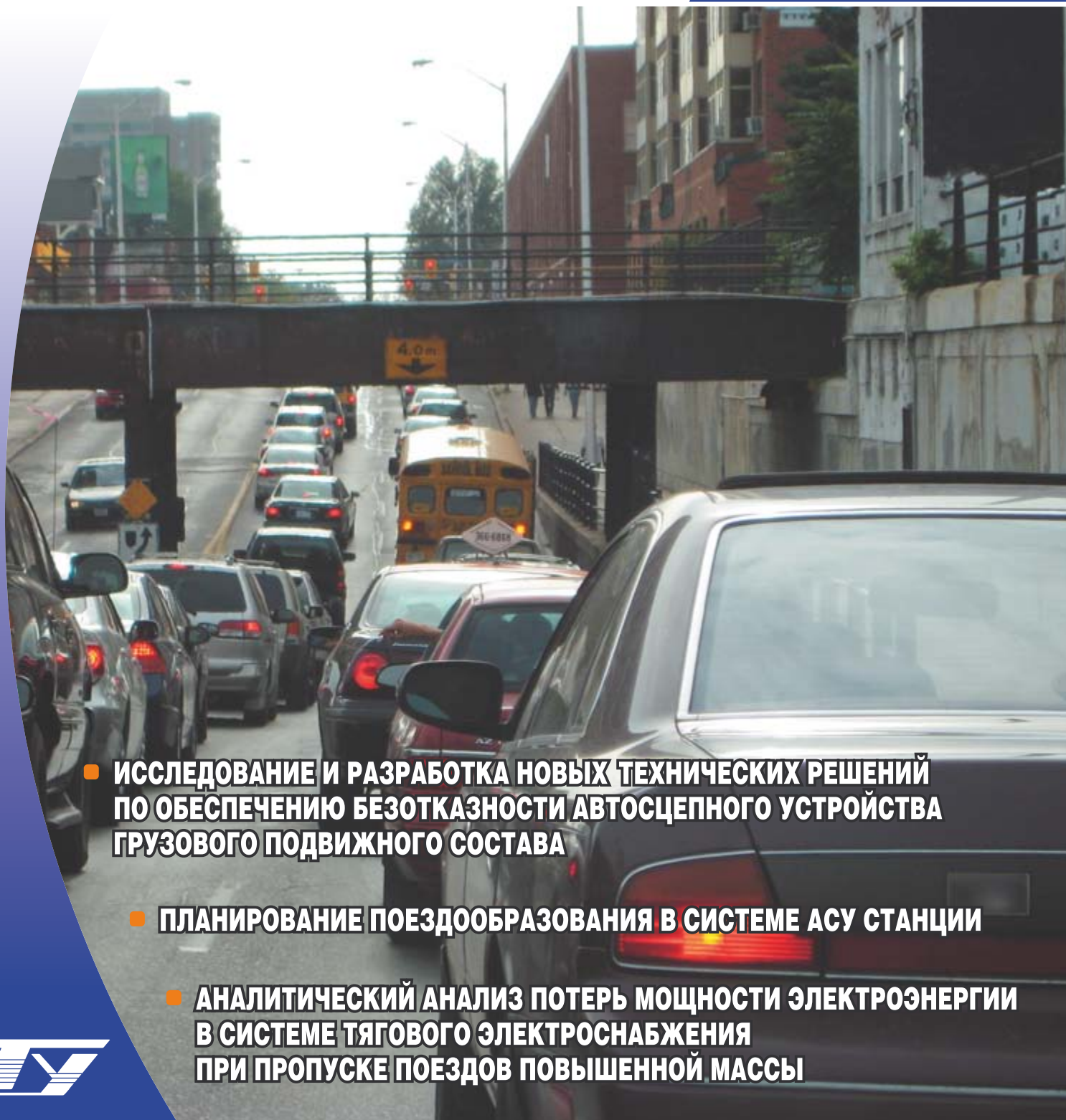




- **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОТКАЗНОСТИ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ГРУЗОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**
- **ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АСУ СТАНЦИИ**
- **АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОПУСКЕ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ**



ТЕМА НОМЕРА:

**ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ
СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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 — к.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 Пикалин Юрий Анатольевич — д.э.н. (Свердловская железная дорога)
- 23 Попов Валерий Евгеньевич — д.т.н., НП «Спектр» (Екатеринбург)
- 24 Рачек Светлана Витальевна — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 25 Резник Леонид Григорьевич — д.т.н., ТГНУ (Тюмень)
- 26 Самуйлов Валерий Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 27 Сергеев Борис Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 28 Скоробогатов Семен Макеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 29 Смольянинов Александр Васильевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 30 Ставров Адольф Павлович — д.т.н., ЮУрГУ (Челябинск)
- 31 Тимофеева Галина Адольфовна — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 32 Умняшкин Владимир Алексеевич — д.т.н., УДГУ (Ижевск)
- 33 Ялышев Юрий Иванович — д.ф.-м.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

- Мишарин А. С. / ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 2
- Ларин О. Н. / ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 10
- Петров А. В., Гашкова Л. В. / ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 16

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ

- Волынская А. В. / ФОРМИРОВАНИЕ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНОГО МОДЕМА ДЛЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ 22
- Богданова Е. С. / ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ 26
- Мухамедзянов М. С., Салифов И. И. / СМЕНА ПАРАДИГМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ 28

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

- Зыков Ю. В., Пряников С. А. / ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ГРУЗОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 31
- Орлова А. М. / ИЕРАРХИЧЕСКИ ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ 35
- Бузмакова Л. В. / ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ ДЕФЕКТОВ И ПРИЗНАКОВ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ИНВЕРТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 42

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТА. ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ

- Александров А. Э. / ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЕЗДОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АСУ СТАНЦИЙ 47
- Плахотич С. А., Чемоданова К. Е. / СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В ГОРОДСКОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ 52
- Казakov А. Л., Поспелов А. М. / ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА 57
- Казakov А. Л., Маслов А. М. / МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДЯЩЕГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ГРУЗОВУЮ СТАНЦИЮ С УЧЕТОМ ЕГО СУТОЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ 65
- Новиков П. А. / РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ. 72

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

- Барбачков А. С. / ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СИСТЕМОЙ ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ 94 КВ 76
- Сидоров О. А., Мусаткина Б. В., Дударева К. С. / ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВАМИ ТОКОСЪЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА 80
- Митрофанов А. Н., Добрынин Е. В., Табаков О. В. / АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОПУСКЕ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ 83
- Набойченко И. О. / СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ ССБ 87

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Тимофеева Г. А., Завалишин Д. С. / МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА 92
- Макарова И. В., Хабибуллин Р. Г. / СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ ФИРМЕННОВОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ 98
- Лямзин А. М. / РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН ПО УРОВНЮ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ 103
- Боровских А. М., Скоморохов В. А. / ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В АВТОМОБИЛЬНОМ ДИЗЕЛЕ 105
- Силуков Ю. Д. / ИНТЕНСИВНОСТЬ РАСХОДА ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ДОРОГАХ 108
- Якунин Н. Н., Калимуллин Р. Ф., Коваленко С. Ю. / ОЦЕНКА ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ К РЕЖИМАМ ПУСКА И ПРОГРЕВА ПО ПАРАМЕТРАМ СМАЗОЧНОГО ПРОЦЕССА В ПОДШИПНИКАХ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА 110

ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Так, в ходе реализации действующей программы остановлен спад пассажирооборота. Обеспечен рост транспортной подвижности населения. Совокупный грузооборот по всем видам транспорта в этот же период увеличился на 40%.

Значительно возросла роль автомобильного транспорта во внешней торговле: доля отечественных перевозчиков в освоении российской грузовой базы автоперевозок достигла 40% против 18% в 2002 г.

Завершено строительство части кольцевой автодороги вокруг Санкт-Петербурга от Приозерского шоссе до федеральной дороги М-11 «Нарва» с вантовым мостом через реку Неву.

Введены в эксплуатацию 12 внеклассных мостов (через р. Чулым в Томской области, через р. Волгу в Ярославле, через р. Томь в Кемерово, через р. Дон в Ростовской области, а также в Санкт-Петербурге, Иркутске и др.) и 9 мостов будет построено до 2009 г.

Закончено строительство 1-го пускового комплекса железнодорожной линии Беркаит — Томмот — Якутск, переустройство участка железнодорожной линии Известковая — Чегдомын, осуществлен комплекс мероприятий по модернизации железнодорожной инфраструктуры острова Сахалин.

Выполнена реконструкция взлетно-посадочных полос в аэропортах Сочи, Пулково, Геленджик, Минеральные Воды, Красноярск, Хабаровск, Самара, Курган и др.

Сегодня в развитии экономики России наступает этап, когда транспортная инфраструктура должна перейти от модернизации отрасли к ее развитию, к реализации инновационной модели экономического роста Российской Федерации.

Действующие Транспортная стратегия России на период до 2020 г. и Федеральная целевая программа (ФЦП) «Модернизация транспортной системы Российской Федерации на период 2002-2010 годы» сыграли очень важную роль, так как реализация этих документов дала возможность не допустить существенного ухудшения состояния транспортной системы страны, ее деградации и в целом обеспечить потребности экономики в этот период.

Достигнуты показатели, которые позволили превысить максимальный уровень грузооборота в портах времен Советского Союза.

Тем не менее достигнутые результаты модернизации транспортной системы не в полной мере отвечают существующим потребностям и перспективам развития Российской Федерации.

Региональная неравномерность развития транспортной инфраструктуры ограничивает развитие единого экономического пространства страны, сдерживает освоение ресурсов регионов и снижает в них транспортную доступность (рис. 1).



Рисунок 1 — Территории России с ограниченным обеспечением транспортной доступности

Наиболее существенны при этом различия между европейской частью Российской Федерации, с одной



стороны, и регионами Урала, Сибири и Дальнего Востока — с другой.

В условиях ограниченности инвестиций не могла быть полностью обеспечена необходимая координация развития отдельных видов транспорта, что привело к нерациональному их соотношению в транспортном балансе страны. Недостаточно развиты гражданская авиация и внутренний водный транспорт, что не позволяет в полной мере использовать их конкурентные преимущества для увеличения объемов грузовых и пассажирских перевозок.

Недостаточно используется и транзитный потенциал России (рис. 2).

Активный рост экономики стран Юго-Восточной Азии и рост товарооборота с Европой и США при отсутствии современных транспортных коридоров в России ведет к восстановлению странами-конкурентами так называемого Шелкового пути в обход территории Российской Федерации.

Диспропорции роста перевозок к объемам финансирования вызвали существенное ухудшение состояния автомобильных дорог и, как следствие, снижение скорости движения и продолжительные простои транспортных средств.

За последние 10 лет рост уровня автомобилизации в стране в 5 раз превысил прирост протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, как показано на рис. 3.

Около 50% от общего объема перевозок по автомобильным дорогам федерального значения осуществляется в условиях превышения нормативного уровня загрузки дорожной сети.

Только 8% от общей протяженности автомобильных дорог федерального значения имеют многополосную проезжую часть.

Свыше трети протяженности автомобильных дорог федерального значения и мостовых сооружений на них требуют увеличения прочностных характеристик для обеспечения проезда современных автотранспортных средств.

Конфигурация сети федеральных автомобильных дорог имеет ярко выраженную радиальную структуру, ориентированную на столицу Российской Федерации — город Москву, с недостаточным числом соединительных и хордовых дорог.

Автомобильные дороги федерального значения на значительном протяжении проходят по территории городов и других населенных пунктов, что приводит к снижению скорости движения транспортных потоков и росту числа дорожно-транспортных происшествий.

Особенно необходимо отметить высокую перегрузку дорожного движения в крупных городах — Москве, Санкт-Петербурге и других центрах субъектов Российской Федерации. По оценкам экспертов, потери Российской Федерации, обусловленные низкой про-



Рисунок 2 — Транспортные коридоры, разрабатываемые сопредельными государствами

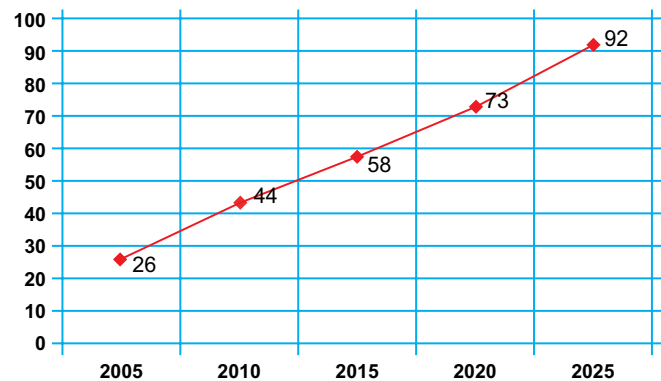


Рисунок 3 — Количество автотранспортных средств в расчете на 1 км автомобильных дорог общего пользования



Рисунок 4 — Ограничения пропускной способности на сети железных дорог

пускной способностью автомобильных дорог, составляют 3% от валового внутреннего продукта, что в 6 раз выше, чем в странах Европейского союза.

На сети железных дорог также существуют лимитирующие участки, составляющие 30% протяженности основных грузообразующих линий. Дальнейший рост пассажиро- и грузооборота невозможен без реконструкции и строительства новых путей на лимитирующих участках (рис. 4).

Эти и другие существенные транспортные проблемы также предопределили необходимость разработки



новой Транспортной стратегии России и соответственно новой редакции Федеральной целевой программы с изменением ее названия и сроков реализации. Новая ФЦП получила название «Развитие транспортной системы России на период 2010-2015 годы» (рис. 5).

В ее основу положены решения Госсовета Российской Федерации, включая решения его Президиума от 13 ноября 2007 г., проект Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2020 г., концепции и стратегии развития отдельных видов транспорта.

Необходимо отметить, что программа построена на принципах проектного финансирования. Объемы и источники финансирования уже сейчас определены в программе под конкретные инвестиционные проекты.

Расчет объемов внебюджетного финансирования произведен исходя из предложений частных компаний, которые готовы принять участие в развитии транспортных объектов и оформить соглашения о намерениях.

Приоритетами новой редакции программы станет скоординированное развитие всех видов транспорта и увязка на основе схем территориального планирования федеральных планов развития с региональными транспортными системами, являющимися составными элементами единой транспортной сети, а также с комплексными программами развития других отраслей, предусматривающими межвидовую увязку различных видов транспорта.

Условия инновационного развития Российской Федерации, повышение качества жизни ее граждан определили 5 целей программы.

Первая цель — развитие современной и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение товародвижения и снижения транспортных издержек в экономике.

Вторая цель — повышение доступности услуг транспортного комплекса для населения.

Третья цель — повышение конкурентоспособности транспортной системы России и реализация транзитного потенциала страны.

Четвертая цель — повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы.

Пятая цель — улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений на транспорте.

В результате реализации программы транспортная подвижность населения возрастет в 1,3 раза за счет строительства скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей, строительства и реконструкции 29 узловых аэропортов и 87 аэропортов, обеспечивающих связность опорной аэродромной сети, за счет строительства пассажирских речных и морских причалов, приобретения 659 магистральных и регио-



Рисунок 5 — Обеспечение комплексности в развитии транспортной системы

нальных воздушных судов и обновления парка пассажирских вагонов в количестве 12 000 единиц.

Будут обеспечены постоянной круглогодичной связью с транспортной сетью общего пользования 8 300 сельских населенных пунктов за счет реализации проектов по строительству подъездов с твердым покрытием.

Более 460 населенных пунктов, не имеющих альтернативного наземного транспорта, будут обеспечены транспортной доступностью воздушным транспортом за счет реконструкции аэродромов.

Объем экспорта транспортных услуг возрастет в 1,9 раза и достигнет 23,4 млрд долл. США в год.

Объем транзитных перевозок грузов по территории Российской Федерации увеличится в 1,4 раза и достигнет 44,4 млн т в год.

Результаты этих мероприятий обеспечиваются за счет комплексного развития транспортных коридоров Транссиб и Север — Юг, крупных транспортных узлов, логистических центров и аэропортов-хабов.

Достижение целей программы возможно при осуществлении согласованных действий по комплексному развитию транспортной отрасли.

Системный подход, заложенный в проекте новой редакции Федеральной целевой программы, обеспечит необходимый уровень координации развития различных видов транспорта, внедрения современных транспортных и логистических технологий, интеграции в мировой рынок транспортных услуг, применения и развития механизмов государственно-частного партнерства.

Комплексный подход позволит получить максимальный синергетический эффект от развития транспортной системы.

Программа включает в себя 6 подпрограмм.

Подпрограмма «Развитие экспорта транспортных услуг» сформирована по функциональному принципу и включает в себя мероприятия по комплексному развитию транспортной инфраструктуры, реализуемые на условиях государственно-частного партнерства и





Рисунок 6 — Развитие сети железнодорожного транспорта России до 2015 г.

направленные на повышение конкурентоспособности транспортной системы и реализацию транзитного потенциала Российской Федерации.

Подпрограммы «Железнодорожный транспорт», «Автомобильные дороги», «Гражданская авиация», «Морской транспорт» и «Внутренний водный транспорт» сформированы по отраслевому принципу.

Подпрограмма «Развитие экспорта транспортных услуг» является связующим звеном всей программы. Идеология подпрограммы построена на основе комплексного подхода развития транспортных узлов и увязки между собой отраслевых подпрограмм.

Комплексное развитие транспортной системы невозможно без мощной информационной и аналитической поддержки для эффективного управления транспортным комплексом России и мониторинга выполнения Федеральной целевой программы.

Создание Министерством транспорта информационно-аналитического центра обеспечит эффективный сбор, проверку и уточнение информации, поступающей из различных источников, формирование информационной базы по всем видам транспорта. Центр обеспечит единый процесс реализации всех подпрограмм.

Предусмотрено дальнейшее оснащение спутниковой аппаратурой ГЛОНАСС транспортного комплекса, развертывание диспетчерских систем по его управлению, создание контрольно-корректирующих станций. В рассматриваемую программу не вошли мероприятия по созданию цифровых открытых навигационных карт соответствующих масштабов, что требует разработки ведомственной целевой программы.

Мероприятия подпрограммы «Железнодорожный транспорт» учитывают, что железнодорожный транспорт обеспечивает 33% потребности от всего пассажирооборота и 40% грузооборота на средние и дальние расстояния от всех видов транспорта (рис. 6).

Доля протяженности участков железнодорожной сети с ограничениями пропускной и провозной способности сократится до 0,5%. Предусматривается строительство более 5 тыс. км новых железнодорожных линий и почти 3 тыс. км дополнительных главных путей.

Скорость доставки контейнеров в транзитном сообщении возрастет до 1 000 км в сутки, при этом объем перевозок транзитных контейнеров увеличится до 620 тыс. тэусов.

Общий объем перевозок контейнеров по сети железных дорог увеличится в 2 раза.

Важнейшим элементом целостности железнодорожной сети и снижения неоправданных экономических и социальных издержек является строительство железнодорожных обходов территорий Украины и Казахстана.

Решение задачи по обновлению парков грузового подвижного состава обеспечит увеличение производительности подвижного состава не менее чем на 15-20% (рис. 7).

Будет обновлено около 10 тыс. единиц тягового подвижного состава (тепловозов и электровозов), 12 тыс. единиц пассажирских вагонов локомотивной тяги и 7 тыс. единиц моторвагонного подвижного состава, 340 тыс. единиц грузовых вагонов.

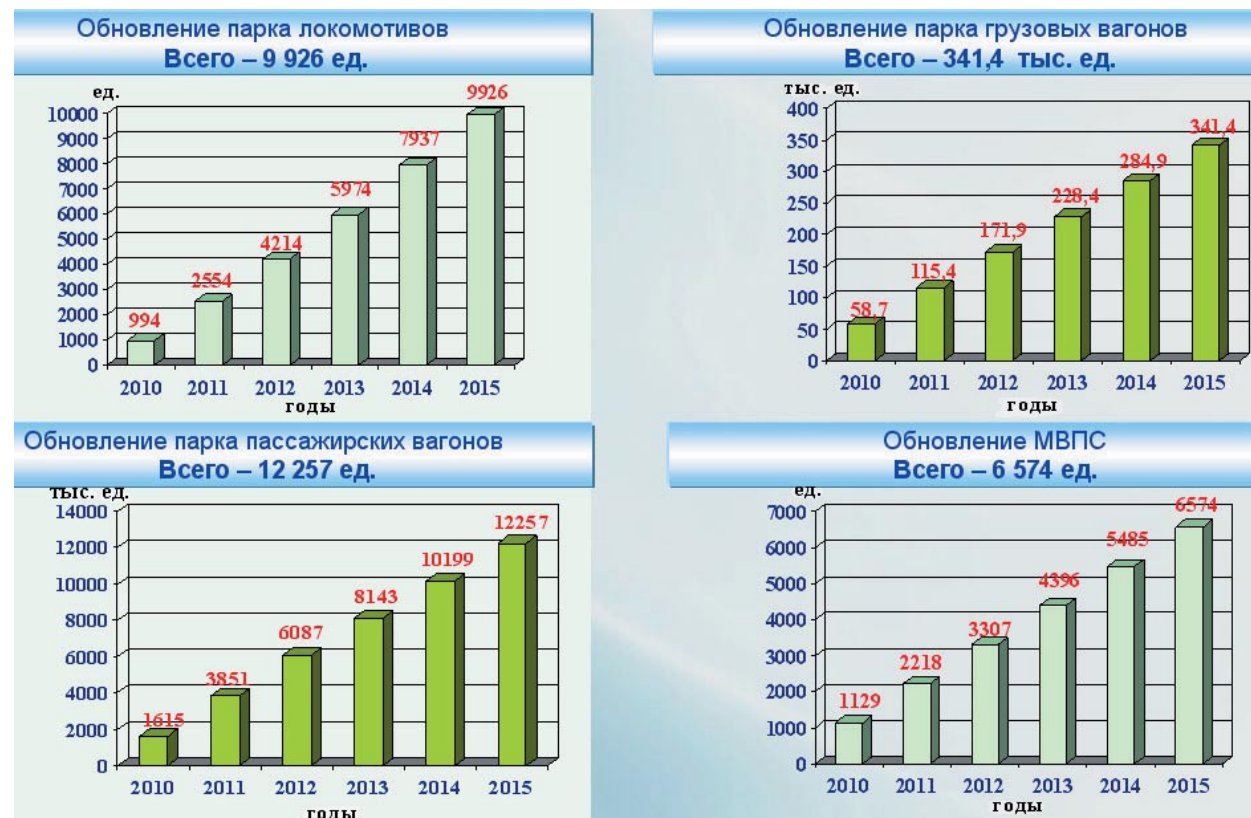


Рисунок 7 — Обновление подвижного состава железнодорожного транспорта

Подпрограмма «Автомобильные дороги» предусматривает мероприятия по строительству и реконструкции 63,7 тыс. км автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального и межмуниципального значения.

К 2015 г. по сравнению с 2009 г. практически в 2 раза увеличится доля протяженности автомобильных дорог, соответствующих нормативным требованиям.

На 7% сократится протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального значения, обслуживающих движение в режиме перегрузки.

Увеличение протяженности автомобильных дорог, входящих в систему международных транспортных коридоров, является одним из приоритетов, который включает создание системы автомагистралей и скоростных дорог по направлениям концентрации наибольших потоков автотранспорта (рис. 8). Это такие проекты, как:

строительство скоростной автомагистрали Москва — Санкт-Петербург;

строительство и реконструкция участков дорог, формирующих автодорожный маршрут Москва — Ростов-на-Дону — Новороссийск — районы Черноморского побережья;

строительство Центральной кольцевой автомобильной автодороги в Московской области и др.

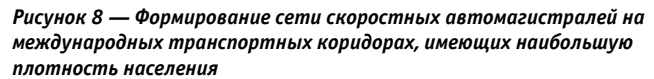
Прочие мероприятия по развитию сети автомобильных дорог федерального значения направлены на устранение разрывов и лимитирующих участков, в том числе и на реконструкцию обходов городов и иных населенных пунктов.

Предусматривается строительство лесовозных дорог, соединяющих населенные пункты, а также служащих подъездами к лесоперерабатывающим предприятиям.

Принято решение о поддержке этой сферы из инвестфонда в региональной части.

В настоящее время основными источниками финансирования дорожной отрасли являются бюджеты различных уровней. Вместе с тем налоги и сборы в Российской Федерации не увязаны с использованием автомобильными дорогами и не учитывают воздействие на дороги, используемые при перевозках транспортных средств.

В ходе реализации подпрограммы предусматривается принятие мер по совершенствованию системы финансирования автомобильных дорог с поэтапным переходом к увеличению доли прямого финансирования содержания и развития дорожной инфраструктуры; принятие мер по совершенствованию и внедрению механизма концессии, применению специализированных облигационных займов, платности услуг объектов



строительство транспортных, аварийно-спасательных, гидрографических и патрульных судов;



Ее реализация:
увеличит объем перевозок грузов и пассажиров по Единой глубоководной системе в 2-2,5 раза;

снизит себестоимость перевозок на 25-30%;
сократит долю внутренних водных путей европейской части России, ограничивающих пропускную способность водного транспорта, с 75 до 14%;
ликвидирует к 2015 г. аварийное состояние и опасный уровень безопасности на всех судоходных гидротехнических сооружениях.

