - С. 58-63.
8. Федоров Д.В., Потапенко В.С. Анализ и тенденции развития систем акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов // Транспорт Урала. - 2006. - № 10. -С. 15-19.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ДВУХЪЯРУСНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе представлены результаты анализа технического состояния двухъярусных вагонов-платформ для перевозки автомобилей модели 13-479. Приведены исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкции вагона на основе вычислительного эксперимента и натурных испытаний. Разработаны и обоснованы конструктивные предложения, позволяющие продлевать срок службы вагонов данного типа и модернизировать их.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время парк двухъярусных платформ для перевозки автомобилей составляет порядка 5000 единиц, включая собственные вагоны. Практически все вагоны являются моделью 13-479. Платформы этой модели были спроектированы в 1968 г. для удовлетворения потребностей советского машиностроения и серийно выпускались до середины 90-х годов. На сегодня нормативный срок службы у 26% этих вагонов истек (рис. 1), и их эксплуатация запрещена действующими документами. Подвижной состав, выработавший календарный срок службы, подлежит списанию, однако анализ технического состояния данного типа подвижного состава показывает возможность дальнейшей его эксплуатации.



**Рисунок 1 – Возрастная структура парка двухъярусных платформ**

Учитывая, что двухъярусные платформы имеют невысокую грузоподъемность и малую осевую нагрузку при довольно высоком коэффициенте тары, а также то, что в связи с кризисом 90-х годов XX века и недостатками конструкции они в большинстве своем были отставлены от эксплуатации, было выдвинуто предположение о наличии остаточного ресурса и возможности провести модернизацию с продлением срока службы.

### 1. Теоретические исследования прочностных характеристик и остаточного ресурса двухъярусных платформ. Выбор направлений по модернизации с продлением срока службы

#### 1.1. Разработка программ и методик технического диагностирования двухъярусных платформ.

Важнейшим элементом расчетно-экспериментально-статистического метода управления индивидуальным ресурсом вагона в эксплуатации является получение достоверной информации о техническом состоянии вагона с помощью технических средств диагностирования.

Разработанный в данной работе алгоритм диагностирования технического состояния базовых частей вагонов включает в себя несколько этапов.

На первом этапе исследования производится анализ технической документации, изучение интенсивности эксплуатации обследуемых вагонов. Также на данном этапе происходит изучение недостатков существующей конструкции двухъярусных платформ с учетом требований к перевозке современных автомобилей. На втором этапе проводится органолептический контроль (наружный осмотр) рам и кузовов вагонов для выявления основных видов неисправностей и повреждений, а также обследование технического состояния ходовых частей, автосцепного и тормозного оборудования. В задачу этого контроля входит визуальное и с помощью измерительных инструментов выявление отклонений геометрических размеров элементов конструкций обследуемого вагона от проектных размеров, выявление трещин, деформаций, других дефектов, а также определение зон, требующих углубленного исследования (при необходимости) материала и сварных соединений конструкций. На третьем этапе проводится толщинометрия основных несущих элементов конструкции



двухъярусных платформ. На четвертом этапе, после анализа полученных результатов, проводятся работы, связанные с обоснованием и выбором направлений по модернизации двухъярусных платформ и продлением их срока службы. На пятом этапе для выявления наиболее нагруженных элементов и узлов конструкции проводится расчет прочности и устойчивости несущих элементов вагона с учетом эксплуатационного уменьшения толщин элементов вследствие коррозии и с учетом проведенной модернизации. На шестом этапе для подтверждения правильности проведенных мероприятий по продлению срока службы проводятся натурные испытания вагона и принимается окончательное решение о дальнейшей эксплуатации вагонов данного типа.

#### 1.2. Статистическая обработка результатов технического диагностирования.

В результате обследования технического состояния кузовов и рам двухъярусных платформ для перевозки легковых автомобилей были выявлены: случаи поверхностной коррозии верхней и нижней рам и промежуточных стоек (величина которой не достигала и 2%), частичное разоборудование вагонов, повреждения (обрыв) переездных площадок, излом колесных упоров. Обследование ходовых частей, автосцепного и тормозного оборудования показало наличие неисправностей, требующих периодической замены или ремонта этих частей в эксплуатации.

Анализ эксплуатации двухъярусных платформ и анализ рынка в сфере перевозки автомобилей показал, что грузоотправители заинтересованы в подвижном составе, прежде всего обеспечивающем максимальную сохранность перевозимых транспортных средств. Вагоны, спроектированные в середине прошлого столетия, в первую очередь не удовлетворяют этому требованию и предназначены для автомобилей «Жигули», «Волга», «Москвич». Современные вагоны для перевозки легковых автомобилей, проектирование и строительство которых начато с начала текущего десятилетия, полностью обеспечивают сохранность грузов, но вследствие малой грузоподъемности (что ведет к большому сроку окупаемости) не все компании-операторы и ОАО «РЖД» имеют финансовые возможности для приобретения новых вагонов.

#### 1.3. Обоснование и выбор конструктивных предложений по повышению остаточного ресурса двухъярусных платформ с помощью проведения модернизации с продлением срока службы.

По результатам диагностирования и анализа была разработана конструкторско-технологическая документация по модернизации с продлением срока службы двухъярусных платформ для перевозки легковых автомобилей (КРП).

КРП подлежат вагоны, у которых истек срок службы (либо отставленные от эксплуатации по другим причинам при наличии соответствующих документов) после проведения диагностики технического состояния. Все работы производятся лицензированной организацией на предприятиях, имеющих право осуществления подобного вида ремонта. При обнаружении во время диагностики у вагона неисправностей, указанных в инструкции по исключению вагонов из инвентаря, он подлежит списанию.

Модернизация платформ для перевозки автомобилей заключается в установке на платформу боковых стен, крыши, торцевых дверей, верхней и нижней переездных площадок. Для крепления автомобилей в модернизированной платформе используются колесные упоры, поставляемые с платформой для перевозки автомобилей, или упоры по чертежам автозавода. Одновременно модернизация будет и усилением конструкции вагона-платформы.

Помимо работ по модернизации, производится ремонт вагона в соответствии с требованиями на производство капитального ремонта с продлением срока службы. Общий вид вагона до и после проведения модернизации с продлением срока службы представлен на рис. 2.



**Рисунок 2 – Общий вид вагона до и после проведения КРП**

#### 1.4. Проведение вычислительного эксперимента по оценке прочности, надежности и долговечности кузова и рам модернизированного вагона-платформы для перевозки легковых автомобилей.

Для оценки влияния коррозионного износа элементов верхней и нижней рам и кузова вагона на прочность был выполнен расчет статической нагрузки вагона. Расчет производился в соответствии с «Нормами для расчета на прочность и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)», 1996 г.

В соответствии с рекомендациями «Норм» расчет производился методом конечных элементов, с исполь-

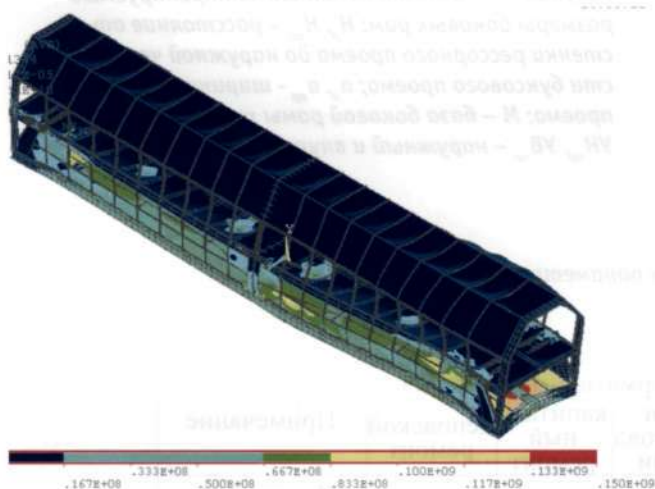




зованием конечно-элементного (КЭ) пакета ANSYS, версия 8.0. Для расчета использовалась оболочечно-балочная конечно-элементная модель. Для описания подкрепляющих и несущих элементов конструкции кузова были использованы пространственные балочные конечные элементы (BEAM 189). Для описания обшивки кузова были использованы элементы типа тонкая оболочка (SHELL 93). Конечно-элементная модель включает 2720 конечных элементов типа BEAM 189 и 6126 конечных элементов типа SHELL 93.

Для расчета был выбран образец, имеющий максимальный коррозионный износ верхней и нижней рам и кузова.

Расчет показал, что максимальные эквивалентные напряжения при первом расчетном режиме при ударе и рывке возникают в шкворневом узле и составляют 170 МПа для удара и 163 МПа для рывка, что не превышает допускаемые напряжения 295 МПа. Максимальные эквивалентные напряжения при первом расчетном режиме при сжатии (рис. 3) возникают в хребтовой балке в зоне заделки в шкворневую и составляют 180 МПа, при растяжении возникают в хребтовой балке в концевой части и составляют 130 МПа, что не превышает допускаемые напряжения 262,5 МПа.



**Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние вагона при первом расчетном режиме при сжатии**

Максимальные эквивалентные напряжения при третьем расчетном режиме при ударе и рывке возникают в шкворневой балке в зоне заделки в хребтовую и составляют 120 МПа для удара и 101 МПа для рывка, что не превышает допускаемые напряжения 150 МПа. Максимальные эквивалентные напряжения при третьем расчетном режиме при сжатии и растяжении возникают в шкворневом узле и составляют 93 МПа при сжатии и 85 МПа при растяжении, что не превышает допускаемые напряжения 150 МПа.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что прочность переоборудованной при КРП платформы модели 13-479 при всех расчетных режимах удовлетворяет требованиям «Норм».

## 2. Экспериментальные исследования прочности, надежности и долговечности двухъярусной платформы.

Для подтверждения правильности назначения нового срока службы после истечения нормативного были проведены натурные испытания модернизированной при КРП двухъярусной платформы № 59600247 модели 13 479 01 постройки 1976 г.

Испытания вагона проводились согласно разработанным и согласованным программам и методикам в следующем объеме:

- испытания на статическую прочность;
- испытания на прочность кузова при соударении;
- испытания по сбрасыванию с клиньев.

Для создания продольных усилий в раме вагона использовался стенд для нагружения рам вагонов продольными нагрузками.

На основании полученных результатов был сделан вывод, что конструкция модернизированного при КРП вагона удовлетворяет условиям прочности. Результаты проведенных испытаний, а также тормозной расчет были использованы для оценки долговечности конструкции модернизированной платформы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований прочности двухъярусных платформ был сделан вывод о наличии у них остаточного ресурса, и платформам для перевозки легковых автомобилей с истекшим сроком службы после проведения КРП может быть назначен новый срок службы, который составляет 15 лет.



## СПОСОБ РАСЧЕТА РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА БОКОВЫХ РАМАХ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

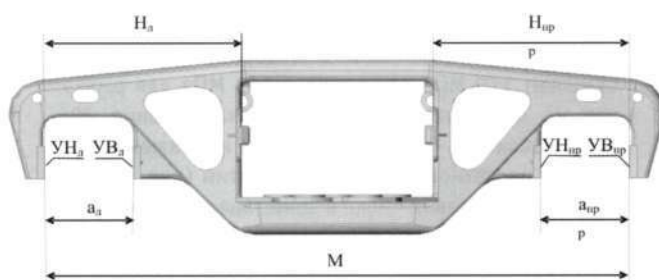
**Предлагаемый способ расчета относится к области ремонта железнодорожного подвижного состава, в частности к ремонту тележек грузовых вагонов модели 18-100, 18-578 и др.**

Действующей нормативно-технической документацией [1, 2] установлены требования на следующие взаимосвязанные параметры боковых рам тележек:

- ширина буксовых проемов левого  $a_l$  и правого  $a_{np}$ ;
- база боковой рамы  $M$ ;
- разность баз боковых рам тележки  $|M_2 - M_1|$ ;
- разница расстояний между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов с левой и правой сторон  $|H_l - H_{np}|$ .

Однако указанная нормативно-техническая документация не содержит указаний о порядке проведения ремонтных работ: в каком буксовом проеме (левом или правом) и на какую величину следует наплавить или сострогать внутренний или наружный упор, чтобы, обеспечив норматив ширины буксовых проемов, одновременно выполнялись требования по нормативам базы боковой рамы и, главное, разности расстояний между стенками рессорного проема и наружными челюстями буксового проема.

Нормативные значения контролируемых параметров представлены на рис. 1 и в табл. 1.



**Рисунок 1 – Взаимосвязанные контролируемые размеры боковых рам:  $H_l, H_{np}$  – расстояние от стенки рессорного проема до наружной челюсти буксового проема;  $a_l, a_{np}$  – ширина буксового проема;  $M$  – база боковой рамы тележки;  $UH_l, UB_l, UH_{np}, UB_{np}$  – наружный и внутренний упоры**

**Таблица 1 – Нормативные значения контролируемых параметров боковых рам тележек модели 18-100 и 18-578**

Наименование параметра	Нормативные значения			Примечание
	при изготовлении	капитальный ремонт	деповской ремонт	
Разница расстояний между стенками рессорного проема и наружными челюстями буксового проема, $ H_l - H_{np} $	3	3	3	Инструкция РД 32 ЦВ 052- 2002 г. стр. 19-20; 22-30; 62-63
Ширина буксового проема, $a_l (a_{np})$	$335^{+3}_{-1}$	334-338	334-342	
База боковой рамы, $M$ (разница баз боковых рам в тележке)	$2185^{+7}_{-5}$ (2)  $2185^{+1}_{-1}$ (1,9)	$2185^{+7}_{-5}$ (2)	2180-2200 (2)	
				По данным ФГУП «ПО «УВЗ»





Контролируемый размер ширины буксовых проемов левого  $a_n$  и правого  $a_{np}$  изменяется в процессе эксплуатации вследствие износов внутренних и наружных упоров, что, в свою очередь, оказывает влияние на изменение базы боковой рамы  $M$  и расстояния между стенкой рессорного проема боковой рамы и наружной челюстью буксового проема с левой и правой сторон  $H_n$  и  $H_{np}$  и соответственно их разности  $|H_n - H_{np}|$ .

При существующей технологии на вагоноремонтных предприятиях на позиции входного контроля геометрических параметров каркасов тележек производят измерение ширины буксовых проемов левого  $a_n$  и правого  $a_{np}$ , базы боковой рамы  $M$  и определяют разницу расстояний между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов  $|H_n - H_{np}|$ . В случае невыполнения нормативов контролируемых параметров производят ремонтные работы. При этом восстановление до нормативных значений одного размера в ряде случаев влияет на соблюдение нормативов взаимосвязанных с ним параметров, что вызывает дополнительные ремонтные работы. Так, для уменьшения базы боковой рамы  $M$  производят наплавку, например, плоскости наружного упора  $УН_n$  левого буксового проема  $a_n$ , уменьшая тем самым расстояние между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов с левой стороны  $H_n$ . Следовательно, разница расстояний между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов с левой и правой сторон  $|H_n - H_{np}|$  может составить более 3 мм, и для выполнения норматива на разницу расстояний между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов  $|H_n - H_{np}|$  потребуются наплавить плоскость наружного упора  $УН_{np}$  в правом буксовом проеме  $a_{np}$ .

Для оценки существующего положения осмотрено около 50 боковых рам, выбранных случайным образом и, как оказалось, изготовленных на различных предприятиях в разные годы. Установлено, что из них 24,3% имели наплавку в одном и 75,7% в двух буксовых проемах. Всего наплавлено 45,4% наружных и 54,6% внутренних челюстей. Проведены измерения по всем трем параметрам, которые показали, что из 48 боковых рам в 10,4% случаев необходимо восстановление размера ширины буксового проема, в 30% случаев не выполнялись требования по обеспечению установленного норматива на разницу  $|H_n - H_{np}|$ , составляющую в ряде случаев 6-7 мм. То есть в каждом конкретном случае возникает вопрос, какие ремонтные работы необходимо выполнять – увеличивать расстояние  $H_n$  или уменьшать  $H_{np}$  – и как при этом обеспечивается норматив на ширину буксовых проемов  $a_n$  и  $a_{np}$ , насколько изменится размер базы боковой рамы  $M$  и ее соответствие нормативу и базе второй

боковой рамы тележки. Как упоминалось выше, недостатками существующей нормативно-технической документации является отсутствие метода расчета ремонтных работ боковой рамы, обеспечивающего взаимосвязь и одновременное соблюдение взаимосвязанных нормативов.

Негативные последствия несоблюдения норматива на разность величин  $|H_n - H_{np}|$  – это перекос колесных пар, который в сочетании с другими неисправностями приводит к сходу вагонов, неравномерной нагрузке на буксовые узлы и другим нарушениям безопасности движения.

Техническая задача предлагаемого решения – создание способа, позволяющего рассчитать, какие и в каком объеме необходимо проводить ремонтные работы на боковых рамах для обеспечения установленных нормативов контролируемых параметров.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что после проведенных измерений перечисленных контролируемых параметров результаты вводят в персональный компьютер с программным обеспечением, учитывающим нормативные требования к контролируемым параметрам. После обработки результатов измерений рассчитывается оптимальный вид и объем ремонтных работ. На дисплее выводятся буквенные обозначения плоскостей, подлежащих ремонтным работам, –  $УН_n$ ,  $УН_{np}$ ,  $УВ_n$ ,  $УВ_{np}$  с указанием величины увеличения или уменьшения. Знак перед цифровым значением указывает вид ремонтных работ: при положительном знаке – наплавить, при отрицательном – сострогать, при нулевом значении ремонтные работы не производят.

Существенным признаком предлагаемого способа является обработка проведенных измерений контролируемых параметров при использовании программного обеспечения и расчет необходимых ремонтных работ с указанием, на какую величину какую плоскость следует уменьшить (сострогать) или увеличить (наплавить) для выполнения нормативных требований контролируемых параметров.

*Пример осуществления способа расчета ремонтных работ на боковых рамах тележек грузовых вагонов.*

На позиции входного контроля геометрических параметров каркасов тележек с использованием типовых средств измерения определяют размеры контролируемых параметров – ширину буксовых проемов с левой и правой сторон боковой рамы  $a_n$  и  $a_{np}$ , базу тележки  $M$  и расстояние между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов с левой и правой сторон боковой рамы  $H_n$  и  $H_{np}$ . Результаты измерений заносят в компьютер с установленным программным обеспечением, учитывающим нормативные требования по каждому контролируемому параметру. Программа





просчитывает наиболее оптимальный вариант объема ремонтных работ.

Если число положительное, производим наплавку, если отрицательное, производим стружку.

Если какой-либо из параметров  $УН_x$ ,  $УВ_x$ ,  $УН_y$ ,  $УВ_y$  равен нулю, работы не производятся.

Если  $УН_x$ ,  $УВ_x$ ,  $УН_y$ ,  $УВ_y$  – массивы чисел, то берем число, наиболее близкое к нулю, и в зависимости от знака производим соответствующую работу.

Наиболее близкое к нулю значение берется для того, чтобы произвести минимальный объем работ и в то же время контролируемые параметры находились в пределах нормы.

В табл. 2 приведены результаты измерений контролируемых параметров и оптимальный объем ремонтных работ по трем боковым рамам. Например, проведенные измерения боковой рамы № 11220 показали, что в данном случае разница расстояний между стенками рессорного проема боковой рамы и наружными челюстями буксовых проемов с левой и правой сторон составляет  $|H_n - H_{np}| = 5$  мм при нормативе не более 3 мм.

После обработки исходных данных на дисплее выводится объем ремонтных работ: плоскость левого наружного упора необходимо сострогать на 1 мм, плоскость правого наружного упора наплавить на 1 мм, на левой и правой плоскости внутренних упоров ремонтные работы не проводить. При этом новые размеры будут равны  $a_n = 335$  мм;  $a_{np} = 334$  мм;  $M = 2186$  мм;  $H_n = 759$  мм,  $H_{np} = 762$  мм и  $|H_n - H_{np}| = 3$  мм. В данном случае нормативы на все контролируемые параметры боковой рамы выполнены.

Предлагаемый способ расчета ремонтных работ на боковых рамах тележек грузовых вагонов позволяет сократить трудозатраты на выполнение технологической операции по ремонту боковых рам, обеспечит взаимосвязь контролируемых параметров с соблюдением установленных нормативов до подкатки тележек под вагон и исключит выпуск вагонов с несимметричной нагрузкой буксовых узлов, возможное относительное смещение боковых рам и перекося колесных пар. Кроме того, предлагаемый способ позволит перейти к более жестким нормативам при ремонте боковых рам, что повысит уровень надежности работы тележек.

**Таблица 2 – Расчет ремонтных работ на боковых рамах**

Результаты осмотра								Задание на ремонт			
Номер рамы	Завод-изготовитель	Год выпуска	Базовый размер «М»	Размер «Н»		Ширина буксового проема «а»		$УН_n$	$УВ_n$	$УН_{np}$	$УВ_{np}$
				левый, $H_n$	правый, $H_{np}$	левый, $a_n$	правый, $a_{np}$				
11220	33	1977	2186	758	763	334	335	-1	0	1	0
18103	14	1994	2194	773	778	338	341	0	0	2	0
62044	14	1982	2189	770	776	340	335	1	0	0	0

## Литература

1. Инструкция по ремонту тележек грузовых вагонов: Руководство по эксплуатации РД 32 ЦВ 052-2005 / Проектно-конструкторское бюро МПС России. - М. -71 с.
2. Тележка двухосная модель 18-578: Руководство по эксплуатации 578.00.000 РЭ/Проектно-конструкторское бюро ФГУП «ПОУВЗ». - Н.Тагил//Утверждено 22.04.04. - 56 с.

# ОЦЕНКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ БУКС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО ТЕПЛОВЫМ ПРИЗНАКАМ

**Приводятся основные этапы создания и принципы расчетно-экспериментальной методики определения пороговых кривых при использовании двух диагностических признаков теплового контроля букс подвижного состава в пути следования.**

На железных дорогах России, как и во многих странах с развитым железнодорожным движением, функционируют напольные средства теплового контроля (СТК) букс подвижного состава на ходу поезда. Уровень нагрева буксы – случайная величина, поэтому выбор критериев браковки по тепловому признаку и настройка контролирующей аппаратуры на выбранные критерии весьма сложная задача.

Проблема выбора параметров настройки СТК буксовых узлов подвижного состава зависит от принятых критериев браковки буксовых узлов по температуре подшипников. По существу, данная проблема решается путем разумного компромисса между стремлением не допустить пропуска аварийной буксы в составе поезда на гарантийный участок – с одной стороны, а с другой – избежать необоснованных задержек поездов с предельно допустимым в эксплуатации рабочим нагревом подшипников.

Температурные критерии оценки работоспособности подшипников должны своевременно корректироваться с учетом обновления вагонного парка и использования новых марок смазок.

Так, например, на железных дорогах Канады и Америки в 70-80-е годы были установлены следующие критерии для остановки поездов по показаниям детекторов греющихся букс (ДГБ): для буксовых узлов на подшипниках трения скольжения – превышение температуры корпуса буксы  $\Delta T_b$  над температурой наружного воздуха (относительная температура) более  $32^\circ\text{C}$ ; для буксовых узлов с роликовыми цилиндрическими подшипниками –  $\Delta T_b$  более  $52^\circ\text{C}$  [1]. По мере оснащения вагонного парка коническими подшипниками кассетного типа минимальные значения критерия  $\Delta T_b$  для «теплых подшипников» были повышены до  $75^\circ\text{C}$  – это притом, что рабочий нагрев исправных подшипников не превышал  $39^\circ\text{C}$ .

Для напольных ДГБ на Северо-Американских железных дорогах (включают 6 дорог США и Канады, парк грузовых вагонов – 1 400 000, парк дизель-электрических локомотивов – более 20 000) установлены три категории критериев нагрева букс [2].

1. Автоматический сигнал тревоги, передаваемый автоматически напольной установкой:

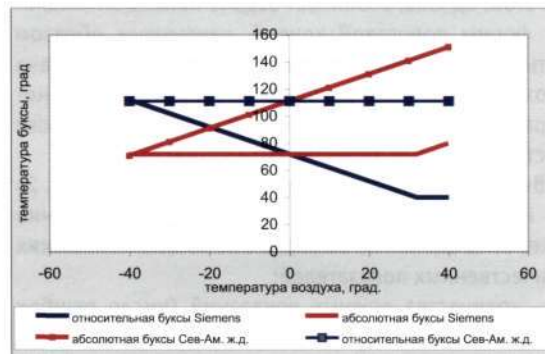
абсолютная тревога  $\Delta T_b = 111^\circ\text{C}$ . Дифференциальная тревога  $= 58^\circ\text{C}$  (представляет собой разность между температурами нагрева букс на одной оси).

2. Тревога, передаваемая в диспетчерский центр: абсолютная тревога  $\Delta T_b = 97^\circ\text{C}$ . Дифференциальная тревога  $= 43^\circ\text{C}$ .

3. Сигнал «Теплый подшипник», передаваемый в диспетчерский центр:

абсолютная тревога  $\Delta T_b = 75^\circ\text{C}$ . Дифференциальная тревога  $= 43^\circ\text{C}$ .

Указанные пороговые значения относительной температуры абсолютных тревог для трех категорий назначаются постоянными (абсолютная температура переменной) для всего рабочего диапазона температур наружного воздуха. В практике применения СТК имеются варианты назначения пороговых значений в виде постоянного значения абсолютной температуры корпуса в основном рабочем диапазоне температур наружного воздуха. Так, например, компания Siemens установила для пассажирского поезда, предназначенного для эксплуатации на российских железных дорогах, критерии нагрева букс [3] в абсолютных температурах нагрева буксы в зависимости от температуры наружного воздуха. Для сравнения графики пороговых значений абсолютной тревоги автоматического сигнала на Северо-Американских железных дорогах и для пассажирских поездов Siemens в относительных и абсолютных температурах буксы приведены на рис. 1.



**Рисунок 1 – Графическое сравнение пороговых значений теплового контроля, принятых для Северо-Американских ж/д и поезда Siemens**



Анализ приведенных зависимостей показывает разный подход к выбору пороговых значений и соответственно соотношению рисков неизбежных ошибок пропуска и ложной тревоги.

На железных дорогах РФ (СССР) критерии останковки поездов по результатам теплового контроля буксовых узлов средствами ПОНАБ, ДИСК и КТСМ назначаются в основном посредством корректировки или опытной адаптации применительно к разным условиям (время года, характер участка дороги и т.д.) таблиц, разработанных в Уральском отделении ВНИИЖТ в 1973 г. для аппаратуры ПОНАБ на основании теплотехнических расчетов и результатов обработки статистических данных измерений на пунктах технического обслуживания вагонов (ПТО).

Существуют теоретические методы нахождения разделяющей функции, которая определяет порог между классами разных состояний (исправное и неисправное) [4]. Использование данных методов предполагает идеализацию при построении теоретических распределений. Поскольку у авторов имеется большой объем статистических данных – измерений уровней нагрева букс с действующих СТК российских железных дорог, то предлагается рассмотреть разработанную методику оценки пороговых значений по опытным распределениям. Полученные пороговые значения могут служить для последующего сравнения с теоретическими результатами.

#### ОЦЕНКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

В настоящее время при оценке инфракрасных сигналов букс используются два признака распознавания: амплитуда сигналов букс (уровень  $Ur$ ) и отношение амплитуды сигнала каждой буксы вагона к среднему значению амплитуд сигналов остальных букс по соответствующей стороне вагона (отношение  $Otn$ ). Совместное использование обоих признаков позволяет снизить вероятность суммарной ошибки, которую допустит автоматическая система, осуществляющая обнаружение перегретых букс по данным признакам. При этом, однако, возникает задача поиска оптимальной формы пороговой кривой, наилучшим образом учитывающей преимущества обоих признаков. Задача осложняется тем, что распределения исправных и неисправных букс, как и область их пересечения, носят пространственный характер ( $Ur$ - $Otn$ -частота).