Во исполнение поручения президента Российской Федерации Минтрансом России совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти разработан проект концепции развития аэродромной (аэропортовой) сети Российской Федерации на период до 2020 г.

В результате реализации подпрограммы «Гражданская авиация» по отношению к 2009 г. будут достигнуты следующие показатели:

авиационная подвижность населения возрастет до 62%;

пассажирооборот на международных воздушных линиях увеличится на 41%;

количество трансфертных авиапассажиров на стыковках международных рейсов и международных/внутренних рейсов возрастет до 3,3 млн чел. в год;

будет введено в эксплуатацию после реконструкции 112 взлетно-посадочных полос;

приобретено 659 воздушных судов современных типов.

Намечены меры по проведению категорирования, оценке уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от существующих угроз, в том числе от совершения актов незаконного вмешательства.

Намечено создание интегрированной системы контроля безопасности на транспорте, системы обеспечения оперативного реагирования и расследования происшествий и чрезвычайных ситуаций на транспорте, оснащение органов надзора и контроля в сфере транспорта патрульными судами и вертолетами.

Минтранс России уделяет большое внимание проблемам формирования кадрового потенциала, поскольку задачи развития транспортного комплекса могут быть решены только за счет обеспечения отрасли высокопрофессиональными специалистами.

В этой сфере планируется использование мер государственной поддержки вузов и школ, активно внедряющих инновационные образовательные программы и современные технологии, проведение мероприятий по укреплению материально-технической базы морских учебных заведений.

Перевод транспортной системы на новый качественный уровень потребует значительных инвестиций в ее развитие. Причем бюджетные средства в данном случае будут выступать не в качестве основного источника, а в качестве стимула и генератора для притока частных инвестиций в отрасль. Суммарные вложения



Рисунок 10 — Новый коридор из США в Китай через территорию России (интермодальная транспортная концепция)

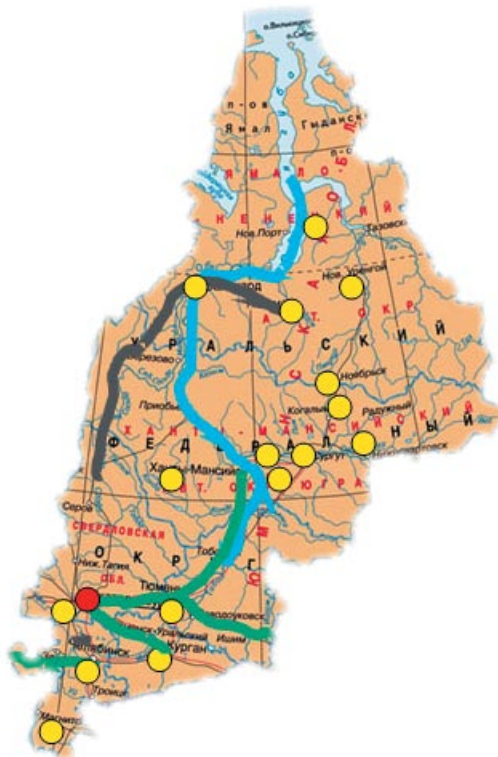


Рисунок 11 — Подпрограмма «Железнодорожный транспорт»

в развитие транспортной инфраструктуры прогнозируются в объеме 21 трлн руб., в том числе федеральный бюджет — 7,9 трлн руб. Инвестиционный фонд Российской Федерации — 2,27 трлн руб. Планируется задействовать зарекомендовавшие себя в мировой практике финансовые механизмы привлечения частных инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры, например, через выпуск транспортных облигаций. Объем внебюджетного финансирования составит 8,58 трлн руб., или 40,8% от общего объема финансирования.



Наибольший объем финансирования предусматривается по подпрограмме «Автомобильные дороги» — 9,93 трлн руб., или 47,2% от общих расходов по программе.

В результате мероприятий программы к 2015 г. дополнительные налоговые поступления в консолидированный бюджет составят 40 коп. на каждый рубль капитальных вложений, а в период до 2040 г. — 3,74 руб. на каждый рубль капитальных вложений.

Проекты строительства инфраструктурных объектов имеют явно выраженный макроэкономический эффект, поскольку обеспечивают стратегическое преимущество государства в долгосрочной перспективе, позволяя развивать высокоэффективные экспортно-ориентированные отрасли промышленности, повышать качество жизни населения, обеспечивать решение социальных задач, способствовать реализации транзитного потенциала страны (рис. 10).

Если говорить о развитии транспортной составляющей на территории Уральского федерального округа (УрФО), то в период 2010-2015 гг. ее финансирование составит почти 1,0 трлн руб. В том числе на развитие материальной базы УрГУПС — 1 081 млн руб. Основными крупными проектами по подпрограмме «Железнодорожный транспорт» являются строительство новых железных дорог Полуночное — Обская (вдоль восточного склона Уральских гор) и Салехард — Надым (рис. 11). Строительство совмещенного перехода через р. Обь в районе Салехарда, по сути, изменит конфигурацию сети и создаст дополнительный выход на Северную дорогу, оптимизирует потоки на Севере Урала и придаст им хороший импульс, позволит существенно снизить транспортные издержки промышленных предприятий Среднего и Южного Урала за счет развития базы ресурсов на Полярном и Приполярном Урале, оптимизировать потоки перевозки газового конденсата из этих интенсивно развивающихся регионов страны.

Важнейшим в этом проекте является развитие и усиление собственно Свердловской железной дороги, ее главного хода на участке от Чепцы до Перми, а также удлинение станций и создание полигона, позволяющего обеспечить перевозки железнодорожным транспортом угля и основных материалов Кузбасса на запад и на восток поездами весом 9-12 тыс. т. Такие поезда должны стать нормой, так как в Америке их вес составляет 15-17 тыс. т, а в Австралии доходит уже до

100 тыс. т. Это другая себестоимость, другая технология, и Россия в этом плане не может считать существующие в ней перевозки рентабельными.

По подпрограмме «Гражданская авиация» в УрФО предусмотрена реконструкция взлетно-посадочных полос и инженерных сооружений в 16 аэропортах на общую сумму почти 80 000 млн руб., приобретение патрульных вертолетов для государственного надзора и контроля в сфере транспорта на 176,7 млн руб., дальнейшее существенное повышение авиационной подвижности населения.

В подпрограмме «Автомобильные дороги» предусмотрено развитие основных автомобильных дорог, таких как М-5 Урал, и других направлений; реконструкция автодороги Тюмень — Тобольск — Ханты-Мансийск. Всего более 4 тыс. км за 6 лет. Это неплохая перспектива.

В результате выполнения мероприятий Федеральной целевой программы «Транспортная система УрФО» и России в целом должны существенно повыситься уровень и качество транспортных услуг, будет обеспечен инновационный сценарий социально-экономического развития как региона, так и страны. В итоге программа позволит перейти от задач модернизации к задачам развития транспортной системы и создать базу для реализации стратегии, определяющей перспективные горизонты и направления движения.

При этом в развитии мы различаем два основных аспекта. Это освоение новых территорий за счет приращения и включения в экономический потенциал страны, например, на Урале по программам «Урал промышленный — Урал Полярный» новых районов Приполярного и Полярного Урала и новых возможностей для развития территорий Западной Сибири и ее нефтегазодобывающих районов.

Вторая задача развития — это качественное улучшение характеристик работы транспорта: повышение скорости движения, увеличение качества услуг, переход на сервисную систему обслуживания, существенное — в разы — увеличение логистических технологий.

*Статья публикуется по материалам доклада
заместителя министра транспорта Российской
Федерации, д.т.н. А.С. Мишарина перед
общественностью УрГУПС
22 февраля 2008 г.*



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Термин «транзитный потенциал транспортных систем» пришел в науку из практики и привлек внимание специалистов в связи с ростом международных перевозок. Многие страны мира, в том числе прибалтийские, Украина и Беларусь, очень выгодно используют свое географическое положение и транспортную инфраструктуру для получения транзитной ренты. Для них транзит — существенная статья бюджетных доходов и рычаг политического влияния.

Выступая на заседании правительственной комиссии по вопросам развития промышленности, технологий и транспорта (30 ноября 2007 г.), первый заместитель председателя правительства РФ С.Б. Иванов отметил, что перевозка по Транссибу 1 млн контейнеров транзитных грузов из Кореи до Финляндии способна принести доход почти в 2 млрд долл. Правительство РФ ставит задачи увеличения в ближайшие годы объема транзитных перевозок через территорию России почти в 2 раза. Не менее актуальна для нашей страны и задача повышения эффективности межрегиональных сообщений. Принимая во внимание размеры территории, расположение ресурсных и перерабатывающих баз, характер хозяйственных связей и расселения населения, становится очевидным, что дальнейшее социально-экономическое развитие России в значительной мере будет зависеть от скорости и экономичности межрегиональных сообщений, выполняемых транспортными системами сопредельных (транзитных) регионов. В связи с этим исследование факторов, от которых зависят возможности транспортных систем страны и ее регионов по эффективному обслуживанию транзитных потоков, представляет интерес с теоретической и практической точек зрения [1].

Исследование любого объекта как научной категории начинается с формулировки его определения. Считается, что процесс дефиниции даже элементарных объектов не является простой задачей. Намного труднее охарактеризовать сложные системные образования, к которым относятся транспортные системы. В основе дефинитивной конструкции транзитного потенциала транспортной системы как научной категории лежит потенциальная составляющая. Термин потенциал (от лат. *potential* — сила) в наиболее общем смысле характеризует возможности какого-либо объекта по достижению определенной цели или решению задачи и является сложной по своему составу и структурным связям характеристикой какого-либо объекта (явления). Для оценки потенциала объекта могут использоваться различные подходы. Например, с позиций прагматического подхода содержание потенциала можно

рассматривать в двух аспектах: инструментально-аналитическом и экономическом. В экономическом смысле под потенциалом понимается предельно возможный уровень улучшения показателей (эффективности) деятельности объекта при оптимальном использовании имеющихся ресурсов. В инструментально-аналитическом смысле потенциал рассматривается как «разрыв эффективности» достигнутых результатов деятельности объекта и возможностей наличных ресурсов. Исследование экономических аспектов потенциала проводится для обоснования целей развития объекта, а инструментально-аналитических — для определения средств достижения этих целей. С позиций системного подхода потенциал определяется внутренними способностями объекта и зависит от возможностей по их реализации в конкретных условиях внешней среды. Несмотря на методологические различия, между подходами прослеживаются четкие связи. Экономическая характеристика потенциала объекта определяется состоянием внешнего окружения, а инструментально-аналитическая — состоянием элементов внутренней среды. Поэтому развитие потенциала объекта должно быть направлено на обеспечение такого состояния элементов его внутренней среды, при котором имеющиеся ресурсы эффективно используются для реализации открывающихся возможностей во внешней среде.

В некоторых источниках, в том числе энциклопедического характера, под транзитом (от лат. *transitus* — прохождение, переход) понимается разновидность перевозки, при которой груз следует от места отправления до места назначения без перегрузок в промежуточных пунктах. Такое определение, на наш взгляд, в некоторой степени охватывает только технологический аспект выполнения транзитных перевозок и имеет смысл только в отношении локальных, небольших участков схем транспортировки грузов, поскольку при полном цикле смешанной перевозки груз на всем протяжении маршрута обязательно перегружается с одного вида транспорта на другой, причем транзитный характер транспортировки не исключается. Поэтому факт невыполнения перегрузочных операций в промежуточных пунктах является важной, но некритической характеристикой транзита.

Содержательная сущность транзита наиболее полно раскрывается через территориальную составляющую. С этих позиций под транзитом понимается перевозка груза по обособленной в определенном смысле (политическом, экономическом, технологическом и т. п.) территории при условии, что пункты отправления и назначения находятся за пределами данной территории. При этом допускается, что в момент нахождения на соответствующей территории груз перегружается с одного вида транспорта на другой, временно хранится в транспортном узле в ожидании маршрутного транспорта. Главное требование к транзиту — чтобы конечный пункт доставки груза находился за пределами транзитной территории. С учетом сказанного полагаем, что при характеристике транзита следует учитывать в большей мере не технологический, а территориальный аспект. В связи с многообразием видов территориальных образований можно выделить несколько разновидностей транзита. Как транзит можно рассматривать транспортировку груза между двумя районами крупного города через третий смежный район. Транзит также образуется при следовании груза через населенный пункт, когда отсутствуют обходные пути. Аналогичным образом выделяется транзит по территории региона, транзит по территории государства.

Транзитный потенциал транспортной системы — важнейшая характеристика ее состояния и соответствия уровня развития ее структурных элементов текущим и перспективным потребностям в транзитных сообщениях, осуществляемых между отправителями и получателями, расположенными за пределами транспортной системы. Выделим две группы ключевых характеристик (компонентов) транзитного потенциала транспортной системы (рис. 1):

- 1) критерии и показатели оценки эффективности обслуживания транзитных сообщений;
- 2) объекты транспортных систем, участвующие в обслуживании транзитных сообщений, и используемые при этом ресурсы.

Применяемые критерии и показатели оценки эффективности реализации транзитного потенциала транспортных систем определяются с учетом поставленных целей их функционирования, которые ориентированы на реальные потребности в транзитных сообщениях, а возможности достижения указанных целей, в свою очередь, зависят от ресурсов транспортной системы и достигнутого уровня их использования. Следовательно, основной вектор развития транзитного потенциала транспортных систем задается целями развития их транзитного потенциала и средствами достижения этих целей.

Под транзитным потенциалом транспортной системы страны будем понимать совокупную способность всех видов транспорта общего пользования обеспечивать эффективное обслуживание международных потоков грузов, следующих без таможенной очистки по территории страны от пункта отправления до пункта назначения, находящихся за пределами национальной границы. Международный транзит рассматривается в качестве разно-

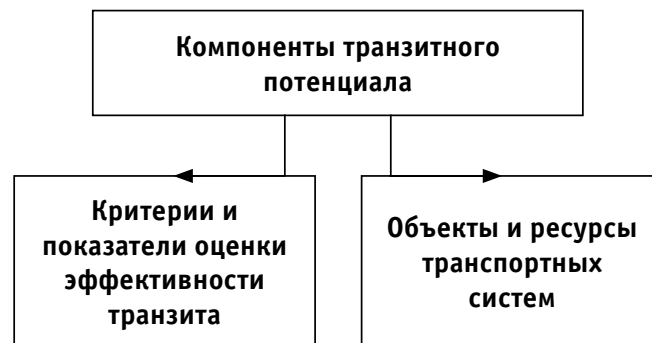


Рисунок 1 — Компоненты транзитного потенциала транспортной системы

видности экспорта транспортных услуг, предоставляемых национальными компаниями грузовладельцу и перевозчику при следовании груза и транспортного средства по национальной транспортной системе. Транзит обеспечивает дополнительные поступления в бюджеты всех уровней, стимулирует развитие транспортной и сервисной инфраструктуры, способствует созданию дополнительных рабочих мест. В условиях глобальной конкуренции идет активная борьба между транспортными системами отдельных государств за транзитные потоки.

Вопросам развития транзитного потенциала транспортной системы России посвящены работы О.В. Белого, О.Н. Дунаева, Ю.А. Щербанина, К.И. Плужникова, А.И. Татаркина, А.С. Суходолова, Е.Г. Ефимовой и многих других. В основе концепции транзитного потенциала транспортной системы России лежит геостратегическая миссия нашей страны как естественного моста между Европой и Азией. Объемы перевозок контейнерных грузов по трансокеанскому маршруту между Европой и Азией превышают 6 млн шт. TEU (20-футовый эквивалент). При прочих равных условиях транзит через Россию должен быть привлекательным для международных производителей, направляющих свою продукцию на экспорт между странами ЕС и АТР, так как он короче, быстрее и дешевле, чем морской путь, который сегодня остается основным на данном направлении грузоперевозок. Важнейшей целью развития транзитного потенциала транспортной системы России является рост доходов отечественных транспортных компаний и бюджетов всех уровней от увеличения объемов транзитных перевозок через ее территорию за счет переориентации международных грузо- и пассажиропотоков между странами АТР и ЕС на российские транспортные коридоры. Чем эффективнее обслуживаются транзитные потоки, тем больше объемы перевозок, тем больше доходов получает национальная экономика.

В работе [2] рассмотрены основные факторы, определяющие транзитные возможности транспортной системы России. С учетом системной природы транзитного потенциала указанные факторы разделены на две груп-





1. Экзогенные факторы, действующие на макроуровне (внешний аспект).

Геоэкономические факторы:

общие тенденции развития и взаимодействия между-
народных экономических систем;
расположение территории страны относительно гло-
бальных экономических центров;
положение и роль страны в международном экономи-
ческом сообществе;
территориальная и видовая структура международ-
ных перевозок;

степень интеграции национальной транспортной сис-
темы в единую международную транспортную систему.

Геополитические факторы:

политический риск (партнерские отношения с сопре-
дельными государствами, расположенными в русле про-
хождения транзитных грузопотоков, стабильность поли-
тического режима в этих странах);

внутриполитическая стабильность и безопасность
транспортных коридоров;

доступность зарубежных экономик для инвестиций,
интеграционных процессов, рыночной конкуренции (в
свете предстоящего вступления России в ВТО данный
фактор приобретает большое значение).

Инфраструктурные факторы:

территориальное расположение транспортных ком-
муникаций страны относительно глобальных экономи-
ческих центров;

организация стыковых соединений между транспор-
тными системами различных государств (согласование
мест соединения путей сообщения, размещение транс-
портных узлов);

техническая согласованность транспортных систем
сосредельных государств (согласование технических па-
раметров транспортных средств и путей сообщения, соот-
ветствие подвижного состава техническим, экологичес-
ким и другим требованиям национальных стандартов).

2. Эндогенные факторы, действующие на микроуровне (внутренний аспект):

уровень развития транспортной инфраструктуры (раз-
витая конфигурация и высокая пропускная способность
национальной транспортной сети, расположение и пере-
рабатывающая мощность транспортных узлов и др.);

экономическая эффективность (транзит должен
обеспечивать экономическую выгоду пользователям
транспортной системы в размере, превышающем выгоду
по альтернативным маршрутам);

использование современных технологий и сервиса
(бесперегрузочные технологии транспортировки, логи-
стический сервис и др.);

развитая система пограничных переходов и эф-
фективность таможенных технологий (расположение
таможенных пунктов пропуска через государственную
границу в местах наибольшей концентрации транзитных
грузопотоков, в транспортных узлах и терминалах, высо-

кая производительность таможенного контроля, сниже-
ние простоев на границах);

безопасность транспортных сообщений (безусловная
сохранность груза, защищенность экипажа, отсутствие
расходов на административные барьеры).

В современных геоэкономических и геополитических
условиях по многим отмеченным позициям транспортная
система России имеет значительные конкурентные пре-
имущества в сравнении с другими способами доставки
грузов между странами ЕС и АТР. Россия обладает хоро-
шими транзитными возможностями, реализация которых
сдерживается недостаточным уровнем развития объ-
ектов транспортной и логистической инфраструктуры и
сложностью прохождения таможенных процедур.

Основными направлениями развития транзитного по-
тенциала транспортной системы России являются:

1. Модернизация производственной базы пригра-
ничных пунктов пропуска транспортных средств и совер-
шенствование процедуры таможенного досмотра (их сле-
дует проводить в соответствии с мировой практикой).

2. Развитие инфраструктуры транзитных перевозок,
использование логистических и информационных тех-
нологий в целях ускорения доставки грузов, повышения
качества сервиса.

3. Формирование новых приграничных транспортно-
коммуникационных узлов и развитие сохранившихся вы-
ходов к Мировому океану.

4. Нарращивание мощностей имеющихся и создание
дополнительных контейнерных терминалов.

5. Обеспечение высокого уровня безопасности транс-
портных сообщений.

Перед региональными транспортными системами,
по крайней мере на современном этапе, не ставятся
конкурентные цели развития их транзитного потенциа-
ла, связанные с «уводом» транзитных потоков с транс-
портных систем соседних регионов страны. Транзитный
потенциал транспортной системы региона характери-
зуется через возможности ее инфраструктурных объек-
тов обеспечивать высокую эффективность выполнения
транзитных сообщений по территории региона. Эффек-
тивность выполнения транзитных сообщений при прочих
равных условиях зависит от средней скорости движения
транспортного потока. С повышением средней скорости
транзитных сообщений по регионам страны связывают
возможное снижение затрат всех видов ресурсов, пре-
жде всего финансовых. При более низких затратах на
транзит по регионам страны появляется возможность
повысить эффективность международного транзита, а
также снизить стоимость отечественных товаров, что,
как следствие, отразится на их конкурентоспособности
на мировых рынках, на уровне жизни населения страны
и т. д. Транспортная наценка для многих наименований
товаров — очень значимая часть рыночной цены и важ-
нейшая причина территориальной дифференциации цен.
Поэтому главная цель развития транзитного потенциала





транспортной системы региона состоит в создании таких условий, при которых обеспечивается низкий уровень затрат на выполнение транзитных сообщений, прежде всего путем повышения средней скорости их выполнения.

Для региональных транспортных систем транзитными являются: международные, межрегиональные сообщения, внешнеторговые (внешнеэкономические) транзитные сообщения. Особенности формирования международного транзита рассмотрены выше. Внешнеторговый транзит образуется в результате экспортно-импортных торговых связей отдельных регионов с зарубежными странами, когда грузопоток следует транзитом по транспортной сети других регионов, расположенных по направлению к таможенным пунктам пропуска через государственную границу. Российская Федерация относится к странам с низким уровнем интеграции в мировое хозяйство. Так, внешнеторговый оборот в расчете на душу населения в России по сравнению с Польшей ниже в 2 раза, с Болгарией — в 1,4 раза, с США, Республикой Корея и с Японией — в 7 раз, с Францией — в 10 раз и с Германией — в 12 раз. В связи с устойчивым ростом внешнеторгового оборота (в среднем 30% в год) и предстоящим вступлением нашей страны в ВТО исследование внешнеэкономических аспектов формирования транзитных грузопотоков по российским регионам представляет безусловный интерес для транспортной науки.

Внешнеэкономические сообщения характеризуются направлениями транспортировки, однако фактический маршрут прохождения экспортно-импортных грузопотоков по территории государства может отличаться от кратчайшего направления внешнеэкономических связей. На траекторию маршрута влияют конфигурация транспортной сети и расположение таможенных пунктов пропуска через государственную границу. Наибольший объем внешнеэкономической транзитной нагрузки приходится на приграничные регионы страны, по которым проходят магистральные пути федерального значения, используемые для межрегиональных и международных сообщений.

Россия осуществляет торговые внешнеэкономические связи почти с 200 странами мира [3]. Основными нашими торговыми партнерами являются страны ЕС (без стран Балтии), на них приходится 48% всех экспортно-импортных грузов в объемном и 54% в стоимостном выражении. Далее следуют страны Азии — около 16 и 18%, затем страны СНГ и Балтии — 16 и 13%, страны Южной и Северной Америки — 4 и 8% соответственно. На европейское направление (страны ЕС, СНГ и Балтии) приходится большая часть внешнеторговых грузопотоков (около 75% от общего объема), которые проходят через таможенные Северо-Западного, Центрального и Южного федеральных округов, расположенные на основных международных транспортных коридорах. Существенную долю (свыше 50%) в грузопотоке по этому направлению составляют поставки по трубопроводному транспорту через Московскую энергетическую таможню.

По данным Федеральной таможенной службы Российской Федерации, все регионы страны (за исключением некоторых автономных округов) осуществляют внешнеэкономическую деятельность (экспорт и/или импорт товаров). Однако их участие во внешнеэкономической деятельности дифференцировано, что связано в первую очередь с развитием региональных экономик. В структуре внешнеэкономической деятельности регионов страны преобладают экспортные поставки — 70% от общего объема внешнеторгового оборота по весовым и стоимостным показателям. На Центральный федеральный округ приходится 32,3% от суммарного веса российского экспорта товаров и 30,9% их стоимости. Второй по доле в общем экспорте российских грузов — Уральский ФО (соответственно 22,5 и 19%), в основном за счет нефти и газа Тюменской области. Далее в рейтинге идут Приволжский (16,5 и 16,3%), затем Сибирский (10,3 и 13,8%), потом Северо-Западный (9,6 и 11,2%), Южный (4,3 и 5,4%) и Дальневосточный ФО (4,5 и 3,4%).

Структура внешнеэкономической деятельности регионов во многом коррелирует с распределением экспортных поставок по таможенным пунктам. Через таможенные пункты Северо-Западного, Центрального и Южного федеральных округов в совокупности (без учета поставок энергоносителей по трубопроводному транспорту) проходит 70% веса всех экспортных грузов России, Уральского ФО — 10%, Сибирского ФО — 7%, Дальневосточного ФО — 13%.

В последние годы отмечаются высокие темпы роста внешнеэкономического транзита в азиатском направлении, что связано с ростом внешнеторгового оборота России с Китаем и Казахстаном. В 2006 г. товарооборот между РФ и Китаем увеличился на 50% — с 20 до 30 млрд долл., а товарооборот между Россией и Казахстаном — на 25% и достиг 10 млрд долл. Данная тенденция характеризуется устойчивым характером. В 2007 г. рост внешней торговли России с Китаем и Казахстаном составил около 40% по сравнению с аналогичным периодом 2006 г. Поэтому внешнеэкономическая транзитная нагрузка на транспортные сети соответствующих приграничных регионов стремительно возрастает.