Выбор того или иного порогового значения (рис. 2) при использовании одного признака распознавания может быть оценен по выборке с помощью нескольких количественных показателей:

- количества ложных показаний (число ошибок первого рода);
- количества пропущенных букс (число ошибок второго рода);
- вероятности суммарной ошибки распознавания [5].

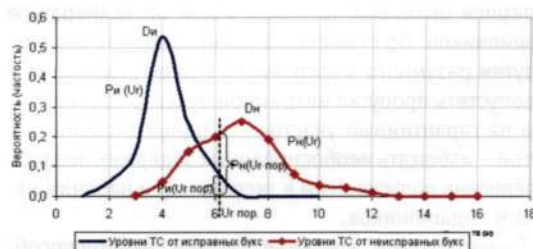
Кроме того, на наш взгляд, представляется логичным использование в качестве критерия выбора значения порога в виде коэффициента, представляющего соотношение количества (вероятности) исправных букс – объектов контроля к количеству неисправных объектов. По существу, это осознанно принятая относительная доля неисправных объектов к числу исправных объектов, характеризующая данное значение порога. Поясним сказанное на графике (рис. 2). Пороговое значение  $Ur_{пор}$  для одного признака распознавания  $Ur$  соответствует определенному соотношению частот распределений данного признака для исправных и неисправных букс:

$$K(Ur_{пор}) = \frac{P_H(Ur_{пор})}{P_I(Ur_{пор})}, \quad (1)$$

где  $P_H(Ur_{пор})$  – частота неисправных букс,

$P_I(Ur_{пор})$  – частота исправных букс.

Соотношение можно использовать в качестве критерия выбора значения порога по одному признаку  $Ur$ , но в этом плане оно уступает вероятности суммарной ошибки распознавания Рош.



**Рисунок 2 – Пример опытного распределения вероятности диагностического параметра – уровень теплового сигнала  $Ur$  для исправного  $Di$  и дефектного  $Dn$  состояний буксовых узлов, построенные по результатам измерений со Свердловской железной дороги**

Однако в случае многомерных распределений (в пространстве нескольких признаков) существует практически бесконечное количество вариаций пороговых кривых и соответствующих им Рош. Поэтому поиск оптимальной пороговой кривой на основе вышеприведенных критериев не представляется возможным.

#### ВЫБОР ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПО СООТНОШЕНИЮ К НА ПРИМЕРЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

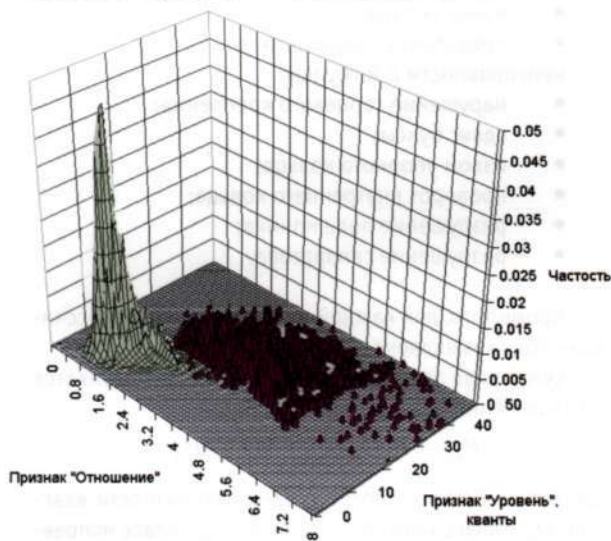
Рассмотрим полученные путем обработки сигналов от букс в эксплуатации распределения вероятности исправных и неисправных букс. Данные собирались на Свердловском отделении дороги от букс проходящих поездов с установок КТСМ-01 в течение 2006 г. через АСК ПС. Распределение вероятности двух диагностических параметров ( $Ur$ ,  $Otn$ ) для класса исправных состояло из выборки 6 500 000 букс



(апрель – декабрь 2006 г.), для класса неисправных букс – выборки 1200. На рис. 3 приведено пересечение опытных распределений двух классов состояний букс. При аппроксимации опытного распределения обоих классов состояний теоретическим двумерным задаче распознавания состояния сводится к определению разделяющей функции вида  $D(Ur, Otn)$  [4], которая определяет порог между классами разных состояний.

Однако исходя из неоднозначности опытного распределения диагностических параметров для разных состояний буксы можно предположить, что при аппроксимации теоретическим распределением мы получим существенную неадекватность отражения свойств опытного распределения.

Итак, рассмотрим зону пересечения распределений исправных и неисправных букс на плоскости в координатах  $Ur - Otn$ . Очевидно, что в данной постановке трехмерные графики распределений будут представлять массивы точек (рис. 4), а пороговые кривые будут проецироваться на плоскость графика в область пересечений точек классов состояний.

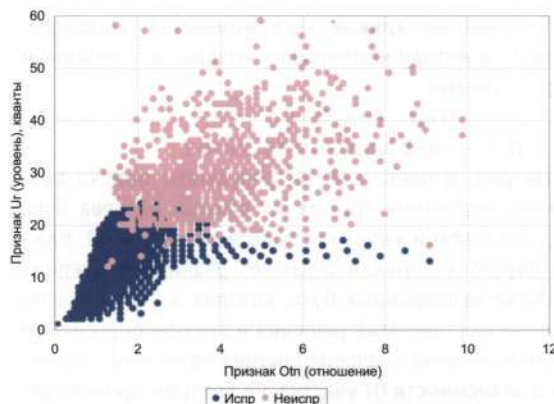


**Рисунок 3 – Полигоны опытных распределений двух диагностических параметров ( $Ur, Otn$ ) для классов исправных (синий) и неисправных (красный) букс (по данным за 2004-2006 гг. на Свердловской ж/д)**

Выражение (1) применительно к зоне пересечения двумерных распределений (по двум признакам  $Ur, Otn$ ) запишется в виде

$$K(Ur, Otn) = \frac{P_H(Ur, Otn)}{P_H(Ur, Otn)} = \frac{f_H(Ur, Otn)}{f_H(Ur, Otn)} \cdot \frac{N_H}{N_H}, \quad (2)$$

где  $P_H(Ur, Otn)$ ,  $P_H(Ur, Otn)$  – частота неисправных и исправных букс;



**Рисунок 4 – Опытные распределения двух диагностических параметров ( $Ur, Otn$ ) для классов исправных и неисправных букс в интерпретации на плоскости**

$f_H(Ur, Otn)$ ,  $f_H(Ur, Otn)$  – частота неисправных и исправных букс;

$N_H$ ,  $N_H$  – общее количество неисправных и исправных букс.

Вычисляя соотношение  $K$  по (2) для зоны пересечения исправных и неисправных букс, получим распределение  $K(Ur, Otn)$ . На рис. 5 путем цветовой индикации показано изменение  $K(Ur, Otn)$  по диапазонам для зоны пересечения распределений исправных и неисправных букс. Из рис. 5 видно, что в качестве пороговых кривых можно использовать тренды зон с постоянным значением или определенным диапазоном значений  $K$ . Пороговая кривая строится по точкам значений  $K$  из диапазона. Для вычисления  $K$  по массиву зоны пересечения, выделения диапазонов, построения и сглаживания пороговых кривых, а также графического отображения было написано специальное программное обеспечение в Delphi и Excel. Пороговая кривая строится по точкам значений  $K$  из диапазона. Размеры диапазонов  $K$  выбираются исходя из минимального количества точек  $N_{min}$  необходимого для получения аппроксимирующей кривой, достоверно отображающей расположение точек  $K(Ur, Otn)$  соответствующих диапазонов. Величина  $N_{min}$  определяется опытным путем, например, в нашем случае 40. Также необходимо для начала ограничить список форм пороговых кривых, рассмотрев характерные признаки пересечения распределений исправных и неисправных букс.

Число пороговых кривых определенных таким способом будет равно:

$$M \approx \frac{N_s}{N_{min}},$$

где  $N_s$  – количество точек в плоскости  $Ur-Otn$  с соотношением  $K = I \div K_{max}$ .

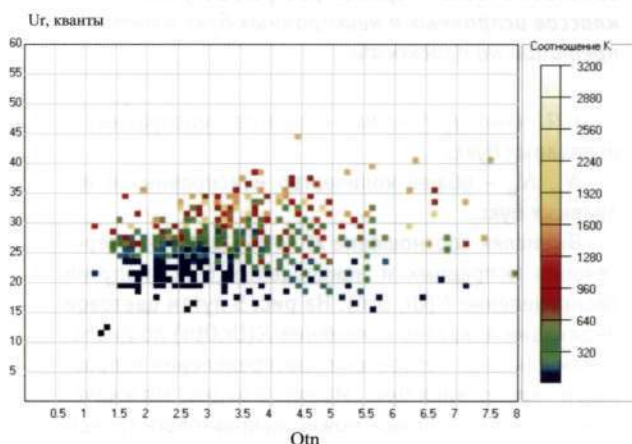


Полученные кривые «сглаживались» аппроксимацией по методу наименьших квадратов полиномом второй степени

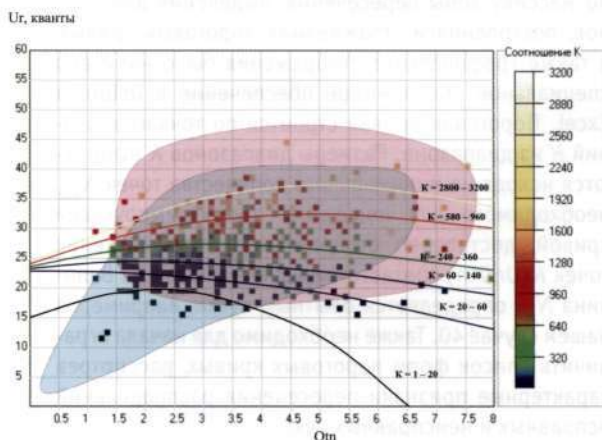
$$Y(x) = Ax^2 + Bx + C,$$

где  $A, B, C$  – коэффициенты полинома.

На рис. 6 представлены результаты поиска возможных пороговых кривых по данным нагрева букс на Свердловской железной дороге при  $N_{\min} = 40$ . Каждая пороговая кривая отражает различную степень пропуска неисправных букс, которая может служить основой для принятия решения в выборе порога. Тем самым возможна дифференциация пороговых значений в зависимости от участка, на котором происходит контроль нагрева букс, а также настройка на различные сезоны года.



**Рисунок 5 – Изменение соотношения частот распределений исправных и неисправных букс**



**Рисунок 6 – Возможные пороговые кривые, определенные и построенные для выбранных диапазонов значений соотношения  $K$**

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОРОГОВ

Для оценки полученных пороговых кривых (см. рис. 6) для каждой из них был выполнен расчет нескольких показателей, характеризующих каждый порог.

Каждая из категорий ошибки распознавания была поделена на две группы:

- ложные показания, разделенные на подтвержденные  $L_n$  (т.е. признаны исправными по результатам осмотра и классифицированы как рабочий нагрев), и неподтвержденные  $L_{np}$  (это часть опытного массива исправных букс, находящаяся выше данной пороговой кривой, и буксы этой части считаются в этом случае исправными, поскольку их никто не смотрел);

- пропущенные были разделены по степени опасности неисправности на 2 группы ( $P_1, P_2$  – количество букс первой и второй соответственно групп для оцениваемой пороговой кривой):

неисправности 1-й группы:

- примесь в смазке;
  - недостаток/излишек смазки;
  - обводнение смазки;
  - износ сепаратора;
  - приработка подшипника;
- неисправности 2-й группы:
- нарушение торцевого крепления;
  - сдвиг буксы;
  - излом упорного кольца;
  - проворот внутреннего кольца;
  - разрушение подшипника;
  - разрушение сепаратора.

Кроме того, для каждой пороговой кривой рассчитана Рош, «выявляемость» перегретых букс  $\eta$ .

Суммарная ошибка распознавания определяется из выражения:

$$P_{\text{ош.}} = P(D_H)P_L + P(D_H)P_{\Pi},$$

где  $P(D_H)$ ,  $P(D_H)$  – соответственно вероятности классов:  $D_H$  – класс неисправных букс;  $D_H$  – класс исправных букс;

$P_L$  – вероятность ложного показания, т.е. вероятность принятия исправной буксы за неисправную;

$P_{\Pi}$  – вероятность пропуска неисправной буксы.

Суммарная ошибка распознавания для конкретных выборок в нашем случае запишется

$$P_{\text{ош.}} = P(D_H)P_L + P(D_H)P_{\Pi} = \frac{N_H}{N_H + N_H} \times \frac{\sum L}{N_H} + \frac{N_H}{N_H + N_H} \times \frac{\sum P}{N_H} \\ = \frac{\sum L + \sum P}{N_H + N_H} = \frac{\sum L}{N_H} \quad (3)$$

где  $\sum L$  – сумма ложных подтвержденных  $L_n$  и неподтвержденных  $L_{np}$ ;

$\sum P$  – сумма пропущенных букс первой группы  $P_1$  и второй групп  $P_2$  для оцениваемой пороговой кривой.



Выражение (3) в итоговом виде получено применительно к рассматриваемым выборкам, т.е. в нашем случае  $N_{ii}$  значительно больше  $N_{ii}$  и  $\sum L$  тоже значительно больше  $\sum P$ , поэтому использование суммарной ошибки распознавания в качестве оценочного критерия порога для нашего случая теряет практический смысл.

Под «выявляемостью» [5] перегретых букс  $\eta$  принято считать отношение количества выявленных устройством контроля перегретых букс  $N_v$  к общему количеству таких букс  $N_{ii}$ :

$$\eta = \frac{N_v}{N_{ii}}$$

Результаты подсчета ложных показаний и пропусков неисправных букс представлены в табл. 1.