Межрегиональный транзитный поток в основном опосредован социально-экономическими связями (промышленными, торговыми, культурными и пр.) регионов страны, транспортные сообщения между которыми выполняются транзитом по транспортной сети промежуточных регионов. Сложившаяся система специализации отечественных промышленных объектов на добывающие, перерабатывающие и производственные и их привязка к местам расположения используемых ресурсов (сырьевых, энергетических, интеллектуальных и пр.) обуславливает территориальную удаленность этих объектов друг от друга и необходимость осуществления транспортных сообщений между ними. Основная ресурсная база отечественной экономики располагается в азиатской части



страны (Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа), а перерабатывающая — в европейской (Центральный, Северо-Западный и Южный федеральные округа). На Урал, Сибирь и Дальний Восток приходится 71,41% от общего объема производства всех добывающих предприятий страны. На Центр, Северо-Запад, Юг и Поволжье — 68,62% от объема производства всех обрабатывающих предприятий России. При этом на западные регионы приходится 67,18% от общего объема валового регионального продукта, производимого в РФ [4].

В пятерку основных отправителей грузов входят уральские и сибирские регионы: Кемеровская, Иркутская, Челябинская и Свердловская области, Красноярский край — около 40% от общего объема отправок всех регионов России (табл. 1).

Таблица 1 – Объемы отправок грузов по регионам, млн т

№ п/п	Регион	Всего	Внутри региона	За пределы региона
1	Кемеровская область	178,2	68,1	110,1
2	Челябинская область	80,8	26,4	54,4
3	Свердловская область	65,0	28,0	37,0
4	Красноярский край	56,0	23,4	32,6
5	Иркутская область	52,4	22,0	30,4

Все указанные регионы относятся к промышленным. На долю добывающих и перерабатывающих отраслей в структуре ВРП этих регионов приходится от 40 до 50%. Характерным для таких регионов является то, что объемы местного потребления производимой продукции значительно ниже объема ее производства. Поэтому в структуре отправок производимой продукции из этих регионов объемы отправок во внешнее сообщение (в другие регионы страны и на экспорт) значительно (в среднем на 60%) превышают объемы отправок в местном сообщении. Причем соотношения между объемами внешних и местных сообщений по различным видам транспорта сильно отличаются. Это связано с различием сфер рационального применения видов транспорта. Например, железнодорожный используется для перевозок крупных партий, как правило, массовых грузов на большие расстояния (внешние сообщения), автомобильный — небольших объемов грузов, как правило, потребительских товаров внутри регионов (местные сообщения). Соответственно средние расстояния перевозок 1 т груза у данных видов транспорта различаются в несколько раз. Среднее расстояние перевозки 1 т груза по железным дорогам составляет около 1 500 км, а на автомобильном транспорте не превышает 100 км. Этим объясняется тот факт, что доля местных сообщений (имеются в виду прежде всего сообщения внутри регионов) в общем объеме перевозок по железной дороге

региона в среднем составляет 10%, а на автомобильном транспорте превышает 80%.

Учитывая распределение сообщений по видам транспорта (на железнодорожном преобладают внешние сообщения, а на автомобильном — местные), можно предположить, что основные транспортные потоки на железнодорожном транспорте следуют по магистральным дорогам, а на автомобильном — по сети дорог регионального значения. В отношении железнодорожного транспорта данная гипотеза подтверждается. Например, сообщения между восточной и западной частями страны осуществляются по Транссибирской магистрали, нагрузка на которую растет на 2,5-3,0 млн т грузов в год. На автомобильном транспорте ситуация складывается иначе. По оценкам, до 40% от общего объема автомобильных перевозок и до 65% грузооборота автомобильного транспорта приходится не на региональные, а на федеральные дороги, протяженность которых составляет менее 10% от общей протяженности дорожной сети страны. За последние 10 лет интенсивность движения в среднем по дорожной сети выросла на 10%, а интенсивность движения на автодорогах федерального значения увеличилась более чем на 50%. Поэтому значительная часть местных автодорожных сообщений в границах региона выполняется не по сети территориальных и местных автодорог, а по федеральным автодорогам. Подобная ситуация характерна прежде всего для транспортных систем регионов с низким уровнем развития сети автодорог регионального и местного значения.

Конфигурация сети автодорог многих регионов страны ориентирована на использование федеральных дорог для внутрирегиональных сообщений в целях повышения уровня транспортной обеспеченности региона при относительно низких затратах на строительство дорог регионального и местного значения. Не так давно дополнительная нагрузка на федеральные дороги в виде внутрирегиональных сообщений не оказывала существенного влияния на условия движения по ним. Однако в современных условиях ситуация кардинально изменилась. Только за последние 10 лет число автомобилей в РФ выросло в 2 раза, а протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием — всего лишь на 15%. По данным Росавтодора, в настоящее время насчитывается около 60 участков федеральных дорог, пропускная способность которых исчерпана или будет исчерпана до 2010 г. Почти 4 500 км федеральных автомобильных дорог достигли предела пропускной способности, а 8 000 км автомобильных дорог работают в режиме перегрузки, что приводит к системным заторам, особенно в летние месяцы. Наличие заторов не только резко сокращает скорость доставки грузов и пассажиров, но и приводит к росту аварийности на дорогах, затрудняет своевременное прибытие служб спасения и скорой помощи к местам дорожно-транспортных происшествий и т. п.

Загрузка дорог характеризуется уровнем загрузки z , который определяется через отношение интенсивности





движения по дороге к ее пропускной способности (в некоторых источниках используются аналогичные по смыслу термины — уровень, степень или коэффициент загрузки). Согласно данным Росавтодора, по сравнению с участками, работающими в пределах нормативных условий движения ($z < 0,55$), на перегруженных участках федеральных автомобильных дорог ($z = 0,55-0,85$) затраты на автомобильные перевозки выше в 1,2-1,4 раза, а на участках, работающих в режимах пропускной способности ($z > 0,85$) с периодическими транспортными заторами, затраты на перевозки увеличиваются в 2,5-3 раза. Учитывая, что для международных, межрегиональных и внешнеэкономических транзитных сообщений используются в основном автодороги федерального значения, их загрузка внутрирегиональными сообщениями рассматривается в качестве важного фактора, ограничивающего среднюю скорость движения по ним и, как следствие, эффективность транзита.

Существенное влияние на эффективность транзитных сообщений оказывает месторасположение транспортных узлов и обходных путей федеральными дорогами населенных пунктов [5]. При отсутствии обходов транзитный поток следует по дорожной сети населенного пункта, что приводит к общему снижению скорости движения как местного, так и транзитного потока. Эффективный способ решения данной проблемы — строительство вокруг населенного пункта обходной дороги для пропуска транзитного потока. В случае расположения транспортных узлов в населенных пунктах транзитный поток также создает дополнительную нагрузку на сеть местных дорог, что приводит к снижению скорости движения по ним.

Таким образом, при оценке транзитного потенциала транспортных систем регионов и разработке мероприя-

тий по его развитию необходимо учитывать следующие факторы. Во-первых, транзитная нагрузка распределяется неравномерно как по отдельным регионам, так и по транспортной сети регионов, но имеет место концентрация транзитных потоков на магистральных дорогах, связывающих промышленные центры страны и обеспечивающих выходы к пограничным переходам по направлениям международных торговых связей. Другими словами, уровень транзитной нагрузки на транспортную систему региона зависит от геоэкономического положения региона и прохождения по его территории магистральных дорог. Во-вторых, величина и соотношение объемов внешних и местных транспортных сообщений по дорогам регионов зависит от уровня развития региональной экономики и ее отраслевой структуры. Объемы перевозимых грузов для экономики региона распределяются по видам транспорта с учетом сферы их рационального применения. Автомобильный транспорт активно используется для внутрирегиональных сообщений. В-третьих, осуществление внутрирегиональных автотранспортных сообщений по сети дорог федерального значения ухудшает условия движения по ним. Высокий уровень загрузки федеральных дорог отмечается при большом числе примыканий местных дорог и на подходах к крупным населенным пунктам (промышленным и административным центрам). Для повышения скорости транзитных сообщений необходимо организовывать обходы федеральными дорогами населенных пунктов, выводить за их границы транспортные узлы, снижать загрузку федеральных дорог внутрирегиональными сообщениями за счет развития (реконфигурации) сетей местных и региональных дорог.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований по заданию Федерального агентства по образованию РФ.

Литература

1. Ларин О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона / Под ред. Л.Б. Миротина. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. — 205 с.
2. Ларин О.Н. Концепция транзитного потенциала транспортной системы // Известия Челябинского научного центра. — 2006. — Вып. 4 (34). — С. 125-127 (электронный журнал: <http://csc.ac.ru/ej/file/3726>).
3. www.customs.ru — официальный сайт Федеральной таможенной службы Российской Федерации.
4. www.gks.ru — официальный сайт Федеральной статистической службы Российской Федерации.
5. Ларин О.Н. Концептуально-методологические основы согласованного функционирования транспортных систем различных уровней // Транспорт Урала. — 2007. — № 4. — С. 2-8.

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье представлена последовательность принятия управленческих решений при формировании логистических сетей, использование которой предполагается в рамках комплексной оптимизации сетевых структур предприятий различных отраслей экономики. Формирование логистических сетей происходит, как правило, в рамках консультационного проекта (КП), одним из важнейших принципов которого является поэтапная организация работ.

При этом каждый последующий этап КП проводится на основе результатов предшествующего этапа. Цель проведения КП — снижение совокупных расходов логистической сети, сведенных к минимуму при соблюдении определенного качества комплекса услуг по доставке товарной продукции от производителя к потребителю.

Управленческие проблемы в области логистики можно успешно решать на основе универсального формата — сети, при помощи которого совокупность транзакций и объектов этих связей интерпретируется как пространственная структура, систематизирующая потоки [1]. Таким образом, модель логистической сети (ЛоС) географически упорядочивает производителей, промежуточные узлы (центральные и региональные склады) и потребителей, а также существующую транспортную инфраструктуру, исполняющую роль связующего звена между производителями, складами и потребителями [2].

Основой для поиска оптимальной конфигурации ЛоС служат ориентированные графы (ОГ) — множество узлов и соединяющих узлы кантов. В ОГ все канты ориентированы. С помощью конечного, направленного графа можно воссоздать реальную многотоварную многоступенчатую ЛоС, в которой месторасположения узлов ЛоС — вершины графа, а транспортная инфраструктура ЛоС — направленные канты ОГ. Узлы ОГ $G=(N, A, P, k)$ рассредоточены на множество ступеней, и в зависимости от их количества (0, 1, 2) между производителем и потребителем моделируются одно-, двух- или трехступенчатые ЛоС. Общее количество узлов ОГ — $N = \{1, 2, \dots, n\}$, количество кантов (i, j) от узлов i до узлов j — $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, количество товаров ЛоС — $P = \{1, 2, \dots, r\}$. Все узлы ОГ делятся на Q, D и U . Где Q := количество источников ЛоС; D := количество выходов ЛоС; U := количество узлов грузопереработки (объединения и разукрупнения) товаров.

Обозначив a_{ip} и b_{ip} как предложение источников ЛоС i и спрос выходов ЛоС i на товар p , а также принимая за x_{ijp} количество товара $p \in P$, движущееся с функ-

цией затрат f_{ij} по канту (i, j) , обладающее емкостью k_{ijp} , сформулируем следующую модель:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} \left(\sum_{p \in P} x_{ijp} \right) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = -a_{ip}, \quad i \in Q, p \in P; \quad (2)$$

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = 0, \quad i \in U, p \in P; \quad (3)$$

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = b_{ip}, \quad i \in D, p \in P; \quad (4)$$

$$0 \leq x_{ijp} \leq k_{ijp}, \quad (i, j) \in A, p \in P. \quad (5)$$

$V(i)$ и $N(i)$ представляют количества предшествующих и последующих узлов i ОГ. С введением дополнительных узлов ОГ будет выполняться условие

$$\sum_{i \in Q} a_{ip} = \sum_{i \in D} b_{ip}, \quad p \in P.$$

Определив объем предложения a_{ip} и объем спроса b_{ip} на товар $p \in P$ для всех $i \in N$ как:

$$a_{ip} = \begin{cases} \text{предложение товара } p, & \text{если } i \in Q \\ 0 & \text{иначе} \end{cases},$$

$$b_{ip} = \begin{cases} \text{спрос на товар } p, & \text{если } i \in D \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

дополнительные условия (2)-(4) можно объединить:

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = b_{ip} - a_{ip}, \quad i \in N, \quad p \in P. \quad (6)$$

Модель (1)-(5) может быть охарактеризована как нелинейная емкостная многотоварная сетевая модель, или модель сетевого потока, в которой в качестве функций затрат выступают транспортные и складские затраты ЛоС.



Так как в этой формулировке модели ЛоС затраты возможно присваивать только кантам ОГ, затраты на складские процессы грузопереработки выражаются в качестве дополнительных кантов между раздвоенными узлами, представляющими один складской узел ЛоС.

ОГ не имеет оборотных циклов, т. е. в нем отсутствуют обратные и поперечные потоки (за исключением уже отображенных при помощи кантов). Таким образом, имеет место следующая узловая структура:

$$N = N_0 \cup N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$$

где

$$Q := N_0$$

$$U := N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4$$

$$D := N_5$$

Определенное количество узлов N_0 и N_5 отображает соответственно источники ЛоС (производителей) и выходы ЛоС (потребителей). Узлы N_1 , N_2 и N_3 , N_4 служат для отображения промежуточных складских узлов (складской инфраструктуры ЛоС). Транспортные связи могут проходить от узлов высших ступеней к узлам низших ступеней. Для избранного в качестве примера ОГ $G = (N, A, P, k)$ транспортные соединения проходят в следующем порядке:

$$N_0 \rightarrow N_1, N_0 \rightarrow N_3, N_0 \rightarrow N_5, \\ N_2 \rightarrow N_3, N_2 \rightarrow N_5, N_4 \rightarrow N_5.$$

В соответствии со способом отображения в ОГ складских затрат, принятом выше, каждый узел i на ступенях N_1 и N_3 должен быть строго соединен соответственно только с узлом j на ступенях N_2 и N_4 , так как кант (i, j) отображает складские процессы грузопереработки определенного складского узла ЛоС. Обозначив движущийся объем товаров X_{ij} по канту (i, j) как

$$X_{ij} = \sum_{p \in P} x_{ijp}, \quad (7)$$

пропускная способность p_i складского узла i будет иметь вид

$$p_i = X_{iN(i)} = \sum_{p \in P} x_{iN(i)p}, \quad i \in N_1 \cup N_3. \quad (8)$$

Принимая за $L_i(\cdot)$ и $T_i(\cdot)$ соответствующие складские и транспортные затраты, вносится корректировка в общую форму целевой функции (1), которая приобретает следующий вид:

$$\sum_{\substack{(i,j) \in A \\ i \in N_0 \cup N_2 \cup N_4 \\ j \in N_1 \cup N_3}} T_{ij}(X_{ij}) + \sum_{\substack{(i,j) \in A \\ i \in N_0 \cup N_2 \cup N_4 \\ j \in N_5}} T(x_{ij1}, \dots, x_{ijp}) + \sum_{i \in N_1 \cup N_3} L_i(p_i) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Итак, цель проведения консультационного проекта по снижению совокупных расходов логистической сети, сведенных к минимуму при соблюдении определенного качества комплекса услуг по доставке товарной продукции от производителя к потребителю, достигается путем решения таких задач, как:

- совершенствование конфигурации ЛоС;
- повышение эффективности использования ресурсов ЛоС;
- разработка оптимальных способов транспортировки товаров.

Проект состоит из следующих этапов.

1. Информационно-аналитический этап, на котором в соответствии с общими требованиями предприятия-заказчика к формированию ЛоС осуществляется уточнение и систематизация факторов, определяющих конфигурацию ЛоС (параметры используемых транспортных сетей, транспорта — вид, количество транспортных средств, грузоместимость по отдельным товарам, скорость движения; структуры предложения и спроса, параметры и месторасположение складов). Кроме того, на этом этапе производится формулирование идей решения задач по формированию ЛоС, экспертиза и отбор наиболее эффективных и реальных (с точки зрения осуществления) из них и разработка на основе отобранных идей решения задач, реальных вариантов решений.

2. Исследовательский этап, на котором отобранные варианты решений прорабатываются посредством методов сетевого моделирования (на основе задачи минимизации сетевого потока, математическая интерпретация которой представлена выше, и компьютерного программного обеспечения NWF или на основе распределительной задачи и программного обеспечения TRP) с целью более полного представления о варианте и оценки его по степени сложности и уровню затрат. Перед этим возможно проведение улучшения структуры ЛоС путем определения оптимального месторасположения центрального складского узла (ЦСУ) ЛоС. В ходе этого этапа вырабатывается несколько вариантов оптимальной конфигурации ЛоС, вариантов транспортировки товаров, сравниваются затраты по вариантам и выбирается лучший из них. При этом исследуются различные способы транспортировки, складирования, грузопереработки, различные варианты размещения складов ЛоС, варьируются такие параметры, как время доставки, уровень запасов, время исполнения заказа и издержки.

3. Рекомендательный этап, включающий изложение выводов по результатам анализа, подготовку экономического обоснования выбора вариантов с расчетом экономического эффекта от внедрения и рекомендаций по дальнейшему совершенствованию ЛоС.



4. Заключительный этап, на котором производится внедрение рекомендаций по формированию ЛоС, контроль внедрения и оценка результатов. По результатам внедрения дается оценка фактической экономической эффективности, которая сопоставляется с предварительными расчетами.

Формирование ЛоС производится в соответствии с индивидуальными особенностями каждого предприятия и требованиями предприятий-заказчиков к оптимизации. В то же время можно выделить основные составные части формирования ЛоС:

1. Выбор оптимального варианта размещения ЦСУ. При этом речь идет о расположении и количестве складов, числе складских ступеней и складов на ступени.

2. Закрепление получателей и складов за складами высших ступеней, а тех, в свою очередь, — за производственными пунктами.

3. Определение области поставок производственных пунктов (складов). Условие, часто выдвигаемое при этом, — отсутствие свободных пересечений областей поставок: определенному потребителю (области потребителей) доставка осуществляется только от одного склада (предприятия), а определенному складу низшей ступени доставка осуществляется только от склада высшей ступени (от предприятия).

4. Выбор транспортного средства/средств (вида/видов транспорта, транспортного тарифа/транспортных тарифов) для доставки товаров.

5. Выбор типа упаковки (используемой при транспортировке) для определенного товара.

Выбор оптимального варианта размещения ЦСУ осуществляется в том случае, когда на обслуживаемой территории имеется несколько потребителей материального потока. При выборе варианта размещения ЦСУ применяется следующая последовательность действий:

изучается конъюнктура рынка и разрабатывается прогноз величин материальных потоков, проходящих через ЛоС;

вырабатывается система обеспечения товарами потребителей;

составляются схемы распределения товаропотоков в рамках ЛоС;

определяется наилучший вариант размещения ЦСУ по критерию оптимизации затрат.

Основу дальнейшей демонстрации поиска оптимального варианта размещения (ОВР) ЦСУ ЛоС составляет решение мини-макс-задачи. Необходимость определения ОВР ЦСУ может быть вызвана структурно-географическими изменениями на предприятиях (например, расширением ЛоС).

Анализируя факторы экологической безопасности, уже имеющуюся инфраструктуру и возможности Е. ON. Ruhrgas (предприятия, выбранного нами в качестве примера для демонстрации этого модуля оптимизации

ЛоС) по строительству нового ЦСУ, для определения ОВР выбраны 5 промежуточных узлов ЛоС: Брауншвайг, Мюнстер, Ахен, Вюрцбург и Заарбрюкен (табл. 1) из таблицы потенциальных ЦСУ и потребителей ЛоС.

Таблица 1 — Потенциальные ЦСУ и потребители ЛоС Е. ON. Ruhrgas

№ п/п	Наименование населенного пункта	Географические координаты		Коэффициент важности	Обозначение на схеме	Вид пункта сети
		х	у			
1	Фленсбург	299	32	1	1	Узлы потребления
2	Екенфорде	357	91	4	2	
3	Ельнсхорн	401	135	2	3	
4	Делменхорст	336	181	3	4	
5	Енден	236	253	2	5	
...	...	...	...	...	...	
24	Фрайбург	151	902	1	24	Потенциальные ЦСУ
25	Мюнхен	467	914	3	25	
26	Брауншвайг	337	359	Не определяется	26	
27	Мюнстер	147	398		27	
28	Ахен	22	546		28	
29	Вюрцбург	352	692		29	
30	Заарбрюкен	91	751		30	

Кроме потенциальных ОВР ЦСУ, таблица содержит узлы потребления, географические (условные) координаты всех узлов ЛоС. Каждому узлу потребления присваивается определенный коэффициент важности, означающий степень приоритетности узла. Эти коэффициенты задаются, как правило, предприятием и учитывают специфику его деятельности при определении ОВР ЦСУ¹. В случае Е. ON. Ruhrgas введены коэффициенты важности для каждого узла потребления от одного до четырех (см. табл. 1) таким образом, что единице соответствует наименее значимый узел ЛоС, а четверке — узел с наибольшей степенью значимости.

Ключевое значение в определении ОВР ЦСУ имеют величины произведения интервалов «потенциальный ЦСУ — потребитель ЛоС» на коэффициент важности ЛоС. Потенциальные ЦСУ, потребители ЛоС, допустимые связи между ними, отображающие реальную дорожную сеть региона (канты ЛоС), создают определенную конфигурацию ЛоС (рис. 1).

Виртуальное отделение ЛоС от карты позволяет получать граф ЛоС, который, опираясь на данные по координатам узлов (см. табл. 1), заносится в программное обеспечение TSP² (рис. 2) с целью определения матрицы расстояний между узлами ЛоС.

¹ На величины коэффициентов важности (приоритетности узлов) оказывают влияние индивидуальные особенности ЛоС (например, наиболее значимые объекты — объекты основного бизнеса предприятия).

² Программа TSP предназначена для определения кратчайшего маршрута по заданной сети от начального до конечного пункта маршрута и является программой Нюрнбергского логистического центра имени Фраунхофера [3].



Рисунок 1 — ЛоС Е. ОН. Ruhrgas (с 1 по 25 — узлы потребления, с 26 по 30 — потенциальные ЦСУ, линии между узлами отображают дорожную сеть)

Матрица может быть получена двумя способами: расчет «сеть» и расчет «координаты». Расчет «сеть» выполняется на основе заданных величин кантов ЛоС с формированием асимметричной матрицы расстояний. Расчет «координаты» выполняется на основе координат отдельных узлов ЛоС с формированием систематической матрицы расстояний. При формировании матрицы значения расстояний ЛоС умножаются с коэффициентом объезда³, получаемым делением значения ортогонального расстояния

(ОР) на значение расстояния полетной линии (РПЛ) (рис. 3).

Расчет «координаты» дает матрицу расстояний от потенциальных ЦСУ до каждого потребителя ЛоС. На основе этих данных, мультиплицируемых с коэффициентами важности узлов (см. табл.1), формируется мультиплицированная матрица значений (табл. 2).

³ Для региона, в котором географически находится ЛоС Е. ОН. Ruhrgas, этот коэффициент имеет значение 1,28.



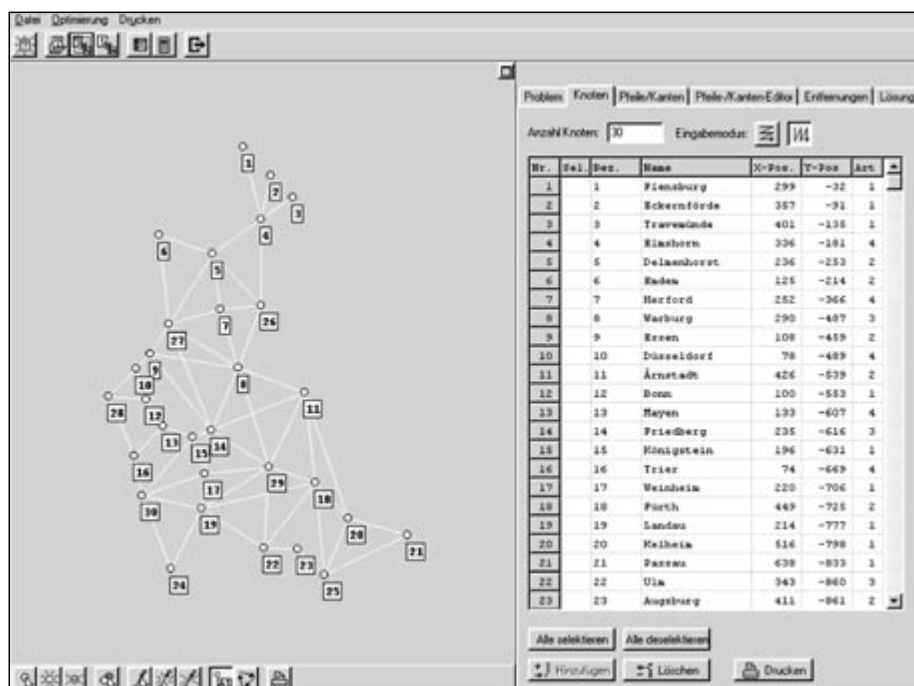


Рисунок 2 — Граф ЛоС (слева — в окне сетевого графа TSP) и таблица узлов ЛоС (справа — на листе узлов сети TSP) в программном обеспечении TSP

Вычисление ОВР ЦСУ определяется по значениям последних двух строк матрицы значений. Вторая снизу строка указывает на мультиплицированное значение определенного ЦСУ и определенного потребителя. В нашем случае оптимальное значение (1 926) принадлежит Мюнстеру. Другой показатель матрицы — сумма мультиплицированных значений в столбцах потенциальных ЦСУ. Оптимальное значение этого показателя в нашем случае также принадлежит Мюнстеру (18 825). Таким образом, ОВР ЦСУ ЛоС, обеспечивающее наилучшую досягаемость потребителей в соответствии с их значимостью для E. ON. Ruhrgas, принадлежит узлу Мюнстер.