Рассмотренная методика основывается на предположении, что использованная выборка (напомним: исправных букс 6 500 000, неисправных – 1200) является репрезентативной. Основываясь на этом, с помощью методики можно для значений (диапазонов)  $K$  (соотношение неисправных и исправных букс) получить соответствующие пороговые кривые и численные показатели оценки каждой кривой. То есть, приняв какое-то значение диапазона  $K$  (для каждого значения  $K$  не строятся кривые – получится очень много кривых) можно построить кривые, аппроксимированные для примера полиномом второй степени, и выполнить оценку каждого порога с помощью численных критериев (см. табл. 1).

Предполагается применение положений методики для выбора пороговых кривых по сезонам, если использовать селективные опытные данные только с одного сезона, например зимы. Аналогично возможно использование для различных участков контроля (перегон, ПТО и т.д.), требующих дифференцированного выбора порогов, путем назначения того или иного допустимого значения  $K$ .

Таблица 1

K	A	B	C	Lп	Lн.п	P1	P2	ΣL	ΣP	Рош	η
1 – 20	-1.02	4.57	14.72	800	86708	6	7	87 508	13	0.0133	0.99
20 – 60	-0.12	-0.47	24.26	726	27334	62	38	28060	100	0.0043	0.91
60 – 140	-0.13	0.14	24.98	5 88	12950	159	87	13538	246	0.0021	0.78
240 – 360	-0.16	0.94	25.50	378	6652	278	150	7030	428	0.0011	0.63
580 – 960	-0.20	2.01	26.30	138	2622	466	257	27600	723	0.0005	0.37
2800 – 3200	-0.33	3.65	25.85	76	1684	563	317	1760	880	0.0004	0.23

**Примечание.** А, В, С – коэффициенты полинома, Lп – кол-во ложных показаний на исправные «подтвержденные» буксы; Lн.п – кол-во ложных показаний на исправные «неподтвержденные» буксы; P1 – кол-во пропущенных букс с неисправностями 1-го рода; P2 – кол-во пропущенных букс с неисправностями 2-го рода; ΣL – суммарно ложные: сумма Lп и Lн.п; ΣP – суммарно пропущенные, сумма P1 и P2; Рош – суммарная ошибка распознавания; η – выявляемость.

## Литература

1. Критерии для остановки поездов по показаниям датчиков зрения букс// Бюлл. техн.-эконом, инф. ЦНИИ-ТЭИ МПС. - 1971. - № 8. - Railway system control. - 1970. - № 8. - S. 22-27.
2. Датчики нагрева букс для скоростных линий Германских федеральных железных дорог //Eisenbahningenieurkalender. - 1992. - P. 347-358
3. Новая система контроля температуры букс// Phoenix MB Signal & Draht. - 2001. - № 5. - S. 21-23.
4. Трестман Е.Е., Лозинский СИ., Самодуров В.Н., Образцов В.Л. Автоматическое обнаружение неисправностей ходовых частей подвижного состава - задача статистической теории распознавания// Автоматизация контроля ходовых частей вагонов при движении поезда: Труды ВНИИЖТ. - М.: Транспорт. - 1973. - Вып. 494. - С. 4-9.
5. Самодуров В.И. Разработка и исследование потенциальных возможностей устройств автоматического бесконтактного обнаружения перегретых букс: Дис.... канд. техн. наук. - Свердловск, 1972. - 136 с.

73

Июль/Сентябрь



## К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ РАЗГРУЗОЧНЫХ МАШИН

В последнюю четверть прошлого века потребность практики обусловили появление и внедрение на складах сыпучих грузов промышленно-транспортных принципиально новых машин - вибрационных, предназначенных для механизации выгрузки из вагонов сыпучих и смерзшихся грузов (ВРМ). Методы расчета обычных вибромашин (свайных вибропогрузателей, вибросит, виброконвейеров) строятся на базе исследования динамики системы машина - нагрузка - двигатель.

В этом случае характеристики привода, конструктивное оформление машины (возбудителя колебаний, рабочего органа, упругих связей и т.д.) и прочностные качества машины могут быть подобраны в их оптимальном сочетании.

В нашем случае ВРМ образует с вагоном систему вагон - вибромашину, в которой кузов вагона следует рассматривать как рабочий орган. Необходимость учета наперед заданных динамических и прочностных свойств рабочего органа (вагона) и определяет специфические отличия методов расчета параметров вибрационных машин, взаимодействующих с вагонами в процессе выгрузки сыпучих грузов.

В нашей постановке интерес представляет задача о движении материальной точки по вибрирующей шероховатой поверхности, имитирующей элемент вагона, на котором покоится насыпной грунт. Расчетная схема должна учитывать конструкционные особенности вагона и рассматривать соотношения, справедливые для плоских частиц, движущихся по опорной плоскости без перекашивания.

Если для общего случая расчетную схему представить в виде системы подвижных координат, жестко связанных с вибрирующей плоскостью, а неподвижные прямоугольные координаты принять параллельно подвижными, как показано И.И. Блехманом и Г.Ю. Джанелидзе, уравнения относительного движения частицы в проекциях на подвижные оси можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \cos\beta \sin\omega t - mg \sin\alpha + F \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2 \sin\beta \sin\omega t - mg \cos\alpha + N \end{aligned} \right\} \cdot (1)$$

Здесь  $m$  - масса частицы;

$g$  - ускорение свободного падения;

$A$  и  $\omega$  - соответственно амплитуда и круговая частота колебаний опорной плоскости;

$x$  и  $y$  - соответственно вертикальные и горизонтальные перемещения опорной плоскости;

$\beta$  - угол вибрации, отсчитываемый от опорной плоскости;

$\alpha$  - угол наклона к горизонтали опорного элемента вагона;

$F$  - сила сухого трения, удерживающего частицу на плоскости;

$N$  - нормальная реакция.

По условиям технической сохранности вагона интерес представляет движение частицы вниз по наклонной плоскости без отрыва от нее. Для этого случая (при  $Y = 0$ ) сила трения определяется соотношением

$$F = \begin{cases} -fN & \text{при } \ddot{x} > 0 \\ +fN & \text{при } \ddot{x} < 0 \end{cases}$$

где  $f$  - коэффициент трения частицы по опорной плоскости.

При относительном покое частицы ( $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$ ) сила сухого трения из (1)

$$F^{(0)} = F^0(t) = mg \sin\alpha - mA\omega^2 \cos\beta \sin\omega t, \quad (2)$$

а нормальная реакция

$$N = N(t) = mg \cos\alpha - mA\omega^2 \sin\beta \sin\omega t. \quad (3)$$

Режим, соответствующий скольжению частицы вниз по плоскости, можно реализовать, когда

$$F^0(t) > fN(t).$$

Подставив в это неравенство выражения (2) и (3) для  $F(t)$  и  $N(t)$  и обозначив  $\arctg f = \rho$  условие безотрывного движения частицы по плоскости, получим

$$A\omega^2 \frac{\cos(\beta + \rho)}{\cos\rho} \sin\omega t - g \frac{\sin(\alpha - \rho)}{\cos\rho} < 0. \quad (4)$$

Ограничения, определяющие пределы действительности соотношений, вытекающих из неравенства (4), полностью зависят от значений комбинаций углов  $\beta + \rho$  и  $\alpha + \beta$ . Для случая безотрывного движения частицы возможны две комбинации:

$$\beta + \rho < \frac{\pi}{2}, \quad \alpha + \beta < \frac{\pi}{2} \quad \text{и} \quad \beta + \rho > \frac{\pi}{2}, \quad \alpha + \beta > \frac{\pi}{2}.$$

Поскольку при выборе параметров ВРМ должно соблюдаться условие  $A\omega^2 \leq g$ , требование обеспечения технически исправного состояния вагонов вынуждает рассматривать частоту  $\omega$  как основной нормируемый параметр. И для всех типов ВРМ вынужденные колебания вагонов достаточно полно определяются тремя параметрами:

$$A\omega^2 = \varphi(\beta, \alpha, \rho), \quad \omega = \varphi(\omega_2), \quad A = \varphi(\omega).$$

Отсюда очевидны и необходимые этапы расчета параметров.

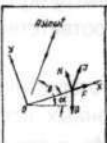
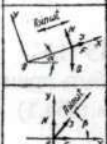
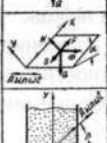
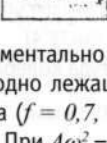
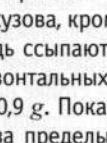
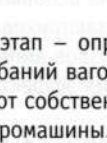


Первый этап – определение значений амплитуды ускорения колебаний для реализуемого угла вибрации  $\beta$ , исходя из данных о геометрии элементов пола вагона (угол наклона крышек люков  $\alpha$ ) и физико-механических свойств груза, определяемых углами трения  $\rho = \operatorname{tg} f$  и  $\rho_1 = \operatorname{tg} f_1$  (здесь  $f$  и  $f_1$  соответственно коэффициенты трения скольжения груза по стали и в покое).

В табл. 1 приведены формулы для расчета необходимых из условий разгрузки амплитуд ускорений вынужденных колебаний вагонов  $A\omega^2$ . Для некоторых неравенств условия действительности определены через угол

$$\theta = \beta + \alpha \text{ при } \theta < \frac{\pi}{2} \text{ и } \theta = \pi - \beta + \alpha \text{ при } \theta > \frac{\pi}{2}.$$

**Таблица 1 – Формулы для расчета амплитуд ускорений вынужденных колебаний вагонов**

Расчетные схемы	Вид формулы	Условия действительности
	$A\omega^2 < g \frac{ \sin(\alpha - \rho) \sin \theta }{ \cos(\theta - \alpha + \rho) }$	$\alpha < \theta < \frac{\pi}{2} + \alpha - \rho$ $\frac{\pi}{2} + \alpha + \rho < \theta < \pi + \alpha$
	$A\omega^2 > g \frac{ \sin(\alpha - \rho) \sin \theta }{ \cos(\theta - \alpha + \rho) }$	$\frac{\pi}{2} + \alpha - \rho < \theta < \pi + \alpha$ $\theta < \frac{\pi}{2} + \alpha + \rho$
	$A\omega^2 = g \frac{ \sin(\alpha - \rho) }{\sin \rho}$	$\rho = 0, \alpha = 0$
	$A\omega^2 > g \frac{\sin \rho}{ \cos(\rho + \rho) }$	$0 < \beta < \frac{\pi}{2}$
	$A\omega^2 = g \sqrt{\frac{\sin(\rho + \alpha) \sin(\rho - \alpha)}{\cos^2 \rho}}$	$\beta = 0$ $\alpha = 0$
	$A\omega^2 > g \frac{\sin \rho}{ \cos(\rho - \rho) }$	$0 < \beta < \frac{\pi}{2}$

Экспериментально доказано, что обрушение откосов свободно лежащего на крышках люков в полувагоне груза ( $f = 0,7$ ,  $\rho = 35^\circ$ ) наблюдается при  $A\omega^2 = (0,2-0,3) g$ . При  $A\omega^2 = (0,55-0,6) g$  груз стекает со всех элементов кузова, кроме шкворневых балок. В последнюю очередьсыпаются мелкие фракции груза (0–10 мм) с горизонтальных плоскостей шкворневых балок при  $A\omega^2 = 0,9 g$ . Показано, что увеличение амплитуды ускорения за пределы  $g$  не приводит к росту темпов разгрузки.

Второй этап – определение спектра собственных частот колебаний вагона  $\{\omega_0\}$  с целью выявления зон, свободных от собственных частот, и выбор частотного режима вибромашины.

Третий этап – определение значения необходимой из условий достижения эффекта разгрузки амплитуды вынужденных колебаний вагона  $A$ .

Необходимое ускорение в ряде случаев существенно зависит от угла вибрации  $\beta$ , как вытекает из неравенства (5). При воздействии на вагон накладной вибромашиной, штыревым виброрыхлителем и виброуплотнителями  $\beta$  был определен посредством замера амплитуд горизонтальных и вертикальных колебаний

стоек в узлах их стыковки с поперечными и шкворневыми балками рам вагонов. По результатам 200 замеров с вероятностью 0,95 можно утверждать, что при действии на полувагон накладной вибромашиной реализуемый угол вибрации лежит в интервале

$$63^\circ 56' \leq \beta \leq 67^\circ 29'.$$

Эти границы действительны для горизонтальных элементов пола полувагона (полок поперечных балок, закраин нижней обвязки и кузова).

Для крышек люков, наклоненных под углом  $26^\circ$ , имеем

$$37^\circ 56' \leq \beta \leq 41^\circ 29'.$$

Для крытого вагона  $25^\circ 10' \leq \beta \leq 26^\circ 40'$ .

Частота вынуждающей силы, а при синусоидальном изменении нагрузки и частота вынужденных колебаний должны лежать в зоне, свободной от собственных частот. Нежелательность резонансных явлений в упругой стержневой системе кузова вагона обусловлена соображениями его сохранности. В связи с этим определение собственных частот вагона как объекта приложения вибрационных нагрузок является необходимым этапом расчета характеристик вибромашин.

Расчет собственных частот может быть выполнен любым из известных способов, лишь бы он обеспечивал возможность получения достаточно представительного спектра частот. Собственные частоты четырехосных полувагонов изучены достаточно подробно. Можно сослаться на работы В.А. Лазаряна, В.Ф. Ушкалова, С.А. Сенаторова, из которых следует, что в спектре собственных частот свободными остаются интервалы 23 – 27 Гц при средней в интервале частоте 25,6 Гц.

Крытый четырехосный вагон имеет зоны спектра, свободные от собственных частот в интервале 22,9 – 25,7 Гц и средней в интервале частоте 24,3 Гц.

Отсюда как для крытых вагонов, так и для полувагонов предпочтительная частота составляет 24 – 25 Гц ( $\omega = 150,7 - 157 \text{ с}^{-1}$ ), что в принципе делает возможным создание сравнительно простых по конструкции ВРМ с безтрансмиссионными вибровозбудителями.

Для вибромашин, сообщающих кузову полувагона колебания через верхнюю обвязку (накладные ВРМ и штыревые рыхлители смерзшихся грузов) в качестве предпочтительной следует принять частоту вынуждающей силы  $n = 24 \text{ Гц}$  ( $\omega = 150,7 \text{ с}^{-1}$ ). Это, в частности, позволяет использовать в приводе асинхронные асинхронные вибростойкие двигатели АИРРВВ 200-Л4 с числом оборотов 1500 1/мин мощностью 22 кВт. Эти же двигатели пригодны и для штыревых рыхлителей.