Опираясь на данные, полученные в ходе определения месторасположения ЦСУ, разрабатываются варианты решений по закреплению получателей и складов за складами высших ступеней (а тех, в свою очередь, — за производственными пунктами), определению области поставок производственных пунктов (складов), выбору транспортного средства/средств (вида/видов транспорта, транспортного тарифа/транспортных тарифов) для доставки товаров, выбору типа упаковки (используемой при транспортировке) для определенного товара.

Эти варианты решений прорабатываются посредством методов сетевого моделирования (на основе задачи минимизации сетевого потока и компьютерного программного обеспечения NWF или на основе рас-

Таблица 2 — Мультиплицированная матрица значений

№ п/п	Название населенного пункта	Потенциальные пункты размещения складов				
		Брауншвайг	Мюнстер	Ахен	Вюрцбург	Заарбрюкен
1	Фленсбург	421	507	747	848	958
2	Екенфорде	344	476	723	769	911
3	Ельнсхорн	298	468	716	716	883
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
24	Фрайбург	735	645	485	372	208
25	Мюнхен	730	777	739	320	525
Максим. значение		20 80	1 926	2 464	2 616	3 176
Сумма значений		20 197	18 825	21 021	19 918	22 719

пределительной задачи и программного обеспечения TPr). В ходе этого этапа вырабатывается несколько вариантов оптимальной конфигурации ЛоС, вариантов транспортировки товаров, сравниваются уровни затрат по вариантам и выбирается наилучший из них. Блок-схема поэтапного формирования ЛоС представлена на рис. 4.

Необходимо отметить, что в процессе формирования ЛоС нужно найти так называемый единый знаменатель для всей сети (например, километр для труб, поддон для газовых котлов, специальная тара для ин-фракрасных излучателей и т. д.). Затем, изменяя чис-



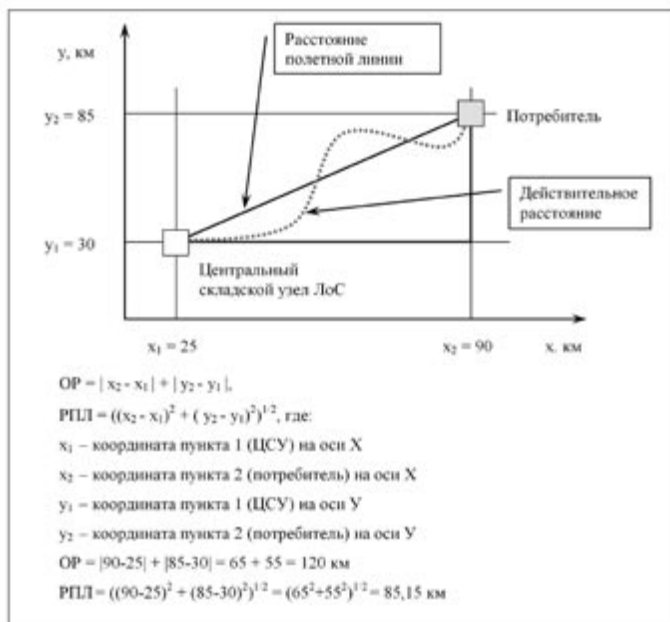


Рисунок 3 – Расстояние полетной линии и действительное расстояние между ЦСУ и потребителем ЛоС в двоичной системе координат



Рисунок 4 – Блок-схема формирования ЛоС

ло кантов направленного графа, производится настраивание ЛоС на необходимое количество продуктов и выполняется расчет сценариев (так называемые сценарии исходной ситуации и возможных улучшений) по заданным условиям.

Для обобщения расчетов по оптимизации ЛоС основные полученные результаты, согласно сценариям, отображаются схематически (в виде географических

схем ЛоС, позволяющих определить оптимальную конфигурацию ЛоС), а также сводятся в результирующую таблицу, анализ которой позволяет определить оптимальные параметры сети (например, вид транспорта, тип упаковки и т. д.). При обобщении географических схем и результирующих таблиц формируются рекомендации к построению оптимальной по затратам ЛоС.

Литература

1. Якушев Д.С. Совершенствование логистических распределительных сетей // Транспорт Урала. — 2007. — № 4 (15).
2. Ebner G. Controlling komplexer Logistiknetzwerke Konzeption am Beispiel der Transportlogistik eines Multi-Standort / Multi-Produkt-Unternehmens, GVB Schiftenreihe, Heft 34, Nurnberg, 1997.
3. Feige D.P., Klaus Werr H. Decision Support for Cooperative Distribution Networks // M. Gracia Speranza and Paul Stuhly (Hrsg.): New Trends in Distribution Logistics. — S. 6393, Springer Verl. — Berlin, Heidelberg, New York, 1999.

ФОРМИРОВАНИЕ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНОГО МОДЕМА ДЛЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Предложен способ и устройство формирования модулированных сигналов для каналов передачи информации в системах железнодорожной автоматики и телемеханики, позволяющий повысить пропускную способность и помехоустойчивость канала.

В [1] рассмотрен способ многопараметрической модуляции шумоподобного несущего колебания, названный линейным модемом (ЛМ). Модулированное колебание на выходе ЛМ в каждый момент времени — это результат линейного взаимодействия всех степеней свободы (отсчетных значений) несущего колебания со всеми степенями свободы отрезка (пакета) передаваемого сообщения. Процесс модуляции в ЛМ сопряжен с математическими операциями над большими массивами чисел и хранением их в памяти, что трудновыполнимо в аналоговой форме сигналов. Переход к цифровой обработке снимает эти трудности, однако требует дискретизации оси времени.

Выполняя дискретизацию через интервалы Котельникова и оперируя отсчетными значениями сигналов, можно получить модулированное колебание только в отсчетных точках, по которым возможно сформировать непрерывный сигнал, пригодный для передачи по каналу. Однако если сигнал располагается в области высоких частот и занимает ограниченную полосу, то для его точного воспроизведения необходимо знать не только отсчетные значения сигнала, но и его преобразования Гильберта [2]. Это означает, что вместе с отсчетами модулированного сигнала по каналу требуется передавать информацию и о его преобразовании Гильберта, что снижает скорость передачи информации вдвое.

Если сформировать сигнал на выходе модулятора таким образом, чтобы его преобразование Гильберта в отсчетных точках равнялось нулю, то эту информацию не требуется передавать по каналу.

В [3] показано, что узкополосный сигнал может быть достаточно точно представлен последовательностью своих отсчетных значений следующим образом:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |s_n| \frac{\sin \pi F(t - n\Delta t)}{\pi F(t - n\Delta t)} \cos[2\pi f_c(t - n\Delta t) - \phi_n], \quad (1)$$

где $F = f_2 - f_1$ — ширина полосы частот сигнала на положительной полуоси;

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \text{ — средняя частота занимаемой полосы;}$$

$$\Delta t = \frac{1}{F} \text{ — шаг дискретизации на оси времени;}$$

$$|S_n| = \sqrt{S_n^2 + S_{Gn}^2} \text{ — модуль комплексной огибающей } s(t) \text{ в точке } t = n\Delta t;$$

$$\phi_n = \arctg \frac{S_{Gn}}{S_n} \text{ — фаза комплексной огибающей } s(t) \text{ в точке } t = n\Delta t;$$

$$S_n \equiv S\left(\frac{n}{F}\right) \text{ — отсчетное значение сигнала в точке } t = n\Delta t;$$

$$S_{Gn} \equiv S\left(\frac{n}{F}\right) \text{ — отсчетное значение преобразования}$$

Гильберта сигнала $s(t)$ в точке $t = n\Delta t$.

Если преобразование Гильберта во всех отсчетных точках равно нулю, то и ϕ_n во всех отсчетных точках

также будет равно нулю, а $|S_n|$ будет равен $S\left(\frac{n}{F}\right) = S(n\Delta t)$.

Тогда равенство (1) можно записать следующим образом:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n\Delta t) \frac{\sin \pi F(t - n\Delta t)}{\pi F(t - n\Delta t)} \cos 2\pi f_c(t - n\Delta t). \quad (2)$$

Как видно из (2), каждое слагаемое суммы в соответствующей отсчетной точке имеет пиковое значение. И наоборот, если мы, располагая последовательностью отсчетных значений $s(n\Delta t)$ сигнала $s(t)$, сфазироваем множители в соответствии с выражением (2), то сумма будет точно равна сигналу $s(t)$, у которого преобразование Гильберта в отсчетных точках равно нулю. Такой сигнал можно передавать по каналу без сопровождения его информацией о преобразовании Гильберта.

На выходе линейно-параметрического модулятора получим именно последовательность отсчетных значений $s(n\Delta t)$, которая для передачи по каналу должна быть преобразована в последовательность отсчетных функций, показанных в (2). Для этого необходимо добавить специальный блок формирования отсчетных функций, который при поступлении на его вход отсчетного значения $s(n\Delta t)$ выдает на выход отсчетную функцию с весом $s(n\Delta t)$.

Для формирования отсчетных функций требуется знать два параметра: F и f_c , т. е. знать полосу частот, которую будет занимать сигнал $s(t)$ в канале, и местоположение этой полосы на оси частот.

Полоса частот определяет интервал дискретизации в соответствии со следующей зависимостью [4]:

$$\frac{\sin \pi F t}{\pi F t} \Leftrightarrow \frac{1}{F} \Pi_{F/2}(f), \quad (3)$$

$$\text{где } \Pi_{F/2}(f) = \begin{cases} 1, & \text{если } |f| \leq F/2 \\ 0, & \text{если } |f| > F/2 \end{cases};$$

$\Leftrightarrow$ — символ взаимобратного преобразования Фурье.

Для второго сомножителя отсчетной функции аналогичная зависимость имеет вид

$$\cos 2\pi f_c t \Leftrightarrow \frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]. \quad (4)$$

Графические образы выражений (3) и (4) приведены на рис. 1а, б.

Перемножению левых частей выражений (3) и (4) соответствует свертка правых частей этих выражений. На рис. 1в показана отсчетная функция на осях времени и частот, которая после приписывания ей веса $s(n\Delta t)$ и смещения на $(n\Delta t)$ по оси времени образует n -е слагаемое сигнала $s(t)$ в сумме (2).

Как следует из рис. 1, выбор параметров F и f_c отсчетной функции может производиться произвольно и независимо. Однако из практических соображений (с точки зрения технической реализации) удобно, если на интервале дискретизации Δt будет размещаться целое число периодов $T_c = \frac{1}{f_c}$. Интервал дискретизации определяется полосой частот передаваемых сообщений и кратностью расширения полосы при модуляции.

На информационный вход линейно-параметрического модулятора поступают отсчетные значения сообщения с интервалом $\Delta t_s = \frac{1}{2F_s}$ поочередно во входные регистры. На другой вход поступает несущее колебание или последовательность его отсчетных значений с

интервалом $\Delta t = \frac{\Delta t_s}{r}$, где r — кратность расширения

полосы частот при модуляции. С этим интервалом модулятор будет выдавать отсчетные значения модулированного колебания на вход блока формирования выходного сигнала. Следовательно, полоса частот F определяется следующим образом:

$$F = \frac{1}{\Delta t} = 2F_s r. \quad (5)$$

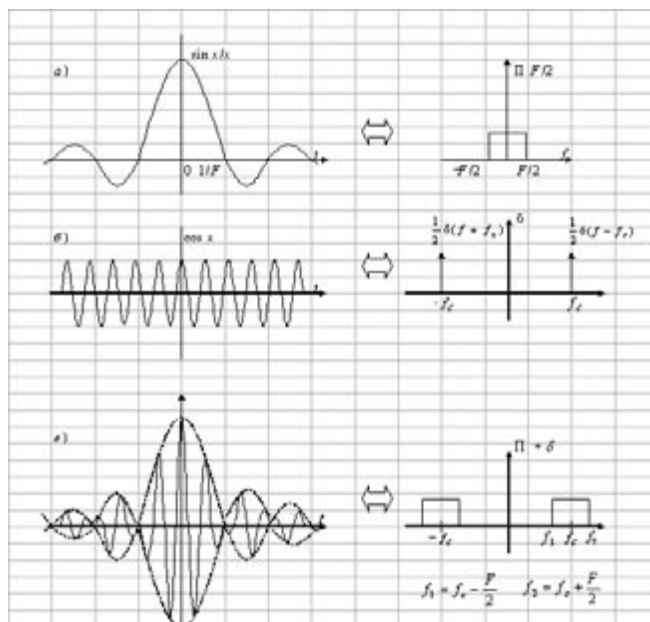


Рисунок 1 — Иллюстрация работы формирователя канальных сигналов

Если частоту f_c выбрать так, чтобы отношение $\frac{\Delta t}{T_c}$

было целым числом, равным K , тогда

$$f_c = 2F_s r K. \quad (6)$$

Например, $F_s = 5$ кГц, кратность расширения полосы $r = 5$ и $\Delta t = 10 T_c$. Тогда $f_c = 500$ кГц, $f_1 = f_c - \frac{F}{2} = 475$ кГц, $f_2 = f_c + \frac{F}{2} = 525$ кГц (см. рис. 1в). Формирование отсчетных функций требует использования функции $\frac{\sin x}{x}$, которая,

как известно, реально существовать не может из-за ее бесконечной продолжительности. Поэтому речь должна идти только об усеченной функции. Просто «оборвать» концы этой функции, т.е. посмотреть на нее, по классификации Макса [4], через естественное временное окно, — не лучший способ усечения. Естественное спектральное окно (Фурье-образ временного окна), с которым бу-

дет свертываться спектр функции $\frac{\sin x}{x}$, имеет на концах

большие выбросы, что приведет к возникновению коле-

баний на концах спектра функции $\frac{\sin x}{x}$.

Существует много других окон, которые в том или ином смысле выгоднее естественного окна [4]. В данном случае целесообразно использовать окно Тьюки



$$x(t) = \begin{cases} \frac{A}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi t}{\Theta}\right) & \text{для } |t| < \frac{\Theta}{2} \\ 0 & \text{для } |t| > \frac{\Theta}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

где Θ — ширина окна на оси времени;
 A — нормирующий множитель (может быть принят равным единице).

Окно Тьюки имеет достаточно плоскую вершину с нулевой производной в пиковой точке отсчетной функции, что необходимо для сохранения условия равенства нулю преобразования Гильберта в отсчетных точках.

Спектральное окно Тьюки имеет малые выбросы на концах. Отношение амплитуды первого положительно-го выброса к амплитуде центрального пика равно 0,0007. У естественного спектрального окна это отношение равно 0,0475. Поэтому спектр отсчетной функции, равный свертке спектрального окна Тьюки, со

спектром функции $\frac{\sin x}{x}$ будет мало отличаться от фун-

кции $\Pi_{F/2}(f)$, если выбрать Θ равным нескольким значениям Δt .

На рис. 2 показано усечение функции $\frac{\sin x}{x}$ с помо-

щью окна Тьюки для случая, когда $\Theta = 8\Delta t$. Из рисунка видно, что центральная часть функции практически не деформируется. Заметные плавные деформации появляются только на концах, где их вклад в общую энергию ничтожно мал.

Формирование отсчетных функций должно начинаться в моменты появления на выходе модулятора очередного отсчетного значения. В этот момент включается один из 8 каналов схемы формирования выходного сигнала (рис. 3). При этом обнуляется счетчик адреса Сч.А, на который поступает обнуляющий импульс через коммутатор Км с выхода счетчика Сч.К периодов средней частоты. Счетчик считает эти периоды до K , т. е. отмеряет интервалы дискретизации несущего колебания модулятора в соответствии с выбранным значением частоты f_c . Эти интервалы совпадают с интервалами выдачи отсчетных значений модулированного колебания.

С момента обнуления счетчик адресов начинает считать полупериоды частоты f_c . Всего адресов будет 16К плюс нулевой. По ним в памяти П хранятся константы, представляющие собой ординаты функции

(см. рис. 1в), подсчитанные через интервалы $\frac{1}{2FK}$ се-

кунд. Нулевому адресу соответствует ордината, равная нулю.

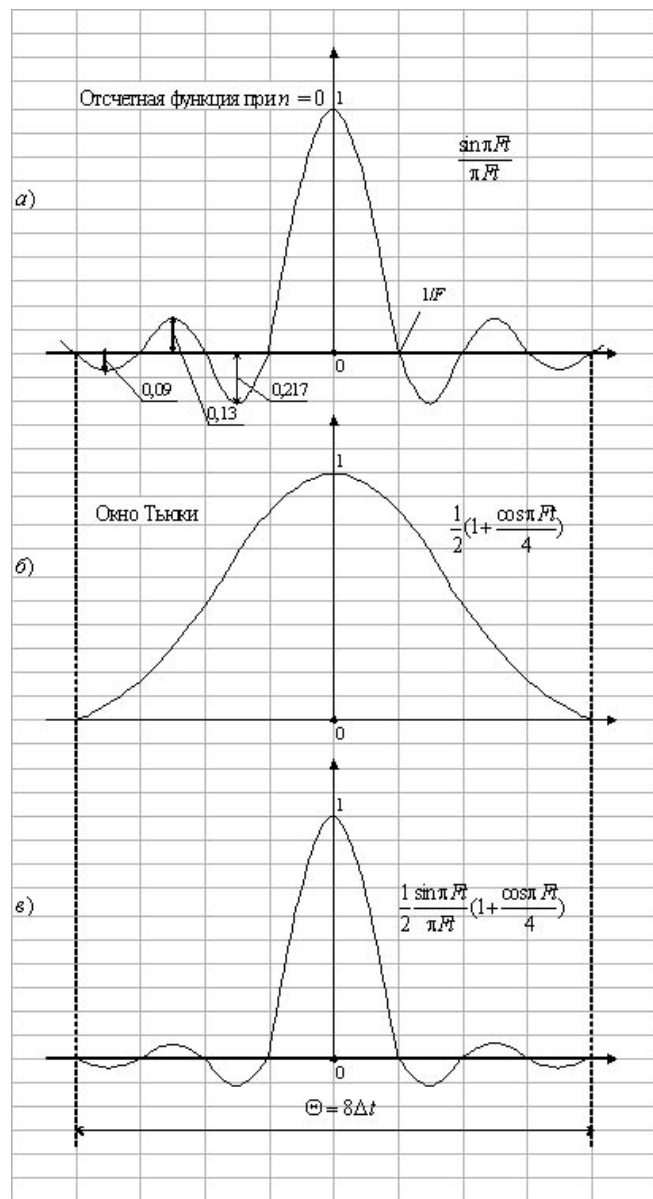


Рисунок 2 — Усечение отсчетной функции

Расположение этих ординат показано на рис. 4. Они представляют собой коэффициенты усиления для каждой полуволны частоты f_c . В соответствии с адресом, прибывающим в память со счетчика Сч.А в момент начала полуволны, на цифровой вход аналогоцифрового умножителя АЦУ1 из памяти поступает константа, определяющая коэффициент усиления той полуволны f_c , которая в этот же момент подается на аналоговый вход АЦУ1.

С выхода АЦУ1 сигнал поступает на взвешивающий усилитель АЦУ2, на цифровой вход которого через ключ Кл в момент обнуления Сч.А поступило отсчетное значение модулированного колебания с выхода модулятора.



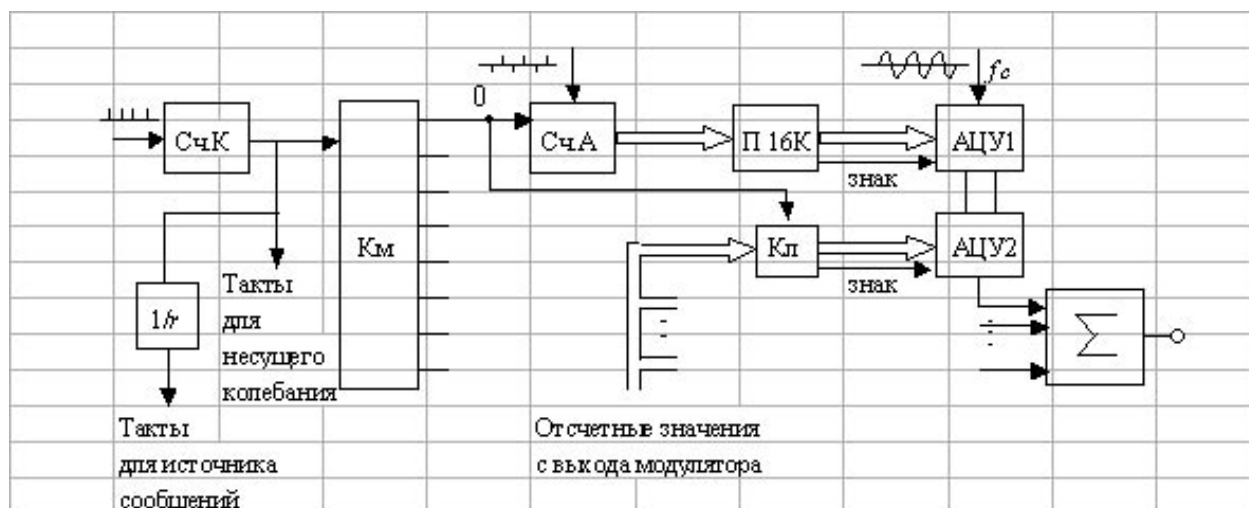


Рисунок 3 — Блок формирования каналных сигналов

Этим завершается формирование отсчетной функции для одного отсчетного значения модулированного колебания. Другое отсчетное значение поступит вместе с обнуляющим импульсом на вход второго канала формирования и т. д. Коммутатор Км поочередно запускает все 8 идентичных каналов формирования через K периодов частоты f_c . Выходы этих каналов объединены на общем суммирующем усилителе, с которого снимается выходной сигнал.

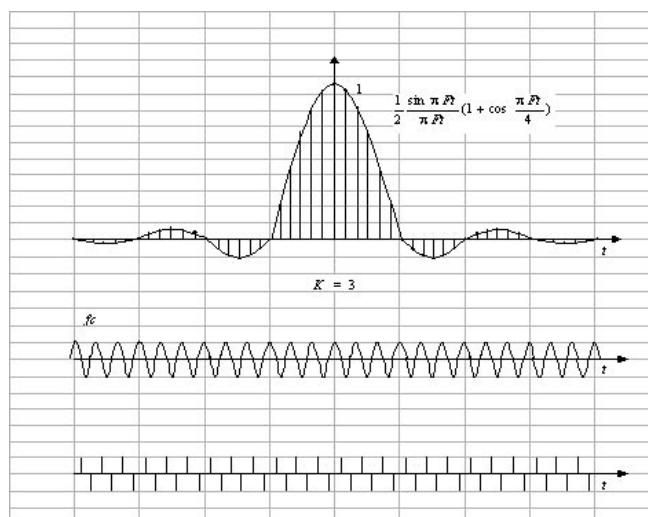


Рисунок 4 — Формирование отсчетной функции

Литература

1. Волинская А.В. Повышение надежности и помехоустойчивости информационных устройств систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. — 2008. — № 1. — С. 45-48.
2. Голдман С. Теория информации. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. — 446 с.
3. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи / Всесоюзный энергетический комитет. — Изд. Упр. связи РККА, 1933. — С. 16-28.
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / В 2-х т.; Пер. с франц. — М.: Мир, 1983. — Т. 1. — 312 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Принципы организации справочных систем зависят от задач и тех целей, которые могут быть реализованы при организации деятельности справочной службы. В работе операторских центров экстренных служб необходимо, чтобы все операторы находились в предответном состоянии и абоненты не совершали повторных попыток набора номера. В работе корпоративных центров обслуживания вызовов можно допускать повторные попытки, но при этом контролировать время, затрачиваемое абонентом на процесс набора номера и время нахождения в очереди при ожидании ответа оператора.

Организуя деятельность справочной службы железной дороги, следует учитывать ряд факторов, влияющих на пропускную способность системы, и выбирать оптимальную работу. В [1, 2] были рассмотрены особенности функционирования и установлена необходимость использования двухуровневого центра обслуживания вызовов, определены характеристики качества обслуживания абонентов, представляющие собой потери времени.

Потери времени в процессе установления соединения вызваны не только техническими операциями, но и повторными попытками. Повторные наборы абонента обусловлены отказами в соединении, возникающими по той или иной причине. Число попыток и, следовательно, потери времени абонентов практически полностью определяются вероятностью отказа или вероятностью потерь по вызовам. В двухуровневом центре обслуживания вызовов (ЦОВ) потери возникают по двум причинам: отсутствие свободных линий в очереди ожидания к операторам первого уровня ρ_U — потери, связанные с отсутствием свободных соединительных линий; ρ_k — потери, связанные с отсутствием мест для ожидания.

Общие потери по вызовам или вероятность отказа в общем случае равны [3]

$$\rho_{\text{в.общ}} = 1 - (1 - \rho_U)(1 - \rho_k). \quad (1)$$

С другой стороны, если абонент при получении отказа в соединении повторяет свои попытки с «настойчивостью», близкой к 1, т. е. вплоть до успеха, то общее число повторных попыток, которое ему потребуется сделать при каждом вызове, приближенно равно

$$\beta_i = \frac{\rho_{2i}}{1 - \rho_{2i}}. \quad (2)$$

Для оценки потерь времени, как это следует из выражения для β , необходимо знать вероятности потерь по каждой из причин. Согласно [4], потери по вызовам принимаются равными 0,002, но это справедливо и необходимо для ЦОВ оперативных служб. При анализе работы остальных ЦОВ выявлено, что потери достигают 0,7. Качество обслуживания при этом значительно снижается, что служит индикатором соответствия между интенсивностью потока сообщений и пучком линий, через который эта нагрузка проходит. Потери представляют собой функции:

$$\rho_U = E_U(y_{\text{нагрЦОВ}})_1; \quad (3)$$

$$\rho_U = E_k(y_{\text{нагрЦОВ}})_2, \quad (4)$$

которые рассчитываются по первой и второй формулам Эрланга соответственно. С учетом всего вышеизложенного получим зависимость:

$$U = \varphi(y_{\text{нагрЦОВ}}, \rho_U); \quad (5)$$

$$k = \varphi(y_{\text{нагрЦОВ}}, \rho_{(q>U)}), \quad (6)$$

где U — количество соединительных линий;

k — количество операторов второго уровня.

В течение некоторого периода времени поток сообщений от абонента на ЦОВ характеризуется интенсивностью нагрузки $y_{\text{нагрЦОВ}}$, общая нагрузка на ЦОВ за период времени при эксплуатации будет равна

$$Y = \int_{t1}^{t2} y(t) dt. \quad (7)$$

Число вызовов через линию будет составлять

$$C = 1/t \int_{t1}^{t2} y(t) dt. \quad (8)$$

Если учитывать реальные условия эксплуатации, то в этом случае нагрузка на линии, число вызовов через нее и общие потери времени у абонента будут значительно больше, чем при идеальных условиях. Число входящих вызовов к ЦОВ изменится, если коэффициент «настойчивости» у абонентов близок к 1. В этом случае число входящих вызов на ЦОВ будет равно

$$C = (\beta + 1) \int_{t1}^{t2} y(t) dt. \quad (9)$$

В реальных условиях интенсивность нагрузки изменяется, колебания представляют собой сочетание регулярных изменений интенсивности в течение рабочего дня и случайных изменений их амплитуды изо дня в день. Регулярные колебания обусловлены изменением работоспособности абонентов в течение дня, так как сопоставление функций изменения интенсивности $y(t)$ и работоспособности по часам дня показало, что они имеют очень много общего [4-6]. Колебания можно описать с помощью простой, но достаточно точной математической модели

$$\rho = \int_{t1}^{t2} \int_{y-\Delta y}^{y+\Delta y} y(t) p(y) dt dy. \quad (10)$$

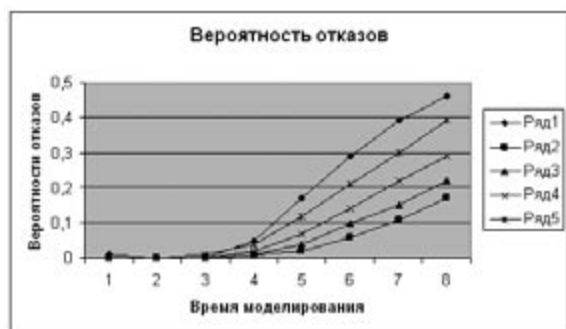


Рисунок 1 — Результаты моделирования двухуровневой модели справочной службы вокзала, при общем числе операторов 8: ряд 1 – 8 операторов первого уровня, 0 операторов второго уровня; ряд 2 – 7 операторов первого уровня, 1 оператор второго уровня; ряд 3 – 6 операторов первого уровня, 2 оператора второго уровня; ряд 4 – 5 операторов первого уровня, 3 оператора второго уровня; ряд 5 – 4 оператора первого уровня, 4 оператора второго уровня

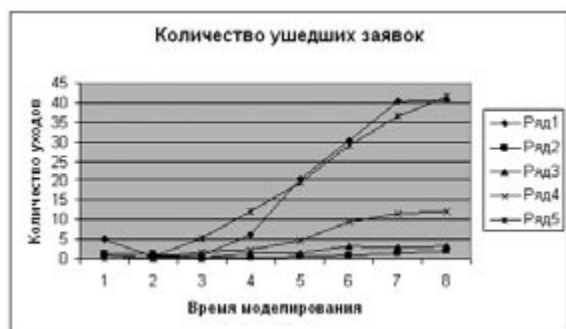


Рисунок 2 — Зависимости вероятности отказов при моделировании двухуровневой модели справочной службы вокзала (общее число операторов равно 8): ряд 1 – 8 операторов первого уровня, 0 операторов второго уровня; ряд 2 – 7 операторов первого уровня, 1 оператор второго уровня; ряд 3 – 6 операторов первого уровня, 2 оператора второго уровня; ряд 4 – 5 операторов первого уровня, 3 оператора второго уровня; ряд 5 – 4 оператора первого уровня, 4 оператора второго уровня

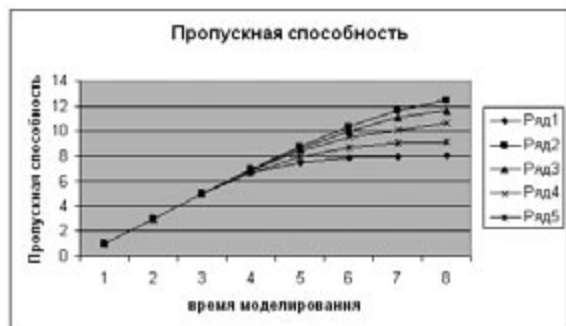


Рисунок 3 — Результаты моделирования пропускной способности двухуровневой модели справочной службы вокзала при общем числе операторов 8:

ряд 1 – 8 операторов первого уровня, 0 операторов второго уровня;
ряд 2 – 7 операторов первого уровня, 1 оператор второго уровня;
ряд 3 – 6 операторов первого уровня, 2 оператора второго уровня;
ряд 4 – 5 операторов первого уровня, 3 оператора второго уровня;
ряд 5 – 4 оператора первого уровня, 4 оператора второго уровня

С целью определения характеристик реального времени ожидания абонентом начала обслуживания была разработана математическая модель обслуживания абонентов при двухуровневом способе организации справочных служб железной дороги. На данную модель вводим ограничения: минимальное количество операторов — 1, максимальное — 20, минимальное время ожидания обслуживания по нашим исследованиям составляет 29 с, максимальное — 360 с.

Проведем исследование работы ЦОВ при различных вариантах соотношения числа операторов и процентного соотношения заявок первого и второго уровня.

На рис. 1-3 представлены зависимости, характеризующие качество функционирования ЦОВ от времени моделирования.

Рассматривалось и моделировалось 5 вариантов организации ЦОВ при разном количестве операторов 1 и 2 уровня (при общем количестве операторов 8).

Основные характеристики, по которым сравнивались особенности работы ЦОВ, — количество ушедших заявок из очереди, вероятность отказа, пропускная способность системы.

На основании результатов моделирования (см. рис. 1, 2), установлено, что при организации работы справочной службы вокзалов перевод одного оператора на второй уровень (ряд 2) для обслуживания «сложных заявок» уменьшает количество ушедших заявок и вероятность отказов. Когда число операторов первого и второго уровня одинаково, получаем зависимости и значения величин, подобные при организации одноуровневого ЦОВ.

На основании результатов моделирования (см. рис. 3) установлено, что при организации работы справочной службы вокзала перевод оператора на второй уровень (ряды 2-5) для обслуживания «сложных заявок» увеличивает пропускную способность системы в целом.

Литература

1. Богданова Е.С. Моделирование работы двухуровневой модели центров обслуживания вызовов // Транспорт Урала. — 2007. — № 2. — С. 75-78.
2. Неволин Д.Г., Богданова Е.С., Зайцев А.В. Методика построения модели центров обслуживания вызовов // Транспорт Урала. — 2006. — № 4. — С. 61-66.
3. Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета: Справочное пособие. — М.: Связь, 1979. — 344 с.
4. Гольдштейн Б.С., Зарубин А.А., Поташов А.И. Центры обработки вызовов для органов внутренних дел: Учеб. пособие. — СПб: СПбГУТ, 2005. — 46 с.
5. Котов А.В. Человеческие факторы в телефонии. — М.: Связь, 1980. — 80 с.
6. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телеграфика. — М.: Связь, 1979. — 224 с.

СМЕНА ПАРАДИГМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Ускоренное развитие оптических технологий связи в условиях лавинообразного роста объемов и кардинальных изменений в структуре трафика в последние 5 лет выявило необходимость коренных изменений в принципах построения и эксплуатации транспортных сетей связи. Встает вопрос, нужно ли продолжать модернизировать традиционные сети на основе SDH или строить параллельные IP-ориентированные сети с дальнейшим переносом на периферию всей SDH-инфраструктуры [1]. Дополнительное масло в огонь подлили научные и практические разработки последних лет в области технологий полностью оптических сетей (AON), которые позволяют перейти с электрической (O-E-O) коммутации на оптическую (O-O-O). А это, в свою очередь, добавит аргументов в пользу архитектуры IP over DWDM, минуя уровень SDH [2]. В статье представлен краткий обзор тенденций в строительстве транспортных сетей связи.

Современные транспортные сети связи должны иметь масштабируемую, гибкую и легкоуправляемую структуру. Они должны обеспечивать передачу и переключение громадных потоков разнородной информации, иметь глубокий уровень мониторинга, контроля качества и тарификацию в соответствии с действительным временем пользования связью и ее качеством, высокий уровень защиты и малое время резервирования, а также малое время задержки передаваемой информации.

Фундаментальные изменения в сетевую архитектуру вносят:

процесс увеличения объема передаваемого трафика; миграция услуг с TDM-каналов на IP; бурное развитие оптических технологий.

Среди недавних достижений оптических технологий самая заметная — волновое мультиплексирование (WDM). Эта технология оказала колоссальное влияние на архитектуру IP over SDH (рис. 1а), где для транспортировки IP-трафика через оптическую среду его пакеты инкапсулировались в модули STM-N, используя физический интерфейс технологии SDH. За счет уровня SDH IP-ориентированные сети приобретали функции мониторинга, управления сетью, а также доступ на оптический физический уровень. Помимо возможности увеличить пропускную способность оптических каналов связи в десятки и сотни раз уровень WDM (рис. 1б) дал легкость масштабирования транспортных сетей и, что самое главное, позволил выйти на оптическую среду передачи не только технологиям SDH, но и технологиям IP. Это связано с тем, что системы WDM работают только на физическом уровне, поэтому для них неважно, какие методы кодирования и формирования конкретного

цифрового сигнала использовались, так как физический уровень прозрачен для транспортной инфраструктуры по отношению к типу, формату и методам кодирования трафика, к протоколам и скоростям передачи. То есть через WDM можно с одинаковым успехом передавать и трафик SDH, и IP, и любой другой. С этого момента началась гонка за лидирующие позиции в архитектуре транспортных сетей. С одной стороны — архитектура IP поверх транспортного слоя SDH over WDM (рис. 1в), а с другой стороны — IP как часть транспортного слоя совместно с WDM, исключая слой SDH (рис. 1г). Однако IP-ориентированные сети не могут самостоятельно выйти на уровень WDM до тех пор, пока не решатся вопросы их полноценного мониторинга и администрирования, сопоставимого с уровнем SDH, а также ряд других факторов.

Практически полностью завоевав лидерство в локальных и городских сетях, технология Ethernet двинулась и в сторону транспортных сетей. Приобретая возможности администрирования и мониторинга IP-трафика, а также учитывая, что услуги мигрируют на IP, постоянно уменьшая долю TDM-сигналов, уже можно говорить о все возрастающем интересе к архитектуре IP over WDM.

До последних лет сети SDH успешно справлялись с растущими требованиями к полосе пропускания и предоставляемым сервисам, прозрачно поддерживая различные протоколы. Но достраивание схем SDH для увеличения емкости — дело сложное и дорогостоящее. Кроме того, постепенно сходят на нет главные преимущества SDH благодаря современному уровню развития оптического Ethernet. Ethernet удалось проникнуть в операторские сети за счет новых возможностей управления и таких дополнений, как эластичное пакетное

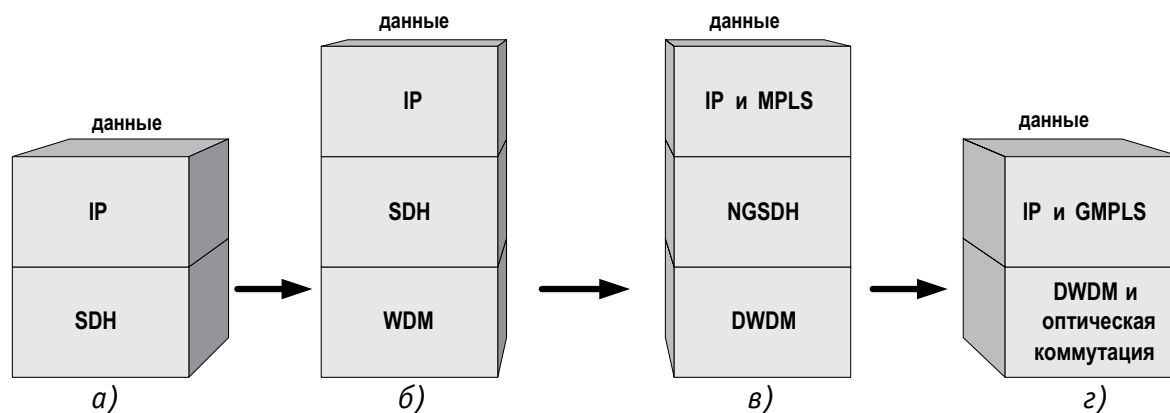


Рисунок 1 — Эволюция сетевой архитектуры транспортных сетей

кольцо (Resilient Packet Ring — RPR), формирование трафика (Traffic Engineering — TE) и функции обеспечения качества услуг многопротокольной коммутации меток (Multi-Protocol Label Switching — MPLS). Однако в ответ на это эволюционировало и SDH. Общая процедура формирования кадров (Generic Framing Procedure — GFP) и виртуальная конкатенация (Virtual Concatenation — VCAT) дополняют SDH пакетно ориентированными транспортными функциями. Таким образом, SDH нового поколения (Next-Generation SDH — NGS) предложила путь миграции с сохранением огромных инвестиций в эту технологию при растущем трафике пакетов (см. рис. 1в) [3].

В споре между SDH и IP решающую роль играют факторы, в настоящее время в полной мере присущие только технологии SDH:

гарантированное время восстановления не более 50 мс;

минимальное и предсказуемое время задержки прохождения сигналов по сети;

система встроенного мониторинга и контроля сети в режиме реального времени и возможности глубокого анализа качества.

По некоторым параметрам технологии уже сравнялись, а в большинстве случаев IP-сети выигрывают за счет своей гибкости. Приобретая возможности SDH, IP-технологии окончательно займут лидирующие позиции в архитектуре транспортных сетей [4].

Оставшиеся у SDH ключевые преимущества кроются в использовании метода коммутации каналов, благодаря которому возможно обеспечить минимальное и предсказуемое время задержки сигнала при прохождении по сети и гарантированное время восстановления не более 50 мс (обнаружение неисправности и переход на резерв) за счет выделения гарантированной полосы пропускания. IP-сети же пока не могут этим похвастаться, так как используют метод коммутации пакетов: время задержки сигнала при прохождении по сети непредсказуемо и зависит от множества фак-

торов, а время восстановления системы исчисляется секундами из-за долгой сходимости протоколов маршрутизации. Новые технологии, например MPLS, способны гарантировать время восстановления не более 50 мс за счет прописывания статических резервных маршрутов. Но чаще всего это возможно только при малой загруженности сети трафиком, а при большой загруженности сети зачастую не справляются с данными требованиями.

Несмотря на всю прогрессивность NG SDH, эта технология не станет препятствием фундаментальной тенденции перехода от коммутации каналов к коммутации пакетов. Уже сегодня для расширения пропускной полосы оптической транспортной сети выгоднее не модернизировать SDH-базу, а построить параллельную GE/10GE-сеть и перевести на нее трафик передачи данных. Этот путь позволит оптимизировать капитальные и операционные затраты операторов, а в будущем значительно расширить номенклатуру предоставляемых услуг. Но при этом SDH еще не скоро сойдет со сцены, а останется в эксплуатации и будет обеспечивать решение своих задач.

Кроме того, не в пользу SDH как транспортной среды для IP выступает кратность увеличения скорости, равная 4 ($STM-16 \times 4 = STM-64$, $STM-64 \times 4 = STM-256$). К примеру, технология Ethernet гораздо интенсивнее набирает скорость, имея кратность, равную 10 ($Eth \times 10 = FE$, $FE \times 10 = GE$, $GE \times 10 = 10GE$). И если раньше SDH мог агрегировать несколько потоков Ethernet, то в настоящее время скорости обеих технологий сравнялись ($STM-64 \approx 10GE$) и SDH уже выступает как технология-посредник, дающая лишь некоторые технические преимущества при передаче трафика без увеличения скорости потока. В дальнейшем при внедрении STM-256 (40G) и 100GE технология SDH окончательно потеряет статус транспортной «трубы». При этом использование SDH, скорее всего, будет постепенно перемещаться к сетевой периферии, тогда как в магистральных сетях нового положе-



ния все чаще будет использоваться DWDM совместно с IP. А пока Ethernet придется сосуществовать и конкурировать с решениями NG SDH.

Стоит отметить немаловажную проблему, с которой могут столкнуться операторы связи транспортного уровня: это смена знаний обслуживающего персонала, вызванная преобладанием пакетных сетей, для администрирования которых нужны совершенно новые знания, нежели знание технологии SDH.

Рост популярности DWDM в последнее время остро поставил проблему низкой производительности коммутационных устройств, вызванную многократными преобразованиями оптических сигналов в электрические (O-E-O), вследствие чего многие элементы транспортных сетей начали избавляться от O-E-O (яркий тому пример — появление полностью оптических усилителей). Но теперь, пожалуй, единственным проблемным элементом остается создание полностью оптического коммутатора (O-O-O), способного работать со световыми сигналами без преобразования в электрические.

В последнее время проводится ряд разработок в этой области. Результатами этих усилий стало создание оптических коммутаторов с применением MEMS-устройств (где используется массив подстраиваемых зеркал), множество разработок с использованием

FDL-резонатора (самое яркое применение которого нашлось в создании оптического буфера) и ряд других технологий. AON обладают новыми свойствами, важными для развития и качественного преобразования сетей связи. Эти свойства позволят IP-сетям заполучить ключевые возможности технологии SDH себе, тем самым захватив лидерство в транспортных сетях и став базой для будущих транспортных сетей. Все это говорит о том, что в перспективе нас ожидает новый виток перемен в сетевом строительстве транспортных сетей на основе IP и GMPLS/DWDM и O-O-O (см. рис. 1г).

Таким образом, по сути, конкуренция SDH и IP за лидерство в транспортных сетях зависит от того, какой способ передачи — коммутация каналов или коммутация пакетов — лучше приспособится для передачи современного трафика. А трафик между тем в условиях лавинообразного роста имеет устойчивую тенденцию перехода с TDM- на IP-услуги. И чем дальше, тем становится сложнее упаковывать IP-трафик в TDM-каналы сети SDH. Ряд компаний в последние 3 года уже приступили к строительству именно параллельных сетей на основе IP- и TDM-каналов. В будущем видится дальнейшее использование на магистральном уровне параллельных сетей с тенденцией увеличения доли IP-ориентированных сетей и сокращения доли TDM-каналов (т. е. SDH).

Литература

1. Мэддокс Дж. Стратегия развития оптических технологий в сетях связи нового поколения // *LightWave RE.* — 2007. — № 02.
2. Голышко А.В., Лескова Н.А. Оптическая коммутация блоков // *Сети и системы связи.* — 2001. — № 8.
3. Гасымов И. Перспективы использования технологии Ethernet в опорных сетях операторов связи // *Light Wave RE.* — 2006. — № 02.
4. Технологии создания магистральных сетей: современное состояние и перспективы // <http://www.info.indi.ru/articles.phtml>.



ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОТКАЗНОСТИ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ГРУЗОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА



Решение поставленной перед железнодорожным транспортом задачи по обеспечению потребности народного хозяйства в перевозках при условии обеспечения безопасности движения поездов, сохранности грузов и сокращения себестоимости перевозок неразрывно связано с ускорением научно-технического прогресса, внедрением новых технологий и технических средств. Поэтому важное значение приобретает повышение надежности узлов и деталей вагона, обеспечивающих безопасность движения поезда.

Один из таких узлов — автосцепное устройство, функция которого помимо сцепа вагонов заключается в поглощении продольно-динамической нагрузки поглощающим аппаратом. От надежной работы автосцепного устройства зависит исправность вагонов, их узлов и в конечном счете безопасность движения на железных дорогах сети. Поэтому важнейшее условие безотказной работы вагонов — своевременное выявление и ремонт неисправных поглощающих аппаратов в процессе эксплуатации и депоовского ремонта.

Для контроля технического состояния поглощающего аппарата в эксплуатации существует аппаратура диагностирования упряжного устройства (АДУ), разработанная в Уральском отделении ВНИИЖТ. Определение технического состояния упряжного устройства основано на измерении величины изношенной до металлического блеска нижней поверхности хвостовика автосцепки и нижней полосы тягового хомута. Для всех типов поглощающих аппаратов при неисправном состоянии упряжного устройства величина изношенной поверхности равна 73,5 мм.

Однако техническими средствами объективного контроля исправного состояния поглощающих аппаратов при депоовском ремонте до настоящего времени не существует. Традиционные органолептические методы, которыми пользуются слесари при ремонте поглощающих аппаратов, субъективны, зависят от профессиональных качеств и опыта обслуживающего персонала и недостаточно эффективны. В результате в эксплуатацию после депоовского ремонта попадают вагоны с неисправными поглощающими аппаратами, которые становятся причиной отказов ударно-тяговых приборов и других элементов конструкции вагона в пути следования, что приводит к задержкам поездов и угрожает безопасности движения. Неисправность поглощающего аппарата вызывает появление в конструкции вагона повышенных динамических усилий и увеличивает их повреждаемость. Повысить эффективность выявления неисправных поглощающих аппаратов возможно с использованием средств

технической диагностики, интенсивно развивавшейся в последнее время.

При плановых видах ремонта автосцепного устройства основополагающим документом в технологическом процессе является инструкция [1], согласно которой ремонт поглощающих аппаратов сводится к контролю геометрических параметров его узлов и деталей. Но в процессе эксплуатации в деталях поглощающего аппарата происходят изменения, влияющие на его силовую характеристику, даже если его геометрические параметры в соответствии с требованиями инструкции исправны. При этом дальнейшая эксплуатация вагона становится недопустимой. В ударно-тяговом приборе с неисправным поглощающим аппаратом образуются износы, дополнительные нерегламентированные зазоры, перемещения, которые, как следует из исследований профессора Б.Л. Карвацкого [2], в несколько раз увеличивают продольно-динамические усилия в поезде.

Анализ отказов грузовых вагонов в эксплуатации показывает, что из-за неисправности автосцепных устройств, в том числе поглощающих аппаратов, допускается большое число отцепов вагонов.

Данные о причинах поступления грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт из-за неисправностей автосцепного устройства приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из табл. 1, автосцепное устройство — наиболее надежный узел вагона, однако из-за его неисправности в текущий отцепочный ремонт за период 2000–2006 гг. поступило в среднем 5,2% отцепленных вагонов. Следует отметить, что начиная с 2002 г. доля отцепов в ремонт увеличилась с 4,6 до 5,4%, т. е. в 1,2 раза.