Анализ приведенных в табл. 1 выражений, из которых для предпочтительной  $\omega$  можно определить необходимые  $A$ , показывает, что условия движения сыпучего груза для всех рассмотренных случаев, почти исчерпывающих возможные варианты виброн нагружений вагонов, описываются сравнительно простыми зависимостями, удобоприменимыми в инженерной практике. Для использования их необходимо знать углы наклона  $\alpha$  плоских элементов вагона, на которых находится сы-



пучий груз, фактически реализуемые углы вибрации  $\beta$  или  $\theta$  и легко определяемую характеристику – угол трения груза по материалу опорной плоскости  $\rho$ .

В каждом случае перечень нормируемых параметров для данного типа ВРМ зависит от специфики ее взаимодействия с вагоном. К общим для всех ВРМ параметрам, кроме частоты  $\omega$ , следует отнести вынуждающую силу, амплитуда которой  $P$  определяет уровень силовых воздействий на вагон, а, в конечном счете, и уровень напряжений, возникающих в элементах его конструкции.

При определении численного значения амплитуды силы расчетные схемы остаются теми же, что и при расчете собственных частот. В качестве дополнительных принимаются следующие условия:

– частота вынуждающей силы близка к средней в свободном интервале спектра;

– дискретные массы в установившемся режиме совершают супергармонические колебания, при этом плоские колебания в силу упругости кузова исключены;

– вынуждающая сила изменяется по закону  $P = P_0 \sin \omega t$  и может быть приложена в любой фиксированной точке кузова вагона;

– решения ищем в виде  $y_i = y_i \sin \omega t$ .

Из условий табл. 1 амплитуда вынуждающей силы, которая для каждого рассматриваемого варианта приложения вибронагрузки к вагону обеспечивает колебания с ускорением, достаточным для реализации заданного технологического эффекта, может быть вычислена, например, для ВРМ, накладываемой на верхнюю обвязку полувагона, и разгрузчиков смержшихся грузов

$$P_0 = \frac{P_{\text{св}} g}{y_{\text{св}} \omega^2} \frac{\sin(\alpha - \beta) \sin \theta}{\cos(\pi - \alpha + \beta)} \quad \text{или} \quad \frac{\pi}{2} + \alpha + \rho < \theta < \frac{\pi}{2} + \alpha - \rho$$

Здесь  $P_{\text{св}}$  – амплитуда единичной, произвольно выбранной вынуждающей силы;

$y_{\text{св}}$  – амплитуда вертикальных перемещений  $i$ -го узла (точечной массы) от действия  $P_{\text{св}}$ .

Поскольку вагон рассматривается как упругая стержневая система, то, следовательно, амплитуды колебаний узлов кузова неодинаковы и количество расчетных  $P_0$  для данной формы колебаний будет равно числу степеней свободы системы. Поэтому выражения для оценки  $P_0$  не дают возможности непосредственного расчета амплитуды силы, но они позволяют определить значения ее, при которых ускорение вынужденных колебаний для каждого отдельно взятого узла будет достаточно для реализации в его окрестностях требуемого виброэффекта.

При выборе амплитуды вынуждающей силы ВРМ необходимо учитывать два требования: уровень силового воздействия на вагоны по условиям их сохранности должен быть минимальным, но, с другой стороны, он должен быть достаточно большим, чтобы обеспечивать заданный технологический эффект. Компромиссным решением является выбор амплитуды силы по ее среднему из полученных расчетных значений. При этом, очевидно, в окрестностях некоторых узлов вагона движения груза наблюдаться не будет в силу малости ускорений. Для оценки возможности реализации виброэффекта предложен прием геометрической интерпретации вы-

нужденных колебаний, в основу которого положена гипотеза линейного изменения амплитуд и ускорений-вертикальных колебаний по длине горизонтальных элементов стрелочной системы рамы вагона. Суть приема вытекает из того, что если пространственную фигуру, построенную на стержнях рамы вагона как на плоском основании с ординатами, соответствующими в масштабе амплитудам ускорений узлов вагона, рассечь параллельной основанию плоскостью с ординатой, соответствующей в масштабе амплитуде ускорения, вычисленного по одному из выражений табл. 1, то проекция сечения на основание определит зоны ускорений, достаточных для реализации заданного виброэффекта. Анализ полученного результата дает возможность корректировки  $P_0$  и технологических премов виброобработки вагонов.

Существо предложенного приема выбора амплитуды  $P_0$  поясним на конкретном приеме исходя из следующих реальных данных:

– вибромашина обеспечивает выгрузку груза с коэффициентом трения  $f = 0,7$ , чему соответствует угол трения  $\rho = 35^\circ$  (плохо сыпучий груз);

– угол вибрации  $\beta$  определен статистическим методом по результатам эксплуатационных испытаний накладной вибромашины «УралЦНИИ» и для восьмиосного полувагона лежит в пределах

$$42^\circ 5' \leq \beta \leq 45^\circ 15'.$$

По среднему значению может быть принят

$$\beta = 43^\circ 40'. \text{ Тогда получим (см. табл. 1)}$$

$$\theta = \beta + \alpha = 43^\circ 40' + 23^\circ = 66^\circ 40'.$$

Здесь  $\alpha$  – угол наклона крышек люков.

Подстановкой этих данных в выражение для  $A\omega^2$  из табл. 1 можно показать, что расчетное значение необходимой амплитуды ускорения следует принимать близким  $g$ . Действительно,

$$A\omega^2 = g \frac{\sin(\alpha - \rho) \sin \theta}{\cos(\theta - \alpha + \rho)} = g \frac{\sin 12^\circ \sin 66^\circ 40'}{\cos 78^\circ 41'} = 0,97 g$$

и отсюда необходимая амплитуда колебаний

$$A = \frac{0,97 g}{\omega^2} = \frac{0,97 \cdot 9,8}{24649} = 0,38 \text{ мм.}$$

На рис. 1а ординаты пространственной фигуры соответствуют в масштабе амплитудам вынужденных колебаний узлов рамы полувагона при действии на него вынуждающей силой, приложенной к стойке над узлом 9 и равной по амплитуде  $P_0 = 87,31 \text{ кН}$ , секущая плоскость с ординатой  $y = 0,38 \text{ мм}$  параллельна основанию. На рис. 1а зоны достаточных ускорений заштрихованы. Видно, что в окрестностях большинства узлов амплитуды ускорений достаточны для обеспечения эффекта виброразгрузки.

При действии накладной вибромашины на соседнюю стойку ближе к середине кузова (рис. 1б, узел 10) зоны достаточных ускорений резко уменьшаются. Отсюда следует, что более выгодной является технология разгрузки, при которой накладная ВРМ устанавливается поочередно над каждой парой шкворневых стоек полувагона.

Тот же результат получен и для четырехосного полувагона. В любом случае установка накладной ВРМ посередине кузова не выгодна, поскольку замедляет сход



груза с крайних (надтележечных) крышек люков, что подтверждается опытом эксплуатации ВРМ.

Экспериментально установлено, что для выбранной частоты  $\eta = 24,5$  Гц при  $P_0 = 90$  кН реализуется максимальная производительность накладной ВРМ (в среднем 5,1 мин на обработку одного полувагона) и дальнейшее увеличение амплитуды силы на темпы разгрузки не влияет.

Доказано, что при  $P_0 = \text{const}$  как вертикально направленная, так и круговая сила накладной ВРМ позволяют реализовать одинаковые темпы разгрузки. Это обстоятельство дает возможность существенного упрощения конструкций некоторых типов ВРМ.

Накладные ВРМ свободно устанавливаются на верхней обвязке и не имеют обратной связи с вагоном. Экспериментально установлено, что синусоидальный характер вынужденных колебаний узлов рамы вагона можно обеспечить при минимальном весе ВРМ  $Q = 5000$  кг.

Кроме  $\omega$ ,  $P_0$ ,  $Q$  для накладной ВРМ ответственным параметром является жесткость опорных элементов корпуса машины  $C_1$ , которая должна быть настолько большой, чтобы их упругие деформации не вызвали опасных прогибов верхней обвязки полувагона. Практический интерес здесь представляет определение допустимого значения жесткости, выражение для которой

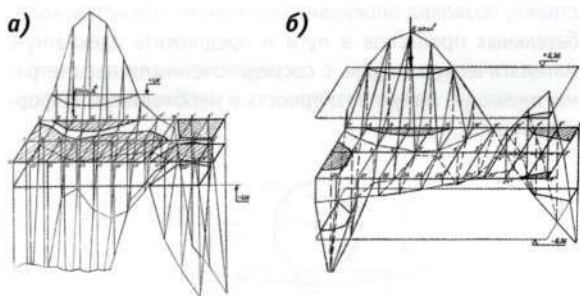


Рисунок 1

можно получить, если систему «вагон – вибромашина» рассматривать как двухмассовую и решение дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы, искать в виде  $Y_1 = A \sin \omega t$  и  $Y_2 = B \sin \omega t$ , где  $A$  и  $B$  соответственно амплитуды колебаний корпуса вибромашины и полувагона.

Задаваясь отношением  $\eta = \frac{B-A}{B}$ , выражение, определяющее жесткость корпуса накладной ВРМ, будем иметь в виде  $C_1 = \frac{M_{\text{ко}} \omega^2 - C_2}{\eta}$ ,

где  $M_{\text{ко}}$  – масса кузова полувагона с остатками груза;

$C_2$  – жесткость пружинных комплектов тележек.

Приняв, что в колебаниях участвует 2/3 массы кузова ( $M_{\text{ко}} = 660$  кг  $\cdot$  с  $\cdot$  м $^{-1}$ ) на пружинных комплектах одной тележки ЦНИИ-ХЗ- ( $C_2 = 700$  кг  $\cdot$  с  $\cdot$  м $^{-1}$ ) при  $\omega = 150,7$  с $^{-1}$  и задаваясь  $\eta = 0,4$  (экспериментальные данные), получим для корпуса накладной вибромашины и штыревого виброрыхлителя  $C_1 = 36000$  кгс/мм. Опыт проектирования накладных ВРМ и направляющих рам

виброрыхлителей показывает, что эта величина жесткости удобно реализуется в натурной конструкции.

Действие вибрационного рыхлителя подразделяется на две фазы. Первая – разрушение массива смерзшегося груза без контакта рыхлящих органов машины с полувагоном, вторая – работа на выгрузку в режиме накладной вибромашины, начинающаяся после полного заглубления рыхлителя в массив.

Экспериментально установлено, что рыхление большинства смерзшихся грузов (кроме слабосмерзшихся глинистых) обеспечивается при  $P_0 = 200$  кН. Но в то же время при воздействии на верхнюю обвязку (вторая фаза) по условиям сохранности вагонов не должна превышать  $P_0 = 90$  кН, причем изменение  $P_0$  должно обеспечиваться в момент касания рабочим органом рыхлителя поверхности верхней обвязки полувагона. Уменьшение  $P_0$  при  $\omega = \text{const}$  теоретически можно обеспечить уменьшением статического момента вибровозбудителя. Но практически это невыполнимо, поскольку связано с неоправданным усложнением конструкции ВРМ в целом. Однако если колебания вагона представить как результат действия вынуждающей нагрузки – фактора, зависящего помимо амплитуды силы  $P_0$  еще и от способа передачи вибронагрузок вагону, – то задачу мгновенного уменьшения нагрузки можно решить, введя понятие эквивалентности силового воздействия

$$Y(P_{\text{н}}) = Y(P_{\text{нр}}, C_{\text{н}}),$$

где  $Y(P_{\text{н}})$  – амплитуда вынужденных колебаний, рассматриваемая как функция вынуждающей силы  $P_{\text{нр}}$  накладной вибромашины, нормированной из условий технической сохранности вагонов;

$Y(P_{\text{нр}}, C_{\text{н}})$  – амплитуда колебаний, рассматриваемая как функция вынуждающей силы  $P_{\text{нр}}$  виброрыхлителя, необходимой из условий рыхления массива и жесткости  $C_{\text{н}}$  упругих элементов, передающих вибронагрузку от рыхлителя на верхнюю обвязку полувагона при работе во второй фазе.

Из условий эквивалентности выражение для определения жесткости упругих элементов виброрыхлителя, вступающих в контакт с вагоном в момент перехода от первой (рыхление) ко второй (разгрузка) фазы работы можно получить в виде

$$C = \frac{m \omega^2 (C_2 - M \omega^2)}{(1 - \frac{P_{\text{нр}}}{P_{\text{н}}})(C_2 - m \omega^2 - M \omega^2)}$$

где  $m$  – масса рабочего органа виброрыхлителя.

Приняв  $m = 5000$  кг, массу неразрушенного массива  $M = 30000$  кг,  $P_{\text{нр}} = 200$  кН и  $P_{\text{н}} = 90$  кН, можно определить суммарную жесткость упругих передающих элементов направляющей рамы виброрыхлителя, которая с учетом статического модуля упругости составит  $C_{\text{н}} = 10$  мН $\cdot$ м.

Экспериментально доказано, что применение упругих передающих элементов с  $C_{\text{н}} = 10$  мН $\cdot$ м $^{-1}$  позволяет уменьшить амплитуду вынужденных колебаний до уровня, приемлемого по условиям сохранности полувагонов.

Теоретические и экспериментальные исследования ВРМ показывают, что обозримой перспективе накладные вибромашины и виброрыхлители станут основным средством механизации выгрузки из полувагонов насыпных и смерзшихся грузов на складах с объемом выгрузки до 1 млн т в год.



## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ПОДБАЛЛАСТНОЙ ЗОНЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

**Овладение все возрастающими объемами перевозок на железных дорогах предусматривается ОАО «РЖД» с введением подвижного состава нового поколения (с осевыми нагрузками до 300 кН), с повышением скоростей движения поездов (грузовых до 160 км/ч, пассажирских до 200 км/ч и более), что существенно увеличивает динамическое воздействие на железнодорожный путь, грунтовую среду подбалластной зоны (ПБЗ).**

С возрастанием напряжений в ПБЗ, которая функционирует в режиме многократного циклического упругого силового воздействия, повышается ее динамическое состояние, которое можно характеризовать коэффициентами динамики: отношением напряжений при различных скоростях к статическим  $K_{\Delta} = \sigma_{\Delta} / \sigma_{ст}$ ; динамической активностью: произведением циклов нагружения на величину напряжений  $K_{\Delta\Delta} = N_i \cdot \sigma_{\Delta}$ .

При эксплуатируемых условиях циклических нагрузок в грунтовой среде ПБЗ формируется некоторая бытовая стабильность [1] (упругого состояния со своим модулем деформации  $E$ ). При увеличении нагрузки переход в состояние другой бытовой стабильности связан с процессами нарушения сложившейся структуры, сдвигов и остаточных деформаций. Поэтому возникает потребность в анализе изменения состояния ПБЗ в зависимости от высоких скоростей и нагрузок. Например, предлагается [2] динамическое уравнение баланса сил, отнесенных к единице объема грунта,

$$E_G \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + m_G \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + f_G \frac{\partial z}{\partial t} + U_G z = 0,$$

где  $m_G$  – масса грунта;

$f_G$  – коэффициент демпфирования;

$U_G$  – коэффициент упругости;

$z$  – вертикальные упругие деформации;

$\sqrt{U_G/m_G}$  – частота колебаний;

$\sqrt{E_G/m_G}$  – фазовая скорость;

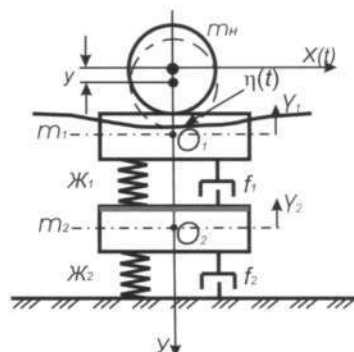
$\sqrt{U_G/E_G}$  – волновое число подшпального основания,

подобно  $K = \sqrt[4]{U/4EI}$  – относительной статической жесткости подрельсового основания  $U$ , нормированной по изгибной жесткости  $EI$  рельса (в уравнении прогиба балки на основании теории Фусса - Винклера).

Для предупреждения остаточных деформаций, обеспечения стабильности ПБЗ потребуется повышение ее упругих свойств (жесткости), повышения демпфирования грунтовой среды посредством увеличения модуля деформации  $E$ , для чего необходимо усиление ПБЗ и реконструктивные меры [1]. Оценка характера влияния упругости  $U$  (жесткости  $ж$ ) на деформативность (упругие и остаточные перемещения, осадки  $y$ ), изменчивость виброускорений, силового воздействия возможна с использованием математических моделей.

При рассмотрении колебательного процесса железнодорожного пути, который определяется динамическим воздействием подвижного состава, следует отметить различный его характер для рельсов и шпал (рельсошпальной решетки), имеющих высокие частоты собственных колебаний (при относительно малых массах) и для грунтовой среды ПБЗ (при больших массах). Поэтому имеет смысл рассматривать их не раздельно, а покрытия (слои) усиления присоединить к ПБЗ с большими массами, учитывая при этом их эквивалентные жесткости и диссипативные характеристики.

Анализ результатов математического моделирования системы рельс - шпалы - балластная призма - земляное полотно [3, рис. 2], обладающей вязко-упругими свойствами, позволил определить основные параметры колебательных процессов в пути и предложить адекватную математическую модель с сосредоточенными параметрами, имеющую малую размерность и необходимую информативность.



**Рисунок 1 – Расчетная схема динамической системы ПС - ВСП - ГС**

Тогда модель пути в системе подвижной состав – верхнее строение пути – грунтовая среда (ПС - ВСП - ГС) в целях оценки влияния грунтовой среды (со слоями усиления), имеющей низкие частоты колебаний, может быть представлена в виде упрощенной дискретной двухмассовой модели. Одна приведенная масса включает верхнее строение пути (ВСП) с балластной призмой, вторая – грунтовую среду со слоями уси-



ния. Каждая масса имеет свои отличные друг от друга жесткости и коэффициенты демпфирования.

Принятая дискретная (имитационная) двухмассовая модель (рис. 1) отражает колебания сосредоточенных масс ВСП, а также грунта ПБЗ со слоями усиления. Она позволяет рассматривать динамические процессы в пути при воздействии на него приведенной массы подвижного состава (в неподвижной системе координат) с учетом вертикальных упругих деформаций грунтовой среды. На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $m_n$  – масса подвижного состава;  $m_p, j_{p1}, f_1$  – приведенная масса, жесткость и коэффициент демпфирования ВСП;  $m_g, j_{g1}, f_2$  – приведенная масса, жесткость и коэффициент демпфирования грунта (со слоями усиления);  $O_1, O_2$  – соответствующие центры масс.

При расчете системы с распределенными параметрами имеет место только одна низкочастотная составляющая колебаний пути; приведенная масса верхнего строения пути по сравнению с приведенной массой грунта относительно мала. Поэтому в системе с сосредоточенными параметрами целесообразно ввести следующее условие: для исключения резонансных проявлений в высокочастотной области принять коэффициент демпфирования верхней массы больше критического (на 25%).

Расчетная схема (см. рис. 1) имеет две неизвестные координаты  $y_1, y_2$  (за начало отсчета принято недеформируемое состояние пути) и две степени свободы, поэтому необходима система из двух дифференциальных уравнений [4]. Таким образом, рассматривается материальная система, подчиненная идеальным голономным связям. Для составления системы дифференциальных уравнений вынужденных колебаний можно воспользоваться принципом Д'Аламбера для общего уравнения динамики материальной системы в обобщенных координатах: работа внешних, внутренних и инерционных сил, действующих на движущееся тело при вариации координат его траектории, должна равняться нулю:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 + f_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + j_1(y_1 - y_2) = m_n \ddot{\eta}(t) \\ m_2 \ddot{y}_2 + f_1(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + f_2 \dot{y}_2 + j_2(y_2 - y_1) + j_2 y_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Система может быть представлена в матричной форме:

$$[A]\ddot{y} + [B]\dot{y} + [C]y = m_n \ddot{\eta}(t) \quad (2)$$

Решение системы проводится методом комплексных амплитуд [3]. На вход системы поступает возмущение  $m_n \ddot{\eta}(t) = H e^{i\omega t}$ , где  $H = 1$  – комплексная амплитуда возмущающей силы.

Тогда реакция системы на одно возмущение будет  $y(t) = \bar{y} e^{i\omega t}$ ,

где  $\bar{y}$  – вектор комплексных амплитуд обобщенных координат системы.

Найдя производные  $\dot{y}(t) = i\omega \bar{y} e^{i\omega t}$ ,  $\ddot{y}(t) = -\omega^2 \bar{y} e^{i\omega t}$  и подставив их в систему в матричной форме, получим  $(-\omega^2 [A] + i\omega [B] + [C]) \bar{y} e^{i\omega t} = e^{i\omega t}$ ,

следовательно

$$\bar{y} = (-\omega^2 [A] + i\omega [B] + [C])^{-1} = \bar{W}_y(i\omega) \quad (3)$$

где  $\bar{W}_y(i\omega)$  – передаточная функция или амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) динамической системы [2].

Точное значение собственных частот важно лишь для определения границ исследуемого частотного диапазона. Процедуру вычисления собственных частот и форм системы можно проводить без учета ее демпфирования с допустимой погрешностью. Первичную информацию о частотном спектре системы можно получить на основе вычисления парциальных частот (входящих в состав общих колебаний). Эти частоты вычисляются в предположении, что все недиагональные элементы жесткостной матрицы равны нулю. В этом случае матричное уравнение собственных частот и форм распадается на независимые уравнения для определения каждой парциальной частоты [4]. Расчет собственных частот и форм колебаний выполнялся для значений  $j_2 = 20$  МН/м; 40; 80; 140 и 240 МН/м. При этом также выполнен расчет упругих статических деформаций: общей –  $y_{обш}$  массы  $m_1 - y_1$  и массы  $m_2 - y_2$  при различной нагрузке  $P = 140; 235$  и 300 кН. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Жесткость $j_2$ , МН/м массы $m_2$	Частота $\omega$ , Гц		Коэффициенты форм колебаний		Статические осадки $y$ , мм при $P$ , кН								
					$P = 140$			$P = 235$			$P = 300$		
	$\omega_1$	$\omega_2$	$\mu_{12}$	$\mu_{22}$	$y_{обш}$	$y_1$	$y_2$	$y_{обш}$	$y_1$	$y_2$	$y_{обш}$	$y_1$	$y_2$
20	21,0	283	0,994	-0,146	7,35	0,35	7,0	12,3	0,59	11,7	15,8	0,75	15,0
40	29,7	283	0,987	-0,147	3,85	0,35	3,5	6,46	0,59	5,87	8,25	0,75	7,5
80	42,0	283	0,975	-0,149	2,1	0,35	1,75	3,52	0,59	2,94	4,5	0,75	3,75
140	55,5	284	0,956	-0,152	1,35	0,35	1,0	2,27	0,59	1,68	2,89	0,75	2,14
240	72,5	284	0,925	-0,157	0,93	0,35	0,58	1,57	0,59	0,98	2,0	0,75	1,25



Анализ результатов расчета показывает, что при увеличении жесткости грунтовой среды  $j_2$  значение первой собственной частоты повышается, а ее амплитуда уменьшается; соотношения собственных форм с увеличением жесткости  $j_2$  практически не изменяются. Величины осадок с увеличением нагрузки возрастают и с увеличением жесткости грунтовой среды (при неизменном  $P$ ) уменьшаются.

Следует отметить, что наличие демпфирования незначительно влияет на полный спектр системы. Влияние на коэффициенты форм можно объяснить распределением энергии колебаний между обобщенными координатами каждой из частот.

Диапазон частот собственных колебаний системы соответствует результатам исследований ряда ученых [2, 5, 6], что свидетельствует об адекватности модели.

При помощи программного комплекса получены во временной области зависимости при воздействии одиночного импульса (масса подвижного состава) продолжительностью 0,1 с и интенсивностью  $P = 140$  кН; 235 и 300 кН: перемещений  $y_i = \psi(j_2, t)$  виброускорений  $a_i = \psi(j_2, t)$  при различных значениях жесткости  $j_2$ . На рис. 2 а, б при  $P = 300$  кН кривая 1 соответствует 20 МН/м; 2 – 40; 3 – 80; 4 – 140 и 5 – 240 МН/м.

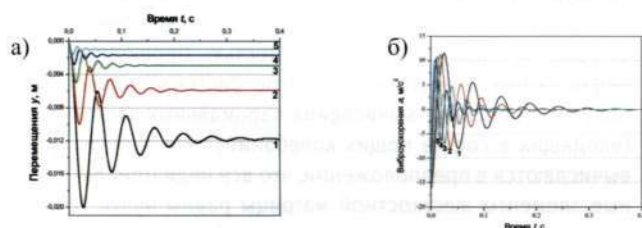


Рисунок 2 – Перемещения (а), виброускорения (б) грунтовой среды при  $j_2$ :

1 – 20 МН/м; 2 – 40; 3 – 80; 4 – 140; 5 – 240 МН/м

На рис. 3 приведена зависимость максимальных динамических упругих осадок (перемещений) грунтовой среды с различной жесткостью (упругостью) при интенсивности воздействия на систему  $P = 140$ ; 235 и 300 кН.

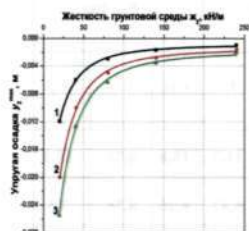


Рисунок 3 – Зависимость  $y_2^{\max} = f(j, P)$  при  $P$ : 1 – 140 кН; 2 – 235 кН; 3 – 300 кН.

Как видно из графиков (см. рис. 2 и 3), увеличение жесткости грунтовой среды существенно влияет на величину упругой осадки, уменьшая ее при сокращении периода затухания; существенно снижается период затухания ускорений при незначительном уменьшении значений их амплитуд. При увеличении возмущающего динамического воздействия возрастают величины амплитуд исследуемых параметров, что может привести к деформативности грунтовой среды ПБЗ (при недостаточном  $E$  грунта). Значения перемещений на графике согласуются с величинами упругих осадок по показателям прогибомеров на опытных участках. Значения исследуемых параметров сопоставимы с результатами, полученными другими исследователями [2, 5, 6], что также подтверждает адекватность принятой модели.

Весьма информативными являются амплитудно-частотные характеристики обобщенных координат, которые определены, согласно (3), в диапазоне частот 0–200 Гц с учетом низкочастотных резонансов (рис. 4). При сочетании граничных жесткостных и диссипативных характеристик грунтовой среды АЧХ рассмотрены для различных  $j_2$  от 20 до 240 МН/м при относительном коэффициенте демпфирования  $\beta_2 = 0,25$  кНс/м. Принятые значения диапазона  $j_2$  и  $\beta_2$  включают состояние грунтовой среды бытовой стабильности с усилением ПБЗ. Графики АЧХ системы на рис. 4 показывают, что с увеличением жесткости грунтовой среды резонансная амплитуда перемещений уменьшается и смещается в область более высоких частот.

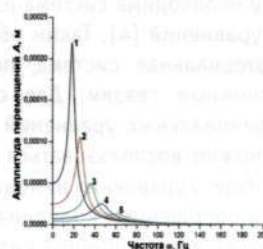


Рисунок 4 – АЧХ перемещений грунта при  $j_2$ :

1 – 20 МН/м; 2 – 40; 3 – 80; 4 – 140; 5 – 240 МН/м.

Для анализа исследуемых зависимостей целесообразно рассмотреть процесс воздействия (в неподвижной системе координат) массы подвижного состава, например, в виде одиночного импульса. При этом спектральная плотность  $i$ -ой обобщенной координаты будет [7]:

$$S_z(\omega) = W_{z,i}(\omega)^2 \cdot S_{\eta}(\omega), \quad (4)$$

где  $W_{z,i}(\omega)$  – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы;

$S_{\eta}(\omega)$  – спектральная плотность обобщенного эквивалентного возмущения (неровность пути).