Количество отцепов вагонов по неисправностям упряжного устройства (тяговый хомут, поглощающий аппарат, упорная плита, клин тягового хомута, задний и передний упорные угольники) за последние 7 лет уменьшилось в 1,2 раза, а по неисправностям автосцепного устройства возросло почти на 10%. По неисправностям поглощающих аппаратов количество отка-



31

Апрель – Июнь

Таблица 1 — Распределение причин поступлений грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт по неисправностям сборочных узлов вагонов

Год	Количество вагонов													
	Всего		Колесные пары		Тележка		Автосцепное устройство		Автотормозное оборудование		Кузов		Рама	
	вагонов	%	вагонов	%	вагонов	%	вагонов	%	вагонов	%	вагонов	%	вагонов	%
2000	2 732 630	100,0	726 243	26,6	245 728	9,0	148 408	5,4	460 859	16,9	1 120 325	41,0	31 067	1,1
2001	2 845 491	100,0	665 382	23,4	294 129	10,3	140 895	4,9	423 575	14,9	1 291 189	45,4	30 321	1,1
2002	2 951 079	100,0	630 737	21,4	286 803	9,7	134 659	4,6	392 671	13,3	1 474 562	49,9	31 647	1,1
2003	2 729 447	100,0	587 265	21,5	277 039	10,2	139 475	5,1	378 224	13,9	1 310 066	47,9	37 378	1,4
2004	2 506 495	100,0	469 370	18,7	224 511	8,9	159 473	6,4	327 536	13,1	1 275 968	50,9	49 637	2,0
2005	2 088 700	100,0	455 606	21,8	207 032	9,9	100 273	4,8	274 879	13,2	992 489	47,5	58 421	2,8
2006	1 815 031	100,0	396 945	21,9	249 517	13,7	98 229	5,4	261 835	14,4	610 529	33,6	197 976	10,1
Всего	17668873	100,0	3 931 548	22,2	1 784 759	10,2	921 412	5,2	2 519 579	14,2	1 603 018	45,2	436 447	2,8

Таблица 2 — Количество поступлений вагонов в текущий отцепочный ремонт по неисправностям узлов и деталей автосцепного устройства на 1 000 вагонов рабочего парка $\omega(Q)$

Год	Автосцепное устройство		Упряжное устройство		Поглощающий аппарат		Тяговый хомут		Упорная плита	
	$\omega(Q)$	%	$\omega(Q)$	%	$\omega(Q)$	%	$\omega(Q)$	%	$\omega(Q)$	%
2000	319,8	100,0	126,3	39,5	44,1	13,8	7,0	2,2	4,1	1,3
2001	296,3	100,0	123,3	41,6	50,8	17,1	5,8	2,0	3,4	1,2
2002	270,5	100,0	124,0	45,8	54,3	20,1	4,8	1,8	3,5	1,3
2003	280,3	100,0	131,1	46,8	62,8	22,4	4,2	1,5	1,9	0,7
2004	319,5	100,0	117,1	36,7	55,1	17,2	3,3	1,0	1,6	0,5
2005	201,1	100,0	104,2	51,8	58,7	29,2	2,9	1,5	2,0	1,0
2006	191,7	100,0	89,9	46,9	59,0	30,8	2,5	1,3	2,9	1,5

зов вагонов выросло в 1,5 раза. Что касается отказов вагонов по таким неисправностям, как трещины и обрывы тягового хомута, за последние 6 лет произошло сокращение числа отказов. Очевидно, это объясняется совершенствованием конструкции указанных элементов упряжного устройства, например увеличением ширины полос тяговых хомутов.

Вместе с тем наблюдается рост отцепов вагонов по обрывам упорной плиты — с 2004 по 2006 г. почти в 2 раза.

Отсутствие средств технического диагностирования при плановых видах ремонта поглощающих аппаратов приводит к необходимости специального исследования диагностических признаков и выбора диагностических параметров для определения технического состояния поглощающих аппаратов.

Из множества диагностических параметров необходимо выбрать тот, который бы удовлетворял следующим основным требованиям: однозначности, информативности и доступности измерения.

Методика исследования основана на проведении теоретического анализа и натурных экспериментов по обнаружению неисправных поглощающих аппаратов грузовых вагонов.

По основным рабочим элементам и способу диссипации энергии поглощающие аппараты обычно подразделяют на пружинные, пружинно-фрикционные (фрикционные), резиновые (резинометаллические),

полимерные, эластомерные, гидравлические, а также комбинированные, включающие различные виды рабочих элементов (резинофрикционные, гидрофрикционные, гидрополимерные).

В настоящее время наибольшее применение на отечественном и зарубежном подвижном составе нашли фрикционные, гидрофрикционные, эластомерные, резинометаллические и гидрополимерные поглощающие аппараты.

Благодаря простоте конструкции, низкой стоимости изготовления пружинно-фрикционные поглощающие аппараты получили самое широкое распространение. При ударном сжатии основная часть воспринятой аппаратом энергии затрачивается на работу сил трения.

В настоящее время в России на грузовых вагонах различных лет постройки установлены 6-гранные фрикционные поглощающие аппараты Ш-1-ТМ, Ш-2-В, Ш-2-Т, Ш-6-Т04, пластинчатые поглощающие аппараты ПМК-110А, ПМК-110К-23, но наибольшая доля эксплуатируемых пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов, установленных на большинстве вагонов по перевозке неопасных грузов, приходится на аппараты типов Ш-1-ТМ и Ш-2-В. Поэтому научные исследования по выбору диагностического признака технического состояния поглощающих аппаратов при депо-вом ремонте ориентированы на аппараты этих типов.

В результате исследований были испытаны: 131 поглощающий аппарат типа Ш-1-ТМ (в том числе 71 —



в исправном состоянии) и 73 — типа Ш-2-В (48 — в исправном состоянии).

Каждый поглощающий аппарат тестировался на сжатие усилием 600 кН с последующим получением силовой характеристики на стенде для испытаний и ремонта поглощающих аппаратов грузового подвижного состава СПА-160, разработанном Уральским отделением ВНИИЖТ (рис. 1).

В результате были получены распределения плотностей вероятности технического состояния поглощающих аппаратов по следующим параметрам:

энергоемкости поглощающего аппарата E , кДж;
ходу поглощающего аппарата X при сжимающем усилии, мм;

приращению силы сжатия Fd при нулевом ходе $Xd=0$. Этот параметр отвечает за наличие ступенчатого износа на стенке корпуса поглощающего аппарата, Н;
жесткости поглощающего аппарата c , Н/м.

После анализа полученных распределений были выделены наиболее информативные — ход поглощающего аппарата Ш-1-ТМ и жесткость поглощающего аппарата Ш-2-В, представленные на рис. 2 и 3.

Для всех диагнозов D_i технического состояния поглощающих аппаратов, полученных в результате обследования, необходимо рассчитать диагностическую ценность реализации признака k_j , который получил значение k_{js} . Расчеты производятся по следующей формуле:

$$Z_{D_i}(k_{js}) = \log_2 \frac{P(D_i / k_{js})}{P(D_i)}, \quad (1)$$



Рисунок 1 — Стенд для ремонта и испытаний поглощающих аппаратов грузового подвижного состава СПА-160

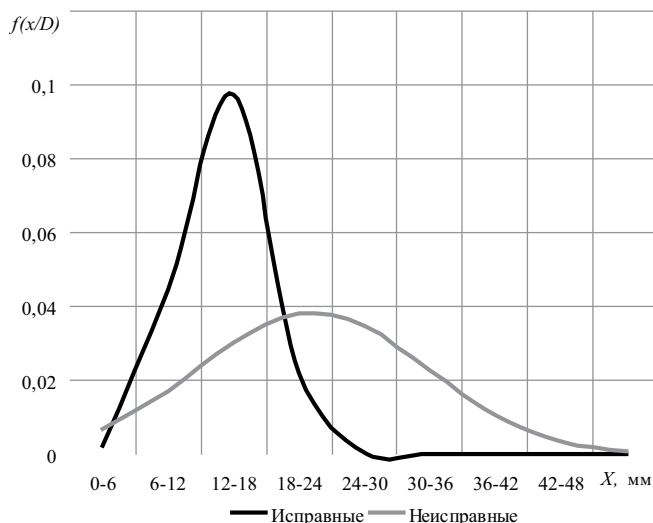


Рисунок 2 — Распределение плотностей вероятности хода X поглощающих аппаратов Ш-1-ТМ

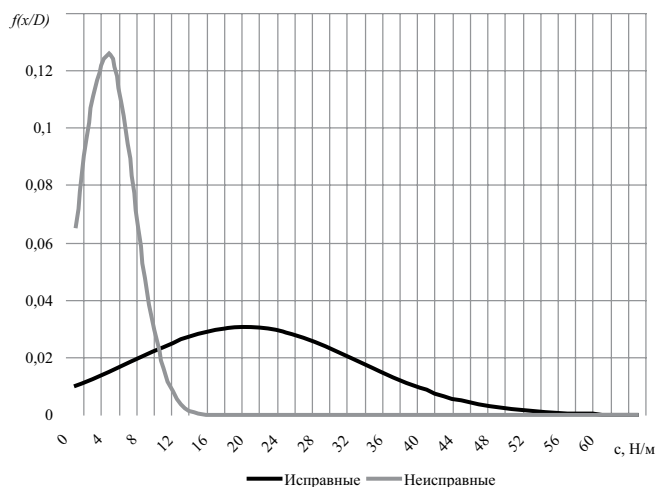


Рисунок 3 — Распределение плотностей вероятности жесткости c поглощающих аппаратов Ш-2-В

где $P(D_i / k_{js})$ — вероятность диагноза D_i при условии, что признак k_j получил значение k_{js} или находится в интервале s ;

$P(D_i)$ — априорная вероятность диагноза D_i , для Ш-1-ТМ $P(D_2) = 0,46$, для Ш-2-В $P(D_2) = 0,34$.

Расчеты по формуле (1) диагностической ценности для каждого диагноза D_i сведены в табл. 3, в которой имеются данные анализа обследования N_{ij} поглощающих аппаратов, причем первый индекс относится к диагнозу (1 — исправное состояние, 2 — дефект, 0 — все случаи), второй индекс относится к признаку (1 — наличие диагностического признака, 0 — все случаи).

По результатам расчетов диагностической ценности наибольшее значение у аппаратов Ш-1-ТМ принял диагностический признак — ход X ; у аппаратов Ш-2-В — жесткость c .





В методах статистических решений основным условием решающего правила принимается минимум риска. По условию минимального риска необходимо задаться значением λ — отношением плотностей вероятностей распределения x при двух состояниях объекта

$$\frac{f(x_0 / D_1)}{f(x_0 / D_2)} = \frac{C_{12}P_2}{C_{21}P_1} = \lambda, \quad (2)$$

где C_{21} и C_{12} — условные значения, оценивающие последствия пропуска дефекта и ложной тревоги.

В данном случае соотношение цены последствия пропуска дефекта и ложной тревоги равно 300. Тогда отношение правдоподобия λ для аппаратов Ш-2-В составит 154, при этом оптимальная величина жесткости аппаратов c для определения технического состояния равна 16 Н/м (см. рис. 3); для аппаратов Ш-1-ТМ — 253,5, при этом оптимальная величина хода аппарата x для определения технического состояния равна 14 мм (см. рис. 2).

Для полученных величин диагностических признаков рассчитываются вероятности ложной тревоги $P(H_{21})$ и пропуска дефекта $P(H_{12})$ по следующим формулам: для аппаратов Ш-2-В

$$P(H_{21}) = P(D_1) \cdot P(x \geq x_0 / D_1) = P_1 \int_1^{16} f(x / D_1) dx = 0,21; \quad (3)$$

$$P(H_{12}) = P(D_2) P(x \leq x_0 / D_2) = P_2 \int_{16}^{27} f(x / D_2) dx = 0,0001; \quad (4)$$

для аппаратов Ш-1-ТМ

$$P(H_{21}) = P(D_1) \cdot P(x \geq x_0 / D_1) = P_1 \int_{14}^{27} f(x / D_1) dx = 0,28; \quad (5)$$

$$P(H_{12}) = P(D_2) P(x \leq x_0 / D_2) = P_2 \int_1^{14} f(x / D_2) dx = 0,08, \quad (6)$$

где $P_1 = P(D_1)$ и $P_2 = P(D_2)$ — априорная вероятность диагноза D_1 и D_2 , принимается на базе статистических данных. Для Ш-2-В $P_1 = 0,66$, $P_2 = 0,34$, для Ш-1-ТМ $P_1 = 0,54$, $P_2 = 0,46$.

Таблица 3 — Диагностическая ценность диагнозов D_i технического состояния поглощающих аппаратов грузовых вагонов

Диагностический признак	N_{00}	N_{20}	N_{01}	N_{21}	$P(D_2/k_1)$	$Z_{D_2}(k_1)$
E_i Ш-1-ТМ	131	60	43	28	0,65	0,5
X_i Ш-1-ТМ	131	60	36	26	1,23	1,4
Fd при $Xd = 0$, Ш-1-ТМ	131	60	11	9	0,86	0,9
c , Ш-1-ТМ	131	60	106	50	0,47	0
E_i Ш-2-В	73	25	46	22	0,47	0,5
X_i Ш-2-В	73	25	18	9	0,49	0,5
Fd при $Xd = 0$, Ш-2-В	73	25	18	8	0,54	0,7
c , Ш-2-В	73	25	24	25	1	1,6

По расчетам были получены следующие значения вероятностей возможных ошибок при определении технического состояния поглощающих аппаратов:

жесткость поглощающих аппаратов Ш-2-В — вероятность ложной тревоги $P(H_{21}) = 0,21$; вероятность пропуска дефекта $P(H_{12}) = 0,0001$;

ход поглощающих аппаратов Ш-1-ТМ — вероятность ложной тревоги $P(H_{21}) = 0,28$; вероятность пропуска дефекта $P(H_{12}) = 0,08$.

Согласно полученным вероятностям возможных ошибок, диагностический признак, определяющий техническое состояние поглощающих аппаратов Ш-1-ТМ, недостаточно эффективен, так как вероятность пропуска дефекта равна 8%.

Таким образом, для определения исправного технического состояния пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов при деповском ремонте необходимо проводить их испытание на сжатие усилием от 600 до 800 кН с контролем таких параметров, как:

высота поглощающих аппаратов, которая, согласно требованиям инструкции [1], составляет 568^{+7} мм;

усилие начальной затяжки, которое, согласно требованиям ОСТа 32.175-2001 [3], составляет от 100 до 400 кН;

жесткость поглощающего аппарата Ш-2-В, величина которой должна быть не меньше 16 Н/м.

Литература

1. Инструкция по ремонту и обслуживанию автосцепного устройства подвижного состава железных дорог РФ / ЦВ-ВНИИЖТ-494. — 1997. — 58 с.
2. Карвацкий Б. Л., Казаринов В. М. Расчет и исследование автотормозов. — М.: Трансжелдориздат, 1961. — 231 с.
3. ОСТ 32.175-2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования. — 12 с.

ИЕРАРХИЧЕСКИ ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Вопросам совершенствования ходовых частей грузовых вагонов уделяется большое внимание. Однако в рамках неизменных организационных основ систем технического обслуживания и ремонта проектирование новых тележек долгое время было ограничено внесением в состоявшиеся конструкции, такие как ЦНИИ-ХЗ, Y25, Varber, мелких изменений, которые постепенно оттачивались методом проб и ошибок на протяжении практически 50 лет.

На современном этапе в условиях растущих объемов перевозок к конструкциям тележек предъявляются новые противоречивые требования: увеличение скоростей движения, повышение осевых нагрузок при одновременном снижении воздействия на путь, уменьшении износа колес и рельсов в кривых. Чтобы их удовлетворить, тележки грузовых вагонов должны иметь новые концептуальные схемы и проектироваться по новым принципам, поскольку для получения экономического эффекта конструкция должна быть удачной с первого раза.

Когда риск совершения дорогостоящей ошибки высок ввиду отсутствия необходимого опыта, его приходится создавать искусственно. Актуальной становится разработка методов выбора параметров и конструктивных решений подвешивания, позволяющих приобретать понимание закономерностей их связи с показателями ходовых качеств вагона на постепенно усложняющихся математических моделях и соответственно адаптировать процедуры поиска. В работе для этой цели предложен иерархически итерационный метод (ИИМ) исследования влияния на показатели ходовых качеств, выбора параметров силовых характеристик и конструктивных решений подвешивания тележек грузовых вагонов, основанный на введенной классификации математических моделей рельсовых экипажей по их назначению.

1. Классификация математических моделей движения грузовых вагонов и компонентов ходовых частей

Научными школами разработаны и эффективно используются модели движения вагона, различающиеся возможностями в решении задач — описанием движения по прямой или в криволинейных участках пути, выбором рациональных параметров узлов или их реализации и т. д. При этом большинство современных исследователей идут по пути максимального усложнения математических моделей, для получения результата могут требоваться сутки компьютерного времени, а сами результаты носят характер квазиэмпирических зависимостей показателей ходовых качеств

от параметров системы, аналогичных экспериментальным данным для натурального вагона, что в предельном случае приводит к непониманию физического смысла наблюдаемых при моделировании явлений.

Разработанная классификация математических моделей движения рельсовых экипажей в зависимости от их назначения (рис. 1) позволяет выбирать необходимый уровень сложности для решаемой задачи или использовать всю совокупность моделей, последовательно усложняя их, для выбора рациональных параметров подвешивания иерархически итерационным методом.

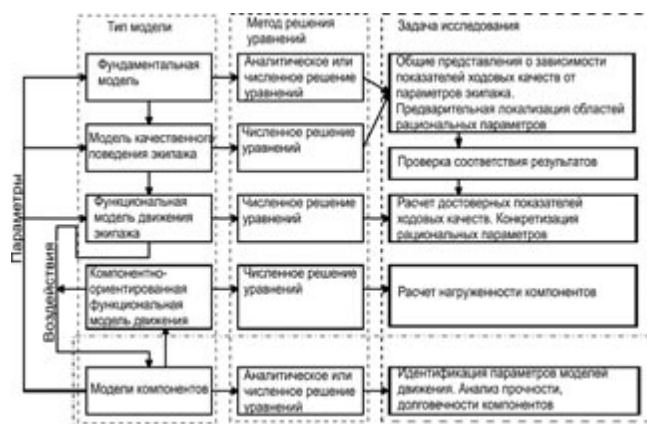


Рисунок 1 — Классификация математических моделей движения рельсового экипажа

В разработанной классификации использованы следующие термины.

Фундаментальная модель — модель движения экипажа или его частей, позволяющая получить представление о физическом смысле зависимости показателей ходовых качеств от силовых характеристик подвешивания через аналитические формулы или графики, что дает возможность в более сложных моделях проверить соответствие результатов общим представлениям, эффективно организовать последовательность выбора параметров, предварительно определить диапазоны поиска их рациональных значений.

Модель качественного поведения — модель движения вагона, позволяющая изучать устойчивость движения и колебания обрессоренных частей в зависимости от параметров силовых характеристик подвешивания, получать соответствующие качественные зависимости показателей ходовых качеств, что дает возможность проверить результаты, получаемые на функциональных моделях, выделить формы колебаний в пространственном движении вагона, предварительно определить рациональные диапазоны параметров.

Функциональная модель — модель движения вагона, позволяющая получать близкие к натурному эксперименту количественные зависимости показателей ходовых качеств и воздействия на путь от параметров подвешивания, что дает возможность сравнивать показатели с нормативами, уточнять диапазоны параметров, выбранные на качественной модели, или получать параметры, в ней отсутствовавшие.

Компонентно-ориентированная функциональная модель — функциональная модель движения вагона, описание одного или нескольких компонентов подвешивания в которой позволяет определять силовые и кинематические нагрузки на него в различных режимах движения.

Модели компонентов подвешивания дают возможность математически описать зависимость силовых характеристик, задающих их поведение в моделях движения вагона, от геометрических, фрикционных, упругих параметров конкретной конструктивной реализации или исследовать зависимость показателей прочности и долговечности от них под действием нагрузок, определенных в результате расчета или эксперимента.

Разработанная классификация математических моделей является иерархической. На первом уровне иерархии находятся модели, которые дают наиболее широкий диапазон рациональных параметров. Модели каждого следующего уровня позволяют выбирать новые (которых не было в моделях предыдущего уровня) или уточнять параметры, для которых на предыдущем уровне был выбран рациональный диапазон. Связь между различными уровнями обеспечивается передачей параметров подвешивания экипажа или полученных в результате моделирования кинематических и силовых воздействий.

2. Иерархически итерационный метод анализа динамического поведения, выбора параметров и конструктивных решений подвешивания тележек грузовых вагонов

Общая схема разработанного ИИМ выбора параметров и конструктивных решений подвешивания тележек приведена на рис. 2.

На первом уровне фундаментальных моделей предложено установить общие закономерности влияния силовых характеристик подвешивания экипажа на показатели его ходовых качеств и использовать их для



Рисунок 2 — Общая схема ИИМ

обоснования последовательности выбора параметров на следующих уровнях. Уровни 2, 3, 4 организованы иерархически таким образом, что каждый более высокий позволяет выбирать новые параметры (которых не было в моделях предыдущего уровня) или уточнять параметры, для которых на предыдущем уровне выбран рациональный диапазон. Связь между уровнями обеспечена передачей параметров подвешивания или полученных в результате моделирования кинематических и силовых нагрузок. Если на каком-либо из уровней 2, 3, 4 установлена невозможность выбора рациональных параметров, в рамках метода организована итерация с возвратом к уровню фундаментальных моделей для выявления причин, задания нового базового диапазона параметров и пересмотра последовательности их выбора на следующих уровнях.

3. Пример применения ИИМ к выбору параметров и конструктивных решений подвешивания в трехэлементной тележке

В качестве примера применения ИИМ рассмотрена предварительно выбранная конструктивная схема трехэлементной тележки для осевой нагрузки 25 т и конструкционной скорости 120 км/ч, отличающаяся упругими связями боковых рам с колесными парами и центральным подвешиванием с фрикционным клиновым гасителем колебаний пространственной конфигурации [1-3].

3.1. Обоснование последовательности выбора и базовых диапазонов параметров подвешивания

Для разработки фундаментальной модели тележки использован подход, разработанный А. Викенсом и Г. Шеффелем, в котором рассматривались две колесные пары, соединенные условной изгибной и сдвиговой жесткостью [4, 5].

Исследованы формы колебаний извилистого движения [3, 6], позволившие вывести аналитические зависимости обобщенной сдвиговой и изгибной жесткости тележки от параметров подвешивания в плане (рис. 3),



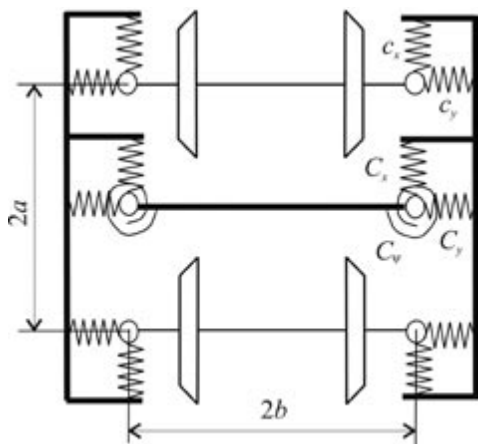


Рисунок 3 — Схема подвешивания трехэлементной тележки в плане

$$K_s = \frac{1}{2a^2} \frac{b^2 K_x K_\psi}{K_\psi + b^2 K_x}; \quad (1)$$

$$K_b = 2c_x b^2, \quad (2)$$

где $K_x = \frac{2C_x c_x}{2c_x + C_x}$, $K_\psi = \frac{2a^2 c_\psi C_\psi}{2a^2 c_\psi + C_\psi}$ — приведенная про-

дольная и угловая жесткость тележки;

c_x, c_y — продольная и поперечная жесткость первой ступени подвешивания;

C_x, C_ψ — продольная и угловая жесткость второй ступени подвешивания;

$2b$ — расстояние между осями подвешивания;

$2a$ — база тележки.

Полученные многовариантными расчетами зависимости критической скорости и фактора износа колес в кривой от изгибной и сдвиговой жесткости (рис. 4, 5) позволили рекомендовать исходные диапазоны и последовательность ИИМ выбора параметров подвешивания трехэлементной тележки:

для снижения износа колес изгибная жесткость выбирается из диапазона 3-10 МН м/рад, чему соответствует продольная жесткость первой ступени подвешивания 1,5-5,0 МН/м, которая подлежит уточнению на функциональной модели движения вагона в кривой;

сдвиговая жесткость выбирается превышающей 0,5 МН/м, чему соответствует поперечная жесткость 1,2-4,0 МН/м для первой ступени подвешивания, угловая жесткость 1,5-3,0 МН м/рад для центрального подвешивания. Эти параметры и соответствующие нелинейные характеристики должны уточняться на линеаризованных и нелинейных моделях движения вагона из условия достаточности критической скорости; так как изгибная и сдвиговая жесткость не зависят от поперечной жесткости центрального подвешивания, ее выбор на функциональной модели определяется обеспечением нормативных показателей ходовых качеств.