Достоверность результатов зависит не только от правильного выбора структуры модели и ее параметров, но и от того, насколько правильно и корректно выбрано внешнее возмущение или его спектральная плотность для исследуемого частотного диапазона. Поэтому, учитывая, что неровности на стыках, а также дефекты рельсов (и колес подвижного состава) имеют различную форму, представляется целесообразным в качестве исходной принять неровность, дающую монотонно убывающий спектр. Такой спектр имеет импульс Гауссовской формы, математическое описание которого во временной области можно характеризовать логарифмическим декрементом, зависящим от амплитуды  $A$  [7]:

$$f(t) = A \exp\left(-4 \ln 2 \frac{t^2}{\tau_0^2}\right), \quad -\infty < t < +\infty. \quad (5)$$

При этом математическое отображение спектра неровности пути на стыке и на неровности рельса может иметь вид:

$$F(\omega, \tau_0) = A \tau_0 \left(\frac{\pi}{4 \ln 2}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-\omega^2 \tau_0^2}{16 \ln 2}\right). \quad (6)$$

Учитывая, что  $\tau_0 = \frac{l_0}{V}$ , где  $l_0$  – длина изолированной неровности, и импульс пропорционален скорости движения, математическое отображение спектра неровности пути примет вид

$$F(\omega, l_0) = l_0 \left(\frac{\pi}{4 \ln 2}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-\omega^2 l_0^2}{V^2 16 \ln 2}\right). \quad (7)$$

При таком возмущающем воздействии, пользуясь программным комплексом для условий состояния грунтовой среды с различными показателями жесткости (упругости) и параметров возмущения ( $l_0 = 0,2-0,4$  м,  $h = 0,001-0,003$  м), получены АВХ параметров перемещений и виброускорений. АВХ перемещений и виброускорений представлены на рис. 5 а,б для условий прохождения колесом изолированной неровности с параметрами  $l_0 = 0,3$  м  $h = 0,002$  м. На рис. 6 приведены зависимости затухания перемещений (а) и их максимальных значений (б) при различной жесткости грунтовой среды  $j_2$  и глубине изолированной неровности (при расположении ее на длине 0,3 м).

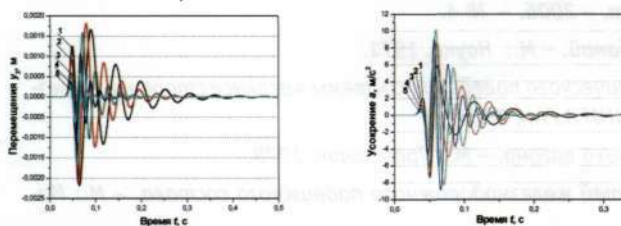


Рисунок 5 – Перемещения (а), виброускорения (б) грунтовой среды при  $j_2$ :

1 – 20 МН/м; 2 – 40; 3 – 80; 4 – 140; 5 – 240 МН/м.

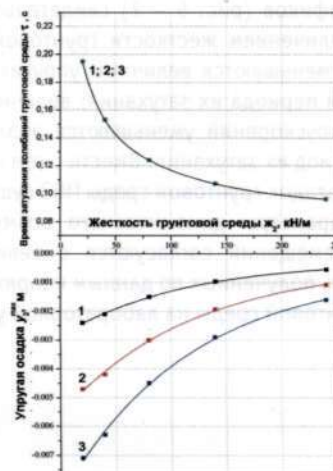


Рисунок 6 – Зависимости (а)  $\tau = f(j_2, h)$  и (б)  $y_2^{max} = f(j_2, h)$  при  $h$ :

1 – 0,001 м; 2 – 0,002 м; 3 – 0,003 м.

На рис. 7 приведены зависимости затухания перемещений (а) и их максимальных значений (б) при различной жесткости грунтовой среды  $j_2$  и длине изолированной неровности  $l_0 = 0,2-0,4$  (при  $h = 0,002$  м).

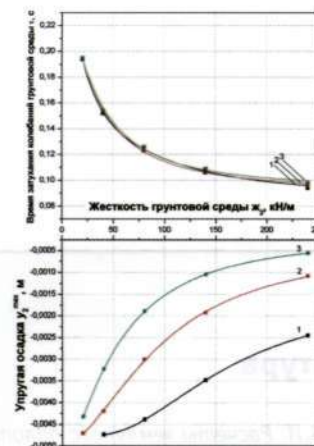


Рисунок 7 – Зависимости (а)  $\tau = f(j_2, l_0)$  и (б)  $y_2^{max} = f(j_2, l_0)$  при  $l_0$ :

1 – 0,2 м; 2 – 0,3 м; 3 – 0,4 м.



Анализ графиков (рис. 5 – 7) свидетельствует о том, что с увеличением жесткости грунтовой среды существенно уменьшаются величины упругих осадок с сокращением периода их затухания; величины (амплитуды) виброускорений уменьшаются аналогично, снижается период их затухания. Вместе с тем на величины упругих осадок грунтовой среды ПБЗ существенно влияют параметры динамического возмущения. Значения перемещений согласуются с величинами упругих осадок, полученных по данным напряженного состояния грунтовой среды на лабораторной установке.

Таким образом, моделируя колебательные процессы в системе ПС - ВСП - ГС, можно исследовать характер динамических процессов в железнодорожном пути, ПБЗ его земляного полотна и, прогнозируя изменчивость параметров состояния ГС, находить пути повышения стабильности железнодорожного пути, в частности, мерами по изменению упругости (жесткости) подбалластного основания земляного полотна [3].

## Литература

1. Грицык В.И. Расчеты земляного полотна железных дорог. - М.: УМК МПС, 1998.
2. Коган А.Я., Пейч Ю.Л. Напряженно-деформированное состояние грунтового подшпального основания от воздействия динамической нагрузки // Вестник ВНИИЖТ. - 2002. - № 3.
3. Грицык В.И., Суворова Т.В., Окост М.В. Математические модели железнодорожного пути с учетом усиления основной площадки земляного полотна // Транспорт Урала. - 2006. - № 4.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. - М.: Наука, 1971.
5. Колесников В.И., Суворова Т.В. Моделирование динамического поведения системы «верхнее строение железнодорожного пути - слоистая грунтовая среда». - М.: ВИНТИ РАН, 2003.
6. Вершинский СВ., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона. - М.: Транспорт, 1978.
7. Камаев В.А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава. - М.: Машиностроение, 1980.



## ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РАВНОУПРУГОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

**Своевременно проведенные ремонтные работы - залог эффективной и безопасной эксплуатации железнодорожного пути. От баланса «разрушающих» и «восстанавливающих» факторов зависит равновесие любой системы. Для путевого комплекса в качестве разрушающих воздействий следует рассматривать показатели условий эксплуатации пути (пропущенный тоннаж, вес поездов, осевые нагрузки, скорости, динамические характеристики нагружения пути подвижным составом, природно-климатические условия и явления и т.п.), а также естественные процессы старения и износа материалов; в качестве восстанавливающих воздействий - выполнение технического обслуживания и ремонта пути и его элементов, а также мероприятия по повышению технического уровня и мощности пути.**

С точки зрения теории управления работы назначаются наиболее оптимально и эффективно, когда управляющие воздействия формируются на основе комплексного анализа состояния объектов и реализуются в соответствии с параметрами этого состояния с использованием принципа обратной связи.

Другой способ выбора управляющих воздействий – нормативный, когда решения принимаются в соответствии с заранее разработанной программой, исходя из единой для многих объектов осредненной исходной информацией.

Оба способа используются в путевом хозяйстве: объемы работ и соответствующее им обеспечение ресурсами определяются по нормам периодичности, а реализация по срокам и объемам – по фактическому состоянию пути и наличию ресурсов.

Действующие нормы содержания, межремонтные сроки, нормы потребности рабочей силы и расхода материалов не учитывают всех существенно влияющих факторов. Значительная часть показателей состояния элементов железнодорожного пути вообще не нормируется, отсутствуют приборы для их измерения, или существующие приборы не обеспечивают требуемую точность.

Доля необходимых затрат в путевом хозяйстве в последние годы неуклонно растет, однако фактические отчисления в путевое хозяйство от доходов не соответствуют ни росту затрат, ни изменениям в экономических условиях функционирования путевого хозяйства. При существующем положении дел при формировании ресурсов нормы содержания пути не учитываются, а система оплаты труда не ориентирует на качество работ [1].

Чтобы путевое хозяйство начало функционировать с большей эффективностью, нужно переходить от системы нормативного назначения ремонта к системе назначения ремонта по фактическому состоянию пути. Пока что все уверения об учете фактического состояния сводятся к определению некоторого средневзвешенного состояния пути на километр. Назначать и выполнять ремонт нужно так, чтобы межремонтные сроки увеличивались, а для этого нужно прежде всего точно по месту находить причину расстройств и устранять в первую очередь причину, а с ней уйдут и негативные последствия.

Одно из важнейших свойств, отражающих состояние пути, – его равноупругость. Для восстановления равноупругости подрельсового основания предназначен подъемочный ремонт пути и планово-предупредительная выправка. Работы назначаются по результатам проверки путеизмерительным вагоном, которая определяет число и сочетание различных отступлений от нормативов содержания рельсовой колеи, характеризуя балльность участка. Основным критерием для назначения указанных работ служит предельное число отступлений на километр N (от 20 до 40), в зависимости от классности пути, дополнительными – доля негодных шпал и креплений [2].

Нормирование и планирование работ по числу отступлений обладает рядом недостатков. Во-первых, число отступлений на километр, загрязненность балласта, число негодных шпал и креплений лишь косвенно отражают жесткость пути. Во-вторых, имеется существенный разброс установленных скоростей, при которых нормируется одно и то же число



отступлений. При этом чем выше грузонапряженность участка (группа пути), тем интервал скоростей больше. В-третьих, число отступлений на километре включает в себя слишком большое количество разнообразных отхождений от норм (отступления по уровню, просадке, перекосу, рихтовке, и др.), а также всевозможных их сочетаний, что не позволяет дать качественную оценку проблем, вызвавших неравножесткость на участке. В-четвертых, число отступлений на километр не является реальной физической величиной, с помощью которой можно охарактеризовать напряжения или силы, возникающие в элементах верхнего строения пути.

Таким образом, желателен пересмотр основных критериев назначения подъемочного ремонта и плано-предупредительной выправки с переходом на характеристику равножесткости участка. За такую характеристику можно принять величины, имеющие реальный физический смысл: модуль упругости подрельсового основания  $U$ , МПа, его среднеквадратическое отклонение  $S_u$ , МПа и допустимый интервал изменения  $U$ , найденные экспериментальным путем [3].

Для нахождения оптимального интервала модуля упругости подрельсового основания, при котором путь будет находиться в равноупругом состоянии, а также значения его скользящего среднеквадратического отклонения как порогового критерия неравножесткости проводилось имитационное моделирование динамики рельсовых экипажей в программной среде «Универсальный Механизм» (УМ) с использованием готовой математической модели движения грузового вагона, разработанной на кафедре «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения. Достоверность математической модели движения грузового вагона доказана сравнением расчетных показателей, полученных на модели кафедрой «Вагоны» УрГУПС, и экспериментальных, полученных ФГУП «ПО «Уралвагонзавод» при динамических испытаниях полувагонов модели 12-175 и 12-132.

Для оценки влияния значений скорости, массы вагона и осевой нагрузки, а также плана исследуемых участков пути, жесткости и неравножесткости подрельсового основания на динамику взаимодействия пути и неподрессоренных частей экипажа используются методы теории планирования эксперимента.

В поставленном полном факторном эксперименте в качестве параметра оптимизации принято вертикальное ускорение на буксовых узлах  $a_{\text{в}}$ , возникающее при движении вагона с абсолютно ровными колесами по неравножесткому пути. Неровности колес исключены из расчета, для того чтобы выявить влияние на динамику взаимодействия только самого пути. Для оценки результатов эксперимента проведен дисперсионный анализ и анализ Парето, после чего получена полная математическая модель, исключающая малозначимые факторы, представленная полиномом первой степени:

$$\begin{aligned} a_{\text{в}} = & -1.79223 + 0.513499 \cdot x_1 + 0.0000113176 \cdot x_2 - \\ & - 0.00000290529 \cdot x_3 + 0.00402335 \cdot x_4 - 0.000227269 \cdot x_5 - \\ & - 0.00000235255 \cdot x_1 \cdot x_2 - 4.71263 \cdot 10^{-7} \cdot x_1 \cdot x_3 - 0.00107701 \cdot x_1 \cdot x_4 + \\ & + 7.12334 \cdot 10^{-7} \cdot x_1 \cdot x_5 + 1.329331 \cdot 10^{-10} \cdot x_2 \cdot x_3 + \\ & + 1.80887 \cdot 10^{-7} \cdot x_2 \cdot x_4 + 1.05624 \cdot 10^{-9} \cdot x_2 \cdot x_5 - \\ & - 1.02442 \cdot 10^{-8} \cdot x_3 \cdot x_4 + 7.04773 \cdot 10^{-10} \cdot x_3 \cdot x_5 + \\ & + 8.24795 \cdot 10^{-7} \cdot x_4 \cdot x_5 \end{aligned} \quad (1)$$

Регрессионная зависимость и карта Парето показали, что наиболее значительно на величину параметра оптимизации влияют факторы:  $x_1$  – скорость движения и  $x_4$  – неравножесткость пути, кроме того, существенно влияние сочетаний факторов  $x_1$  и  $x_2$  – скорости и массы вагона;  $x_2$  и  $x_3$  – массы вагона и жесткости пути;  $x_3$  и  $x_4$  – жесткости и неравножесткости пути.