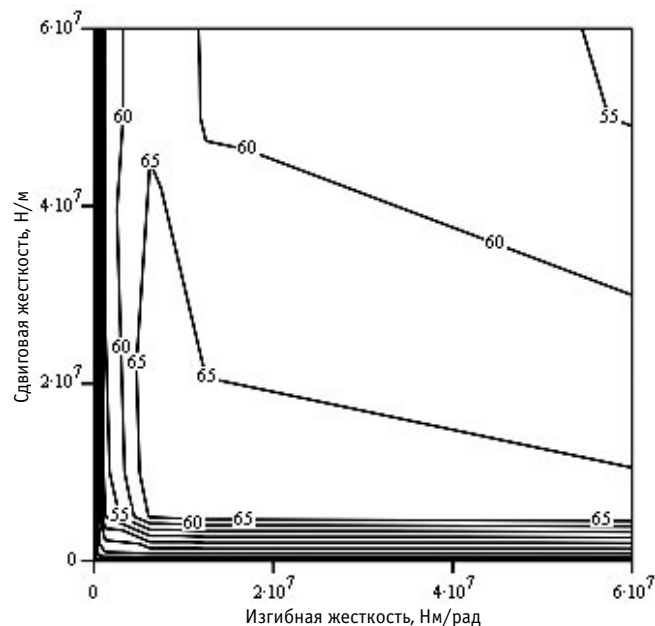


Рисунок 4 — Критическая скорость (м/с) как функция изгибной и сдвиговой жесткости

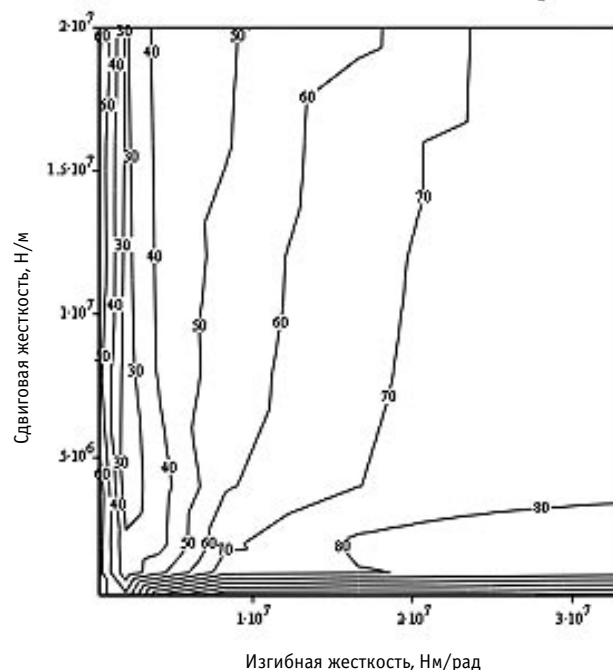


Рисунок 5 — Суммарный по колесам экипажа фактор износа (H) при движении в кривой

3.2. Определение диапазонов параметров подвешивания, обеспечивающих устойчивость движения вагона

Для исследования устойчивости движения разработана линеаризованная модель качественного поведения вагона [7].

Полученные многовариантными расчетами [8] зависимости критической скорости позволили выбрать



рациональные диапазоны параметров: продольная жесткость упругой связи колесной пары и боковой рамы не менее 2,5 МН/м, центрального подвешивания — не менее 1,8 МН/м для порожнего и 3,0 МН/м для груженого вагона, угловая жесткость не менее 2,0 МН м/рад. Подтверждено отсутствие влияния поперечной жесткости второй ступени подвешивания на критическую скорость.

3.3. Уточнение параметров подвешивания по условиям соответствия показателей ходовых качеств вагона нормативам

В функциональной модели движения вагона учтены нелинейное описание контакта колеса и рельса, фрикционное взаимодействие клиньев с боковыми рамами и надрессорными балками, нелинейные упругие характеристики центрального подвешивания в вертикальном направлении и в плане, фрикционное взаимодействие кузова вагона с надрессорной балкой через боковые скользуны и плоский подпятник, ограничители упругих перемещений в ступенях подвешивания [7]. Сравнение зависимостей показателей ходовых качеств от параметров подвешивания с нормативами позволило получить их рациональные диапазоны [8]:

поперечная жесткость первой ступени подвешивания не более 3,0 МН/м (по критерию коэффициента запаса устойчивости от схода с рельсов порожнего вагона и поперечного ускорения груженого вагона);

поперечная жесткость второй ступени подвешивания не более 4 МН/м под груженым вагоном и не более 2,5 МН/м под порожним (по критерию поперечного ускорения груженого и порожнего вагона);

продольная жесткость первой ступени подвешивания не более 5,0 МН/м (по критерию фактора износа и угла набегания колесных пар на рельс).

3.4. Выбор конструкции упругой связи колесной пары с боковой рамой

Рассматривается конструкция подвешивания (рис. 6), в которой в качестве упругих элементов применяются полимерно-металлические шевронные амортизаторы.

Рессорный комплект состоит из двух одинаковых амортизаторов, расположенных симметрично по обеим сторонам буксы. Полимерные пластины разделены внутренними металлическими листами, установленными параллельно внешним армировочным листам. Промежуточные листы обеспечивают повышение жесткости амортизатора на сжатие и равномерную передачу сил на полимерный слой, препятствуя возникновению местных напряжений, ограничивая деформации сжатия и сдвига, таким образом повышая долговечность амортизатора.

Для расчета жесткости шевронных амортизаторов использована компонентная модель, подробно описанная в [6, 9, 10]. Для реализации рациональной

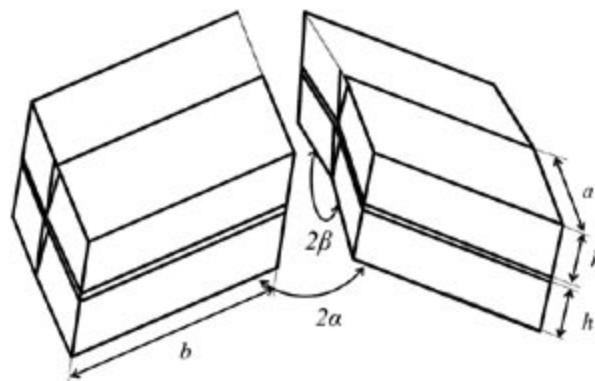


Рисунок 6 — Расчетная схема пары шевронных амортизаторов

жесткости выбрана пара амортизаторов, параметры которых представлены в табл. 1.

Величины продольной, поперечной и вертикальной жесткости пары амортизаторов соответственно составили 5,0 МН/м, 1,9 МН/м, 16,5 МН/м, что лежит в рациональном диапазоне ближе к его верхней границе.

3.5. Выбор конфигурации фрикционных клиньев

Для выявления влияния жесткости накладок и геометрии клина на характеристику сопротивления тележки забеганию боковых рам в предположении, что поворот надрессорной балки относительно боковой рамы на угол ψ осуществляется за счет опрокидывания клина вокруг вертикального ребра (рис. 7), обеспечиваемого деформацией накладок на наклонной поверхности и подклиновых пружин, получена аналитическая зависимость [11, 12]

$$F_x = \begin{cases} \left[2Tq_0 + (C_\psi + 4cq_0^2)\psi^* \right] / b, & 5A:8 \quad \psi \leq \psi^* \\ \left[2Tq_0 + (C_\psi + 4cq_0^2)\psi^* + \left[(C_\psi + 2c_2q_0^2tg^2\alpha)\psi \right] \right] / b, & 5A:8 \quad \psi > \psi^* \end{cases} \quad (3)$$

Таблица 1 — Параметры пары шевронных амортизаторов, реализующие рациональное сочетание жесткости

Параметр	Обозначение	Значение
Стандартный модуль упругости полимера, МПа	E	7,6
Коэффициент Пуассона	μ	0,49
Количество слоев полимера		2
Толщина слоя полимера, мм	h	30
Толщина армирующих пластин, мм		5
Угол установки амортизаторов в продольном направлении, °	2α	120
Угол установки амортизаторов в поперечном направлении, °	2β	180
Ширина амортизатора, мм	a	90
Длина амортизатора, мм	b	122



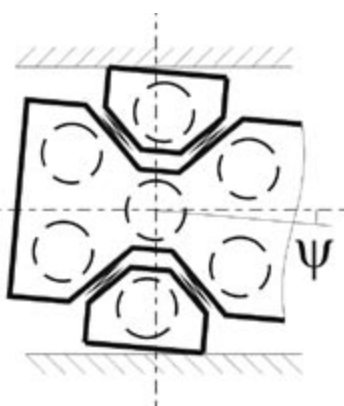


Рисунок 7 — Перемещение клиньев в плане при повороте надрессорной балки

где T — сила на вертикальной поверхности клина от статической нагрузки;
 $2q_0$ — ширина вертикальной поверхности клина;
 c — жесткость накладки на сжатие;
 c_z — вертикальная жесткость пружины под клином;
 C_ψ — угловая жесткость комплекта пружин;
 $2b$ — расстояние между осями подвешивания;
 α — угол между наклонной поверхностью клина и горизонталью;

$$\psi^* = \frac{f_T T + f_N N \sin \alpha}{2c q_0 (f_T - f_N \sin^2 \alpha)} \quad \text{— точка перелома характе-}$$

ристики по условию, что вертикальная компонента силы на наклонных поверхностях становится больше силы трения на вертикальной поверхности;
 N — нормальная реакция на наклонной поверхности клина;
 f_T, f_N — коэффициент трения между клином и фрикционной планкой, клином и карманом надрессорной балки.

Анализ выражения (3) показал, что сопротивление забеганию боковых рам в тележке возрастает в 7,5 раза при увеличении f_N от 0 до 0,25; в 1,8 раза при изменении угла клина от 45 до 55°; в 2,25 раза при росте ширины вертикальной поверхности от 120 до 280 мм.

Для задания геометрии клина исследована нагруженность накладок в режимах движения в кривой [11, 13, 14]. Из квазистатического решения задачи равновесия в предположении податливости наклонных поверхностей получены выражения величины n и положения L_p действующей на них силы:

при приложении продольной силы F_x к надрессорной балке

$$n = \frac{F_x (1 - f_N \cdot \operatorname{tg} \alpha) + 2P (\operatorname{tg} \alpha + f_N)}{4 \sin \beta \sin \alpha (1 + f_N^2)} \quad (4)$$

$$L_p = -\frac{P}{N} b + \cos \alpha \times \left((1 + f_T \cdot \operatorname{tg} \alpha) \frac{H}{2} + (1 - f_T \cdot \operatorname{tg} \alpha) a^* - (\operatorname{tg} \alpha + f_T) c^* \right);$$

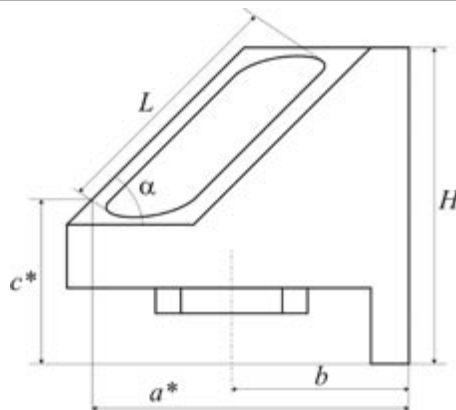


Рисунок 8 — Геометрические размеры клина

при забегании боковых рам

$$n = c_{M2} q_0 \sin \beta \sin \alpha \psi^*, \quad (5)$$

$$L_p = (L/2),$$

где P — реакция в пружине под клином;
 β — угол между наклонными поверхностями клина;
 $c_{эжв}$ — жесткость накладки при приложении нагрузки в продольном направлении;
 остальные обозначения см. в формуле (3) и на рис. 8.

Геометрии клина, обеспечивающей наибольшую долговечность накладок, соответствует угол наклона к горизонтали 55°, угол между наклонными поверхностями не менее 120°, длина выступающей вниз от опорной поверхности пружин вертикальной стенки не более 10 мм.

4. Подтверждение преимуществ выбранных параметров подвешивания и достоверности разработанных моделей по результатам ходовых динамических испытаний вагона и стендовых испытаний конструкций

Ходовыми динамическими испытаниями [15-17] подтверждены преимущества тележек с выбранными силовыми характеристиками и конструктивной реализацией перед традиционной тележкой модели 18-100 (рис. 9):

повышение безопасности движения — коэффициент запаса устойчивости от схода с рельсов для груженого вагона увеличился в 1,5 раза; вероятность схода с рельсов порожнего вагона снизилась почти в 3 раза;

снижение нагруженности боковой рамы — коэффициент вертикальной динамики уменьшился в 1,5 раза; рамная сила — в 1,5-2,0 раза;

снижение воздействия вагона на путь — динамические силы, действующие от колеса на рельс, снизились в 1,5-3,0 раза.

Сопоставление результатов расчета показателей ходовых качеств на функциональной модели с испытаниями подтвердило ее достоверность: максимальное расхождение по рамной силе не более 11%, по коэффициенту вертикальной динамики не более 12%.

Экспериментально показано, что выбранные ИИМ полимерно-металлические амортизаторы упругой связи колесных пар с боковыми рамами реализуют рациональные силовые характеристики и обладают достаточной прочностью и долговечностью [9, 10, 13, 18]:

по результатам стендовых испытаний определены упругие характеристики, попавшие в рациональный диапазон, максимальное отклонение которых от расчетных не превысило 13%;

при ходовых испытаниях измерены относительные перемещения между адаптером и боковой рамой и определены эквивалентные амплитуды деформации: 3% в вертикальном и 8% в горизонтальном направлении;

разработана методика и проведены усталостные испытания, по результатам которых установлены пределы выносливости и показатели степени в уравнении кривой усталости в деформациях (18% и 4 в горизонтальном направлении; 7% и 3 в вертикальном);

по результатам ресурсных испытаний пробег амортизаторов в эксплуатации до появления повреждений составил 652 тыс. км, что превышает планируемый пробег между депоовскими ремонтами 500 тыс. км.

Для обеспечения рациональных силовых характеристик центрального подвешивания, прочности и долговечности фрикционных клиньев выполнена их расчетно-экспериментальная отработка [11-13]:

по результатам стендовых испытаний определена характеристика сопротивления тележки забеганию боковых рам (рис. 10), отклонение которой от расчетной не превысило 15%, и выявлена необходимость повышения сопротивления забеганию под порожним вагоном и жесткости накладок;

по результатам подъема вагона определен коэффициент относительного трения для новых и изношенных клиньев, отклонение которого от расчетного не превысило 15%, и выявлена необходимость для его повышения изготавливать клин из чугуна и увеличить его угол наклона к горизонтали до 55°;

при пробеговых испытаниях получены повреждения в верхней части накладок от действия сжимающих нагрузок, что совпало с результатами оценки распределения давления по наклонной поверхности на модели и показало необходимость изменения материала и формы накладок;

экспериментальные угол поворота надрессорной балки относительно боковой рамы и продольная сила, действующая в подвешивании, использованы для определения размаха деформации в верхней части накладки (12,8% для материала твердостью 65 ShA, 8,2% для твердости 90 ShA);

по результатам ресурсных испытаний выбраны материалы, обеспечивающие пробег между ремонтами 500 тыс. км.

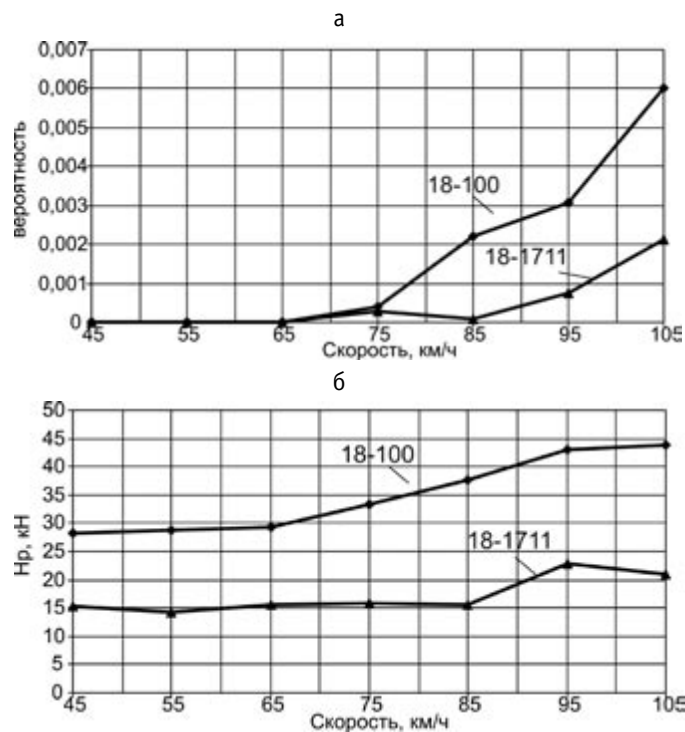


Рисунок 9 — Сравнение: (а) вероятности, что коэффициент запаса устойчивости от схода с рельсов порожнего вагона меньше 1,3; (б) рамной силы в груженом вагоне

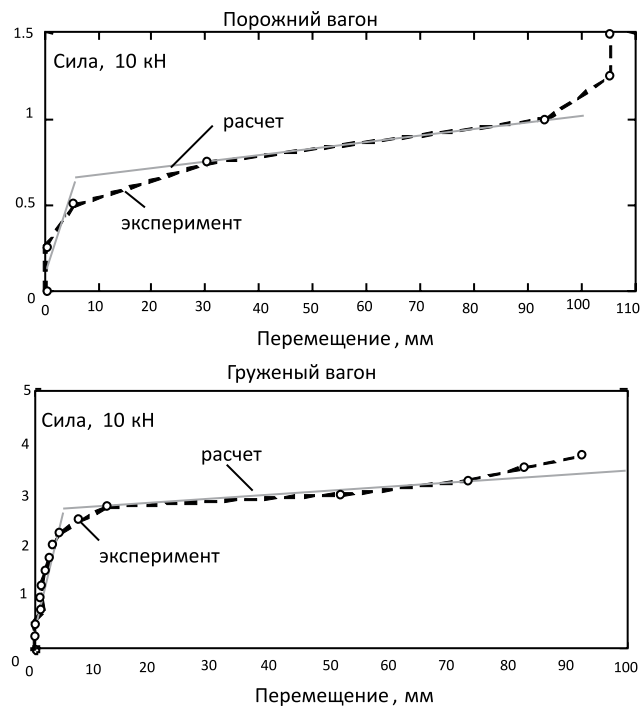


Рисунок 10 — Характеристика сопротивления подвешивания тележки забеганию боковых рам





Литература

1. Тележка двухосная для грузовых вагонов / В.А. Волков, А.Д. Чепурной, В.М. Бубнов, Е.К. Тусиков и др. // Патент № 2 275 308 от 22.06.04.
2. Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А. Двухосная тележка грузового вагона с упругой связью колесной пары и боковой рамы // Патент на полезную модель № 60 908 от 22.11.06.
3. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // *Vehicle System Dynamics*. — 2006. — Vol. 44. — P. 402-414.
4. Wickens A.H. *Fundamentals of rail vehicle dynamics: guidance and stability* // ISBN 90-265-1946-X. — Swetz & Zeitlinger Publishers, 2003. — 282 p.
5. Orlova A., Boronenko Yu., Scheffel H., Fröling R., Kik W. Tuning von Güterwagendrehgestellen durch Radsatzkopplungen // *ZEVrail Glasers Annalen* — 126 Tagungsband SFT Graz 2002. — P 270-282.
6. Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А. Проектирование ходовых частей вагонов. Ч. 1. Проектирование рессорного подвешивания двухосных тележек грузовых вагонов: Учеб. пособие. — СПб: ПГУПС, 2003. — 74 с.
7. Лесничий В.С., Орлова А.М. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA: Учеб. пособие. — СПб: ПГУПС, 2002. — 35 с.
8. Рудакова Е.А. Выбор основных параметров ходовых частей грузовых вагонов с использованием моделей движения различной степени сложности // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. — 2004. — Вип. 5. — С. 175-182.
9. Экспериментально-теоретические исследования надежности полиуретановых упругих элементов в соединении «букса — рама» тележек грузовых вагонов / Ю.П. Бороненко, А.М. Орлова, Е.А. Рудакова, С.Г. Васильев, Г.В. Аношин // *Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: Труды VI междунар. науч.-техн. конф.* — СПб: ПГУПС, 2004. — С. 71-77.
10. Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Васильев С.Г., Державец Ю. и др. Полиуретановые элементы буксового подвешивания тележек грузовых вагонов // *Подвижной состав 21 века: идеи, требования, проекты: Сб. науч. статей.* — СПб: ПГУПС, 2003. — С. 39-45.
11. Orlova A., Romen Yu. Refining the wedge friction damper of three-piece freight bogies // *Proc. of 20th international symposium: Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*. — Berkeley, 2007. — P. 60-61.
12. Orlova A. Identification of parameters for spatial wedge system implemented in freight bogie design // *Abst. of 10th mini conf. on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies*. — Budapest: BUTE, 2006. — P. 30-31.
13. Orlova A., Rudakova E., Artamonov E. Determining loading conditions and predicting service life of three-piece bogie suspension parts // *Extended abstracts of 7th international conf. on Railway Bogies and Running Gears*. — Budapest: BUTE, 2007. — P. 40-42.
14. Орлова А.М., Рудакова Е.А., Артамонов Е.И. Исследование нагруженности контактных поверхностей фрикционных клиньев // *Подвижной состав 21 века: идеи, требования, проекты: Тез. докл. V междунар. науч.-техн. конф.* — СПб: ПГУПС, 2007. — С.116-118.
15. Бубнов В.М., Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А. Новая тележка для грузовых вагонов // *Железные дороги мира*. — 2005. — № 7. — С. 45-48.
16. Бороненко Ю.П., Орлова А.М. Обобщение накопленного опыта проектирования тележек грузовых вагонов для создания их типоразмерного ряда // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. — 2004. — Вип. 5. — С. 25-30.
17. Бубнов В.М., Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А. Результаты ходовых динамических испытаний вагона на опытных тележках модели 18-1711 изготовления ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения» // *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тез. 65 междунар. науч.-практ. конф.* — Д.: ДНУЖТ, 2005. — С. 30-31.
18. Орлова А.М., Рудакова Е.А. Усталостные испытания амортизаторов буксового подвешивания тележек грузовых вагонов // *Подвижной состав 21 века: идеи, требования, проекты: Сб. науч. статей.* — СПб: ПГУПС, 2007. — С. 77-81.

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ ДЕФЕКТОВ И ПРИЗНАКОВ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ИНВЕРТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В процессе эксплуатации локомотива под действием многочисленных деградиационных факторов и их сочетаний в выпрямительно-инверторных преобразователях электровозов переменного тока развиваются различные дефекты и неисправности, влияющие на их техническое состояние. Надежное функционирование ВИП и, следовательно, электровозов во многом зависит от проведения качественного ремонта в локомотивном депо.

Послеремонтная диагностика ВИП на основе технических средств диагностирования — особо значимый элемент в контроле технического состояния преобразователей. Поскольку она представляет собой последнее звено общей технологической цепи ремонта, то ее основная цель — исключить случаи выдачи в эксплуатацию ВИП с невыявленными дефектами, а также обеспечить объективную оценку качества работ по техническому обслуживанию и ремонту преобразователей.

В настоящее время в локомотивных депо средства послеремонтной диагностики ВИП представлены в большом разнообразии, но все они предназначены для определения технического состояния отдельных блоков и элементов ВИП. При их использовании не учитывается то, что исправное состояние отдельных элементов преобразователя еще не означает его исправности в целом. Недостатки ремонта преобразователя выявляются уже в процессе проведения его испытания на локомотиве под контактным проводом. Поэтому, чтобы осуществить качественный ремонт, необходим функциональный контроль для проверки взаимодействия элементов ВИП между собой, позволяющий наблюдать работу всего преобразователя как единого объекта диагностирования либо совместную работу нескольких блоков.

Выпрямительно-инверторный преобразователь — сложная система, включающая в себя ряд отдельных узлов и элементов, взаимодействующих в процессе работы. Как и любой другой объект диагностирования, ВИП может находиться в различных технических состояниях, определяемых состоянием отдельных его элементов. Для разработки комплексной информационной системы диагностики ВИП необходимо иметь полную информацию о его техническом состоянии, причинах и последствиях повреждений входящих в него узлов и элементов, с тем чтобы предусмотреть профилактические меры для их обнаружения и устранения. Кроме того, следует проанализировать и учесть все возможные виды технического состояния преобразователя как объ-

екта диагностирования, а также исследовать условия отказов и повреждений и выявить их характерные признаки.

В тех случаях, когда объект диагноза не имеет явно выраженных функциональных блоков или когда он должен диагностироваться в неразобранном состоянии, построение его модели может вызвать ряд практических неудобств. Например, неизвестны все точные зависимости между параметрами объекта, а известно лишь, что один параметр как-то влияет на другой либо зависит от другого. Эти влияния и зависимости можно согласовать с понятием причинно-следственных связей [1], которое также охватывает и строгие формальные зависимости между параметрами, событиями и явлениями.

Все свойства преобразователя, как и любого объекта вообще, определяются свойствами его структуры, которая выражается в совокупности его элементов и связей, существующих между этими элементами. Следовательно, свойства структуры ВИП определяются свойствами его элементов и свойствами межэлементных связей. В свою очередь, свойства элементов и связей характеризуются их параметрами и характеристиками, которые не являются постоянными величинами. Они изменяются в процессе эксплуатации под действием многочисленных факторов и их сочетаний, в числе которых наиболее важными являются следующие:

климатические — температура окружающего воздуха (минимальная, максимальная, средняя рабочая, перепад и его скорость, цикличность, тепловой удар), влажность (снег, иней, дождь, степень влажности атмосферы), давление (максимальное, минимальное, перепад и его скорость);

электромагнитные — ток и напряжение (род, величина, форма, длительность, частота, гармонический состав, крутизна фронтов);

механические — вибрации (частота, длительность, амплитуда, постоянство или изменение характера воздействия), удары (ускорение, периодичность, изменение ускорения), загрязнения.