Для оценки влияния значений выделенных факторов на вертикальное ускорение на буксовых узлах проводилось имитационное моделирование движения полувагона на тележках модели 18-100 на прямом участке пути в порожнем и груженом состоянии с неравножесткостью 5; 10; 15; 20 и 25 кН/мм (для пути на деревянных шпалах) и 3; 6; 9; 12 и 15 кН/мм (для пути на железобетонных шпалах) со скоростями движения 11; 17; 20 и 25 м/с (рис. 1). Для возможности задания неравножесткости переменной по длине пути в файл управления моделирующей программы авторами были внесены адаптационные изменения, не влияющие на правильность модели.

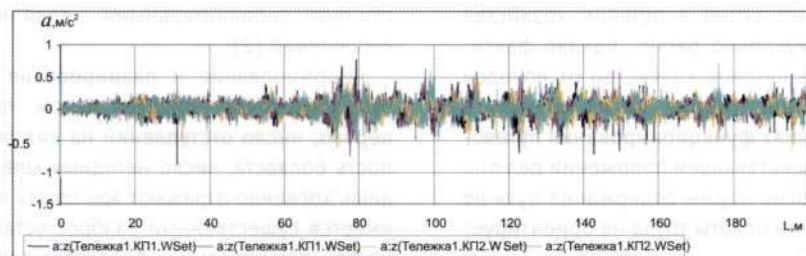


Рисунок 1 – Фрагмент графика изменения ускорений буксовых узлов по длине участка



По полученным в ходе численных экспериментов данным построены зависимости изменения вертикальных ускорений буксовых узлов от скорости движения, массы вагона, жесткости и неравножесткости подрельсового основания.

Для нахождения пороговых значений скользящего среднеквадратического отклонения модуля упругости подрельсового основания  $S_U$ , при котором необходимо назначать работы по восстановлению равноупругости пути, предложен интервал допустимых ускорений изменения упругого прогиба при движении по неравножесткому пути от 0,3 до 0,4 м/с<sup>2</sup>. При новых неизношенных колесах такой интервал будет соответствовать интервалу изменения ускорений буксовых узлов. Такие границы выбраны на основании анализа ускорений изменения упругого прогиба пути, полученных экспериментально на рассматриваемых участках, подлежащих ремонту по отступлениям II степени. Для железнодорожного пути 1, 2 классов принято граничное значение вертикального ускорения 0,3 м/с<sup>2</sup>, 3 класса – 0,35 м/с<sup>2</sup>, 4 класса – 0,4 м/с<sup>2</sup>. Для создания новых критериев назначения участков подъемочного ремонта и планово-предупредительной выправки найдены граничные значения неравножесткости, при которых ускорения изменения упругого прогиба пути перестают удовлетворять поставленному условию. На рис. 2 и 3 показаны графики зависимости ускорения изменения упругого прогиба пути при различных сочетаниях влияющих факторов.

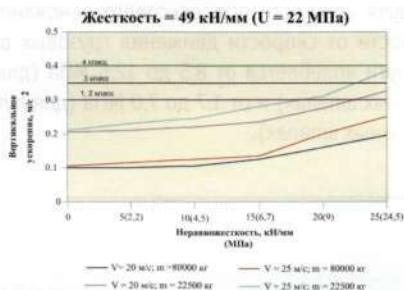


Рисунок 2 – Влияние скорости движения, массы вагона, жесткости и неравножесткости пути на вертикальное ускорение изменения упругого прогиба пути (путь на деревянных шпалах)

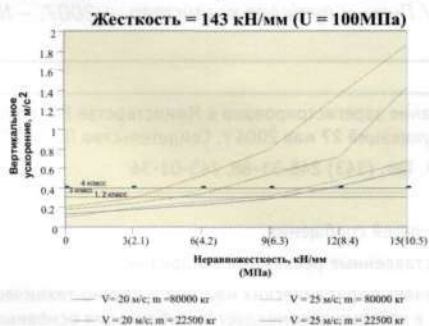


Рисунок 3 – Влияние скорости движения, массы вагона, жесткости и неравножесткости пути на вертикальное ускорение изменения упругого прогиба пути (путь на железобетонных шпалах)

По результатам анализа графиков разработаны усовершенствованные таблицы критериев назначения участков подъемочного ремонта и планово-предупредительной выправки (табл.1 и табл. 2), при использовании которых решаются вопросы назначения ремонтов, определяется потребность в работах по фактическому состоянию пути и впоследствии оценивается качество проведенных работ.

Таблица 1 – Критерии назначения подъемочного ремонта пути

Класс пути	Скорость грузовых поездов км/ч	Основные критерии			Дополнительные критерии, от и до %		
		$S_U$ , МПа		Кол-во отступлений 2 степени, шт/км, более	Негодных деревянных шпал	Шпал с выплесками	Негодных скреплений
		Деревянные шпалы	Ж.Б. шпалы				
1 и 2	61-90	8.5	1.7	20	6	2	10
2	40-60	11.6	2.6	25			
3	61-90	11.3	4.5	25	6	2	10
	40-60	12.5	6.4	30	10	4	15
4	40-60	12.5	7.0	40	15	5	20

Таблица 2 – Критерии назначения планово-предупредительной выправки пути

Класс пути	Скорость грузовых поездов км/ч	Основные критерии			Дополнительные критерии, от и до %		
		$S_U$ , МПа		Кол-во отступлений 2 степени, шт/км, более	Негодных деревянных шпал	Шпал с выплесками	Негодных скреплений
		Деревянные шпалы	Ж.Б. шпалы				
1 и 2	61-90	8.5	1.7	25	6-10	2-3	10-15
2	40-60	11.6	2.6	30			
3	61-90	11.3	4.5	35	10-15	4-7	15-20
	40-60	12.5	6.4				
4	40-60	12.5	7.0	40	15-25	5-10	20-30
5		по усмотрению начальника дистанции пути					

Основным параметром для выбора участков подъемочного ремонта и планово-предупредительной выправки предлагается критерий неравноупругости (неравножесткости) пути, за который предлагается принять скользящее среднеквадратическое отклонение модуля упругости  $S_U$  на участке, посчитанное по формуле 2 на каждом стометровом участке пути со сдвигом на 1 метр. Эта величина характеризует степень разброса значений модуля упругости подрельсового основания пути на участке.

$$S_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} \quad (2)$$

где  $n$  – количество равнооточных независимых измерений;  $U_i$  – текущее значение модуля упругости;  $\bar{U}$  – среднее значение модуля упругости на участке.

Количество отступлений в табл. 1 и 2 оставлено в качестве основных критериев для удобства дальнейшего внедрения новых критериев и системы контроля жесткости пути.

Другой действующий основной критерий выбора участков, требующих планово - предупредительной выправки и подъемочного ремонта, – загрязненность балласта – предлагается устранить из-за трудности его определения в условиях линейных подразделений (отсутствует удобная и доступная методика), оставив в качестве пока-



зателя состояния балластного хозяйства количество шпал с выплесками.

На основании предложенной методики участками, требующими восстановления равноупругости, будут считаться те, на которых скользящее средне-квадратическое значение модуля упругости подрельсового основания  $S_U$  превышает установленные нормативными таблицами величины. Такие участки наглядно можно определить по графику изменения скользящего среднеквадратического отклонения  $S_U$  (рис. 4), построенному по результатам определения упругих свойств пути на участке.



**Рисунок 4 – Фрагмент графика  $S_U$  на участке для оценки потребности в работах по восстановлению равноупругости пути**

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Для назначения ремонтов железнодорожного пути и оценки качества проведенных работ предложено использовать критерий неравноупругости. Для этого необходимо натурно определять упругий прогиб железнодорожного пути  $y$  и расчетом устанавливать модуль упругости подрельсового основания  $U$ , жесткость пути  $J$ . Степень неравноупругости пути определит скользящее среднеквадратическое отклонение модуля упругости  $S_U$ .

2. Определение упругого прогиба  $y$  предложено выполнять с использованием имеющихся на сети железных

дорог Российской Федерации вагонов-путеизмерителей и мобильных путеизмерительных тележек АПК «Профиль» [3]. В этом случае не требуется организационно-распорядительных мероприятий по включению в график мониторинга пути дополнительных единиц техники: данные с вагонов-путеизмерителей возможно получать с частотой, равной частоте проверок пути путеизмерителями, а проведение измерений тележками АПК «Профиль» может проходить «под прикрытием» имеющихся на дистанциях пути дефектоскопных тележек.

3. Установлено, что наиболее значительно на ускорение неподрессоренных частей экипажа при новых неизношенных колесах влияют скорость движения и неравножесткость пути. При оценке сочетаний параметров существенное влияние показали сочетания скорости и массы вагона; массы вагона и жесткости пути; жесткости и неравножесткости пути.

4. На основании проведенного анализа приняты граничные значения вертикальных ускорений, вызванных неравноупругостью пути. Для железнодорожного пути 1, 2 классов граничное значение вертикального ускорения  $0,3 \text{ м/с}^2$ , 3 класса –  $0,35 \text{ м/с}^2$ , 4 класса –  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

5. С учетом принятых граничных значений вертикальных ускорений для различных классов путей получены таблицы с критериями назначения подъемочных ремонтов и плано-предупредительных выправок пути. Основным критерий – скользящее среднеквадратическое отклонение модуля упругости подрельсового основания  $S_U$  – в зависимости от скорости движения грузовых вагонов и класса пути колеблется от 8,5 до 12,5 МПа (для пути на деревянных шпалах) и от 1,7 до 7,0 МПа (для пути на железобетонных шпалах).

## Литература

1. Гончаров Б.И. Планирование и организация производственных процессов путевого хозяйства //Ж/д транспорт. Сер. Путь и путевое хозяйство: ЭИ/ЦНИИТЭИ. - 2005. - Вып. 4. - С. 1-27.
2. Технические условия на работы по ремонту и плано-предупредительной выправке пути ЦПТ № 53 - М., 2003.
3. Гавриленко А.К. Учет жесткости железнодорожного пути //Путь и путевое хозяйство. - 2007. - № 4.



Научно-технический журнал «Транспорт Урала». Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г. Свидетельство ПИ № 77-18098.

Адрес редакции: Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, 245-01-34

E-mail: vsay@nis.usurt.ru, LNeverova@nis.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала не несет ответственности за представленные рекламные материалы.

С 1 января 2007 г. журнал включен ВАКом в перечень периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.



©ИД «Лазурь», 2007, фото на обложку, дизайн, верстка. г. Екатеринбург. Тел. (343) 213-26-19. www.idlazur.ru  
Отпечатано в типографии «Лазурь» (г. Реж). Заказ № 2159. Тираж 1000 экз. Подписано в печать 03.08.07

Открывается подписка на научнотехнический журнал « Транспорт Урала». Стоимость одного номера 180 рублей. Периодичность 4 номера в год.

Министерство связи Российской Федерации		Ф СП - 1																																																									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>АБОНЕМЕНТ на _____ <b>46463</b> (индекс издания)</p> <p><b>Транспорт Урала</b> <span style="float: right;">Количество комплектов</span></p> <p style="text-align: center;">На 2007 год по месяцам</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> <p>Куда <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 15px;"></span> (почтовый индекс) (адрес)</p> <p>Кому _____</p> <p style="text-align: center;">Линия отреза</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>П В</div> <div>место</div> <div>ли тер</div> </div> </div> <div style="text-align: right;"> <p>ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА <b>46463</b> (индекс издания)</p> <p><b>Транспорт Урала</b></p> <p>На _____</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Стои-мость</td> <td>подписки перед-рессовки</td> <td>руб. руб.</td> <td>коп. коп.</td> <td>Количество комплектов</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">На 2007 год по месяцам</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> </div> </div> </div>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													Стои-мость	подписки перед-рессовки	руб. руб.	коп. коп.	Количество комплектов						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																
Стои-мость	подписки перед-рессовки	руб. руб.	коп. коп.	Количество комплектов																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td colspan="5">почтовый индекс</td></tr> <tr><td colspan="5"> </td></tr> <tr><td colspan="5">код улицы</td></tr> <tr><td>дом</td><td>корпус</td><td>квартира</td><td colspan="2"> </td></tr> </table>							почтовый индекс										код улицы					дом	корпус	квартира			<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div>город</div> <div>село</div> <div>область</div> <div>район</div> <div>улица</div> <div>Фамилия И. О.</div> </div>																																
почтовый индекс																																																											
код улицы																																																											
дом	корпус	квартира																																																									





ГОУВПО Уральский государственный  
университет путей сообщения

Научно-исследовательская лаборатория  
«Компьютерные системы автоматики»

## Разработки

Станционные системы железнодорожной автоматики:

Релейно-процессорная централизация ЭЦ-МПК

Микропроцессорная централизация МПЦ-МПК

Система технической диагностики СТД-МПК

Диспетчерская централизация ДЦ-МПК

Комплексная автоматизированная система

диспетчерского управления метрополитеном (КАС-ДУ):

Система управления движением поездов

Система построения нормативного

и исполненного графиков движения

Система управления освещением и вентиляцией

Система управления эскалаторами

Система управления энергоснабжением

Система учета и анализа работы линий метрополитена

Автоматизированная система оперативного

диспетчерского управления грузоперевозками (АСОДУ ГП)



## Внедрения

- система ЭЦ-МПК сдана в постоянную эксплуатацию на 32 станциях магистрального и промышленного транспорта России и Казахстана с общим количеством стрелок более 1000;
- сдана в постоянную эксплуатацию система ДЦ-МПК на 5 диспетчерских кругах Куйбышевской ж.д.;
- разработаны проекты оборудования системой ЭЦ-МПК 40 станций с общим количеством более 1000 стрелок;
- в постоянную эксплуатацию сдана Комплексная автоматизированная система диспетчерского управления в Петербургском, Нижегородском, Самарском и Екатеринбургском метрополитенах;
- в Петербургском метрополитене введена в эксплуатацию система автоведения;
- введена в эксплуатацию автоматизированная система управления устройствами подводного автодорожного тоннеля;
- лабораторные установки систем ЭЦ-МПК, МПЦ-МПК и ДЦ-МПК функционируют в 6 ВУЗах и 1 колледже России.

## Адрес:

620107. г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, корп. Б

тел./факс. (343) 358 - 56 - 07

e-mail: std-mpk@yandex.ru