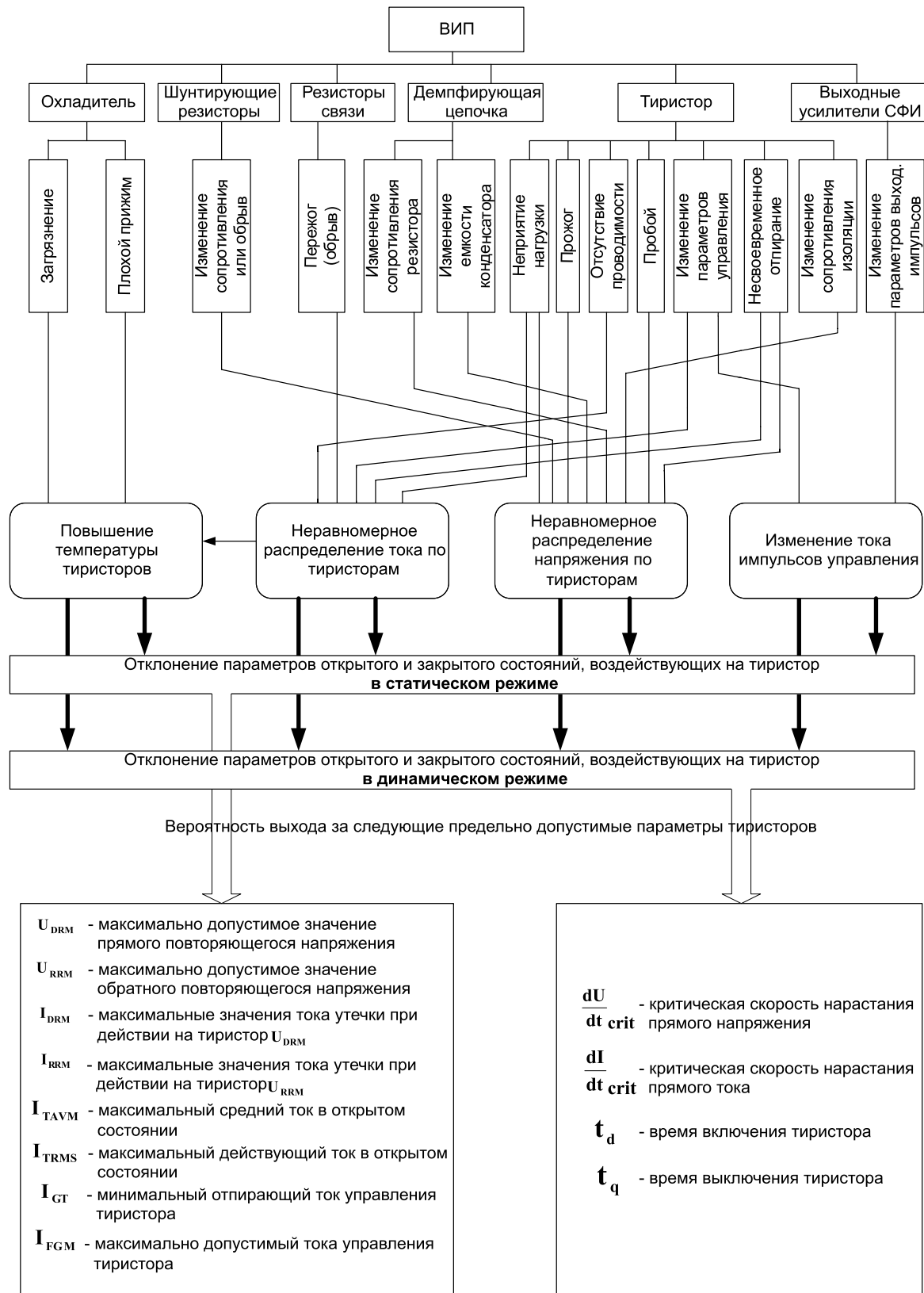


Рисунок 1 — Схема причинно-следственных связей дефектов ВИП и признаков их проявления



Все эти факторы и их сочетания обуславливают специфику работы выпрямительно-инверторного преобразователя.

Описывая ВИП совокупностью диагностических параметров, целесообразно представить его графом или схемой причинно-следственных связей. Это позволит в общем виде установить наличие и вид взаимосвязей между параметрами элементов множеств структурных, функциональных и технических состояний ВИП. Множество состояний при этом определяется рассматриваемыми дефектами его деталей и узлов.

Для определения параметров тиристоров, подлежащих первоочередному контролю, построена схема (рис. 1) причинно-следственных связей между наиболее часто встречающимися дефектами ВИП, их влиянием на параметры функционирования ВИП, признаками их проявления и параметрами тиристоров, которые могут лимитировать надежность ВИП. Схема построена исходя из анализа конструкции и повреждаемости ВИП, анализа физических процессов, происходящих в тиристоре при его включении и выключении. Учитывались также и особенности схемно-технического построения плеч ВИП. Схема представлена в пяти уровнях.

1. На первом уровне схемы расположены основные элементы конструкции преобразователя. К ним отнесены тиристоры, шунтирующие резисторы, демпфирующие RC-цепочки, резисторы связи, охладители тиристоров и выходные усилители системы формирования импульсов (СФИ) тока управления тиристорами.

2. Элементами второго уровня являются возможные дефекты, возникающие в рассматриваемых конструктивных составляющих преобразователя. Причинами их появления могут быть несоответствие реальных нагрузок ВИП расчетным значениям, низкое качество технического обслуживания ВИП, изменение свойств элементов конструкции в результате их старения и ряд других.

Из всех представленных элементов второго уровня прежде всего рассмотрим дефекты, относящиеся к тиристорам [2]. Особое внимание к ним связано с тем, что они являются основными конструктивными элементами и несут базовую функциональную нагрузку в надежной и бесперебойной работе ВИП. К важнейшим дефектам тиристоров, нарушающим работу преобразователя, можно отнести следующие:

- 1) несвоевременное отпирание;
- 2) пробой;
- 3) прожог;
- 4) непринятие нагрузки;
- 5) обрыв силовой цепи;
- 6) изменение параметров управления;
- 7) изменение сопротивления изоляции.

К несвоевременному отпиранию тиристоров приводят помехи, превышение напряжения, тока или температуры, а также скорости их изменения в области, где отсутствуют сигналы управления.

Пробой тиристора вызывают повышенное напряжение либо недопустимая скорость его нарастания.

К прожогу приводит ток выше допустимого или высокая скорость его нарастания.

Непринятие нагрузки возможно, если, например, ток и напряжение силовой цепи станут меньше значений, соответствующих включению; произойдет обрыв цепи управления или силовой цепи; параметры импульсов управления станут меньше допустимых.

Обрыв силовой цепи тиристора, исключающий возможность прохождения через него тока, возможен по причине дефектов заводской сборки или прожога.

Изменения параметров управления могут быть обусловлены влиянием температуры (перегрев под действием силового тока, недостаточный отвод тепла от охладителя и др.).

Изменение сопротивления изоляции может быть связано с большим загрязнением корпуса тиристора, влиянием перепадов температуры, увлажнением от вентилирующего тиристоры воздуха.

Из всех этих дефектов наиболее часто встречается одиночный пробой тиристора в любом плече, который сопровождается полной потерей свойств вентиля (т. е. двухсторонняя проводимость, когда ток проходит в обоих направлениях). Это приводит к повышению напряжения на других последовательно включенных тиристорах ВИП и увеличению протекающего по плечу тока. При этом увеличивается вероятность пробоя следующего вентиля.

Наиболее тяжелым для преобразователя является сквозное повреждение плеча. Данное повреждение может возникнуть в случаях постепенного возникновения перегрузок ветвей, оставшихся в работе. При этом возникает короткое замыкание всей вторичной обмотки или ее некоторой части (в зависимости от зоны регулирования в момент короткого замыкания) в течение одного полупериода напряжения сети. В результате теряется вентиляционная прочность плеча и возникает большой аварийный ток, протекающий по всем последовательно соединенным тиристорам одного или нескольких параллельных ветвей данного плеча.

Другим наиболее значимым видом повреждения вентиля является обрыв силовой цепи, исключающий возможность прохождения прямого тока. Такое повреждение опасно для вентиля параллельных цепей плеча, поскольку приводит к перегрузке их током.

Загрязнения и плохой прижим охладителя к тиристорам приводят к их повышенному нагреву. Пе-





регрев тиристора и охладителя, частые колебания температуры, вызывающие ухудшение теплоотдачи в контакте тиристор — охладитель, ведут к ускоренному тепловому старению электронных приборов, что проявляется нарушением их характеристик. Недоброкачественное выполнение соприкасающихся поверхностей, обеспечивающих теплоотвод и электрический контакт, — одна из причин высокого процента отказов ВИП в начале эксплуатации после ремонта. Согласно статистическим данным, большая часть отказов приходится на теплое время года, когда ухудшаются условия теплоотдачи от кремниевой структуры. Повышенный нагрев возникает, если внутреннее тепловое сопротивление выше нормируемого, температура охлаждающего воздуха выше номинальной или скорость охлаждающего воздуха ниже минимальной.

К отказам вентиля может привести выход из строя резисторных делителей напряжения в схеме датчика пробоя вентиля (элемент схемы защиты ВИП от пробоя вентиля) и RC-цепочек (схема защиты ВИП от коммутационных перенапряжений).

Повреждение резисторов связи в виде их перегоревания возникает прежде всего при нарушении деления тока в ветвях плеч. Это происходит при определенном сочетании включившихся ветвей в смежных плечах ВИП. Также повреждение резисторов связи возникает при пробое или открытии с задержкой тиристором разных ветвей в различных рядах одного и того же плеча. В то же время сгорание резистора связи может нарушить цепь управления тиристора, расположенного на одной панели с ним, и привести к тому, что данная ветвь плеча вообще не примет нагрузку.

Отказы выходных усилителей СФИ, вызывающие снятие импульсов со всего плеча ВИП, чаще всего не представляют опасности для тиристором. Они приводят, как правило, к закрытию этого плеча и уменьшению нагрузки ВИП. Однако при повреждении элементов сразу в двух плечах отказы СФИ могут служить причиной сквозного повреждения плеча преобразователя. Отказы, вызывающие снятие импульсов управления с одного из рядов в отдельных плечах ВИП, могут приводить к переключению тиристором по аноду и их повреждению. Изменение параметров выходных импульсов в виде снижения длительности импульсов управления может вызвать нарушение параллельной работы тиристором. Этот отказ возникает в результате неисправности цепи обратной связи в каскаде предварительного каскада (ПК), трансформатора в ПК и большого трансформатора в блоке импульсных трансформаторов (БИТ) при недостаточных для открытия тиристором потенциальных условиях.

3. Элементами третьего уровня схемы являются отклонения основных параметров, которые харак-

теризуют режим функционирования тиристором ВИП. Такие отклонения параметров представлены неравномерным распределением напряжения на отдельных последовательно включенных тиристором, неравномерным распределением тока по параллельным ветвям тиристором, повышением температуры тиристором и изменением тока импульсов управления.

4. Четвертый уровень схемы составляют интегральные проявления принятых к рассмотрению дефектов и изменяющие условия работы тиристором ВИП. Выделены две разновидности проявлений.

К первой из них относятся те изменения условий работы тиристором, которые наиболее значимы при статических нагрузках ВИП. Неравномерное распределение прямых и обратных напряжений между последовательно включенными тиристором, находящимися в запортом состоянии, приводит к тому, что на некоторых из них реальное значение напряжения может приблизиться к максимально допустимому. Подобная ситуация возникает и в случае с неравномерным распределением токов параллельных ветвей. При этом токи некоторых тиристором ВИП могут также приближаться к максимально допустимым величинам, установленным технической документацией на используемые тиристоры. Повышение температуры отдельных тиристором может достигать предельных значений. Изменение параметров импульсов управления тиристором как в сторону увеличения, так и в сторону снижения служит причиной возрастания рассеиваемой в вентилях мощности и дополнительного повышения температуры. Кроме того, уменьшение токов управления способно привести к невозможности включения отдельных тиристором ВИП.

Вторая разновидность проявлений дефектов отражает их влияние на условия работы тиристором в динамическом режиме, когда происходят резкие изменения токов тиристором и напряжений на них. Неравномерное распределение напряжений между тиристором влияет не только на различие в абсолютных значениях напряжений тиристором, но и на различие в скоростях изменений этих напряжений. Подобная ситуация возникает и при неравномерном распределении тока между параллельно включенными тиристором — происходит изменение в скоростях нарастания прямых токов тиристором. Изменение температуры нагрева отдельных тиристором оказывает влияние на ряд их динамических параметров, например на время включения и время выключения. Несоответствие параметров импульсов тока управления также ведет к изменению времени включения и выключения отдельных тиристором.

5. На последнем, пятом, уровне рассматриваемой схемы размещены те нормированные параметры ти-





ристоров, в отношении которых появляется вероятность того, что реальные условия работы тиристорных преобразователей могут превышать их предельно допустимые значения. Поэтому при организации системы технического диагностирования параметры тиристорных преобразователей, включенные в качестве элементов пятого уровня, должны подвергаться первоочередному контролю.

Выводы

1. Разрозненность и неавтоматизированность технических средств диагностирования силового электронного оборудования, существующих на данный момент в локомотивных депо, затрудняет построение на их основе единой информационной диагностической системы, которая могла бы выдать полную информацию о состоянии ВИП после осуществления ремонта.

2. Использование современных компьютерных технологий помогает разработать систему послеремонтной диагностики, позволяющую осуществить комплексную проверку ВИП с выдачей полной и достоверной информации о состоянии преобразователя. Одним из этапов построения данной системы является составление диагностической модели ВИП и моделей его неисправных состояний, а также определение диагностических параметров, подлежащих контролю.

3. Для выявления диагностических параметров преобразователя, подлежащих первоочередному контролю, предлагается составить схему причинно-следственных связей дефектов ВИП. Она позволит установить наличие и вид взаимосвязей между наиболее частыми дефектами, возникающими в ВИП, признаками проявления этих дефектов и параметрами элементов — тиристорных преобразователей.

Литература

1. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. Ч. 1. — М.: Энергия, 1976. — 464 с.
2. Бузмакова Л.В. Анализ надежности тиристорных преобразователей электровозов переменного тока / Л.В. Бузмакова, В.С. Власьевский // Инновационные технологии — транспорту и промышленности: Труды 45-й междунар. науч.-практ. конф. ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки, 7-9 ноября 2007 г.; Под ред. Ю.А. Давыдова. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. — Т. 2. — 244 с.



ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АСУ СТАНЦИИ



Расчет прогноза и плана поездобразования — задача не новая для сети железных дорог. В 1960-1970-е гг. ее пытались решать на станциях как автономно (на основе макетов, заполняемых вручную и передаваемых в ВЦ дорог), так и в составе АСУ сортировочных станций. Это дало положительные результаты в ускорении отправления поездов со станций, улучшении использования поездных локомотивов и локомотивных бригад. Однако и в настоящее время имеются не только успехи, но и нерешенные проблемы. На сети железных дорог России интенсивно развиваются две большие системы, в рамках которых решается задача планирования поездобразования на сортировочных станциях. Это АСУ станций разработки НТЦ «Транссистемотехника» и ООО «ЦИТ ТРАНС М». В статье будет рассказано о теоретических аспектах подхода и практических результатах, достигнутых в вопросе планирования поездобразования коллективом кафедры «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС под руководством лауреата Государственной премии доктора технических наук, профессора П.А. Козлова [1], которые нашли применение в АСУ станции разработки ООО «ЦИТ ТРАНС М».

Новейшие информационные технологии позволяют вывести решение рассматриваемой задачи на качественно иной уровень. Во-первых, возможности современных программно-технических комплексов, протоколов связи и систем управления базами данных помогают автоматизировать получение оперативной информации из смежных систем, значительно расширить число учитываемых факторов. Во-вторых, средства проектирования клиентских приложений с графическими интерфейсами позволяют построить диалоговую систему расчета, в которой диспетчер может управлять вычислительным процессом с учетом своей интуиции и опыта, знания реальных, а не формальных взаимосвязей процессов станционной и поездной работы. В-третьих, сегодня уровень развития имитационных моделей дает возможность, учитывая детерминированно-стохастическую природу перевозочного процесса и применяя частично-формализованные знания, с высокой степенью достоверности оценивать выполнимость рассчитанного плана.

Наряду с развитыми информационными технологиями, полезность использования автоматизированного расчета напрямую зависит от правильно выбранного метода расчета. Анализ существующих разработок показал, что системы моделирования станций, альтернативные предлагаемой разработке, имеют многочисленные недостатки с точки зрения отображения важных характеристик технологии работы станции и ее технической структуры. Упрощенный подход использует преимущества современных информационных технологий, перечисленные выше, но в моделировании работы станции ограничивается суммированием

временных нормативов операций в технологических цепочках. Межоперационные простои, вызванные пересечением маршрутов в горловинах парков станций, занятостью сортировочной горки, маневровых локомотивов, бригад технического и коммерческого осмотра, в обработке других составов не учитываются. Эти недостатки особенно критичны в период интенсивного подвода поездов к сортировочной станции или в период затруднений в работе прилегающих к станции участков.

В автоматизированной системе прогнозирования поездобразования, разработанной на кафедре УЭР УрГУПС, используется имитационная система транспорта «ИСТРА». Ее применение позволяет существенно повысить точность расчета составообразования, ибо в этой системе адекватно отображается влияние технической структуры (схемы путевого развития, наличия и специализации маневровых локомотивов, бригад осмотра и т. д.) на технологию работы. В модели учитывается все многообразие передвижений в горловинах и на путях с учетом враждебности маршрутов и их посекционного размыкания. Время технологических операций определяется по законам распределения, параметры которых получены на основании обработки статистики. В модели отображено диспетчерское управление работой станции. Все это позволяет максимально приблизить условия расчета к реальным условиям протекания станционных процессов.

Отображение структуры станции в имитационной системе «ИСТРА»

Техническая структура моделируемого объекта (в данном случае — сортировочной станции) в имита-





ционной системе «ИСТРА» представляется при помощи элементов. По своим свойствам они подразделяются на числовые $q_i \in X^u$ и логические $e_j \in X^l$; $X^u \cap X^l = \emptyset$. Числовые элементы используются для отображения устройств, имеющих свойства бункера (или емкости), например путей определенной вместимости, грузовых фронтов и т. п. В дальнейшем будем называть такие элементы «бункерными». Они характеризуются предельной вместимостью B и текущей емкостью $0 \leq q_i(t) \leq B$ в любой момент времени. Логические элементы могут принимать только два состояния — «занято» и «свободно»: $s_j(t) \in \{0, 1\}$, где 0 — свободно; 1 — занято. С их помощью отображаются соединительные пути, стрелки, локомотивы, бригады осмотра и т. п. Логические элементы включают в себя подмножества базисных, промежуточных и параллельных элементов. Для станции базисные элементы отображают участки путевого развития, на которых может происходить стоянка, остановка подвижного состава (пути, участки путей и т. д.). Промежуточными являются элементы, на которых остановка невозможна (например, стрелочные изолированные секции). Параллельные элементы моделируют устройства, которые занимают одновременно во времени с базисными или промежуточными элементами (маневровые локомотивы, бригады осмотра и пр.).

Содержательно элементы имитационной системы делятся на технологические, информационные и управляющие. Технологические отображают реальные устройства. Информационные имитируют представление реальных устройств в памяти диспетчера (в общем случае — в памяти лица, принимающего решения на некотором иерархическом уровне).

Технология работы станции в имитационной системе описывается набором операций. Под операцией понимается законченная часть технологического процесса, например прием поезда, расформирование и т. д. В имитационной системе операция формально определяется таким образом, чтобы она максимально соответствовала существующему содержательному значению. Это позволяет без сложных преобразований достаточно легко и полно моделировать транспортные процессы.

В модели операция представляет собой набор записанных в определенной последовательности действий над элементами, участвующими в выполнении части технологического процесса, с указанием параметров их работы.

По характеру моделируемых процессов все операции модели условно можно разделить на три группы: технологические, информационные и управляющие.

Технологические операции имитируют передвижения по станции и, как следствие, продвижение какого-либо потока в пространстве и времени. Примерами таких операций могут служить перестановка состава

из одного парка станции в другой, подача вагонов на грузовой фронт, заезд или уборка локомотива и т. д. К технологическим также относятся и те операции, которые не содержат в себе маршрутов, а моделируют изменение состояния потока во времени. Таковыми, например, являются операции осмотра состава в парке бригадой ПТО, обработка передачи на грузовом фронте и др.

Передвижения в модели имитируются при помощи маршрутов. Маршрутом в модели считается последовательность логических элементов, отображающих схему путевого развития, которая отвечает следующим требованиям:

начальным и конечным элементом маршрута могут быть только элементы, отображающие путь, участок пути или перегон;

смена направления движения в маршруте возможна только на элементе, отображающем путь, участок пути или перегон.

Маршруты моделируются с учетом данных из таблиц взаимозависимостей маршрутов, стрелок и сигналов действующих на станции систем электрической централизации. При этом отображаются прямая и косвенная враждебность, посекционное замыкание и размыкание поездных и маневровых маршрутов.

Операции увязываются в технологический процесс с помощью так называемой таблицы взаимосвязи операций. В ней указывается, в какой последовательности выполняются операции и при выполнении каких условий. Условия задаются в виде предельных значений для состояния технологических элементов.

Информационные и управляющие операции в модели служат для имитации передачи информации и принятия управляющих решений диспетчерским персоналом. Для информационных и управляющих операций коэффициент перехода λ может быть отличен от единицы, поскольку при движении потоков информационных сообщений и управляющих решений не исключено возникновение задержки, искажения и потери информации.

Роль информационных операций в модели заключается в занесении емкости на информационные элементы с определенными параметрами. Это будет отображать передачу информации диспетчерскому персоналу станции:

$$\sum_T \Delta \hat{q}_i^+(t) = \sum_i i(t) \Delta q_i^+(t)$$

или

$$\sum_T \Delta \hat{q}_i^-(t) = \sum_T \lambda_i(t) \Delta q_i^-(t),$$

где $\Delta \hat{q}_i^+(t)$ — величина заносимой емкости на y -й информационный элемент в момент времени t ;

$\Delta \hat{q}_i^-(t)$ — величина снимаемой емкости с y -го информационного элемента в момент времени t ;

$\Delta q_i^+(t)$ — величина заносимой емкости на i -й технологический элемент в момент времени t ;

$\lambda_i(t)$ — коэффициент перехода в момент времени t .





Коэффициент перехода состояния элементов в информационных операциях учитывает время задержки информации при передаче, возможные искажения и потерю информации при передаче

$$\hat{q}_y^k(t) = \varphi_i^k \gamma_i^k q_i^k(t - \hat{t}_i^k),$$

где $\hat{q}_y^k(t)$ — состояние информационного элемента в момент времени t ;

$q_i^k(t - \hat{t}_i^k)$ — состояние технологического элемента в момент времени $(t - \hat{t}_i^k)$;

$\hat{t}_i^k$ — время задержки информации при передаче диспетчеру;

φ_i^k — коэффициент искажения информации;

γ_i^k — коэффициент потери информации.

Время задержки $\hat{t}_i^k$ определяется для каждого типа передаваемой информации фиксированным значением или по случайному закону. Введение времени задержки позволяет моделировать ситуацию, когда диспетчер управляет ситуацией, которая отстает во времени от текущей.

Коэффициент искажения φ_i^k моделирует возможные ошибки при передаче информации (ошибка передающего, ошибка технических устройств, плохая слышимость). Как и время задержки, коэффициент искажения может задаваться фиксированным или по случайному закону распределения.

Коэффициент потери информации γ_i^k отображает в модели возможную потерю информации. Потеря информации возникает, когда сообщение не было передано и когда оно не было воспринято. Моделируется использованием случайных величин. По определенному закону распределения коэффициент может принимать два значения: 1 — информация поступила; 0 — информация потеряна:

$$\forall k | \gamma^k = (0; 1) \text{ law}(),$$

где $\text{law}()$ — вид закона распределения с параметрами.

В реальности потеря информации, как правило, имеет временной характер. Если образ, сложившийся в памяти диспетчера, слишком не похож на действительность, он предпринимает действия по уточнению ситуации. Эти действия моделируются с помощью информационной операции сверки. При достижении определенных расхождений между состояниями технологических элементов и соответствующих им информационных операция сверки восстанавливает реальную картину всей системы или отдельной подсистемы в памяти диспетчера.

Управляющие операции в модели используются для отображения процессов управления. Управляющая операция меняет состояние соответствующего управляющего элемента. Все пространство состояний информационных элементов каждого уровня разбивается на укрупненные ситуации. Для каждой из них номер решения должен быть известен заранее. Структура укрупненных ситуаций и соответствующих им управляющих решений задается пользователем. После

выполнения очередной информационной операции алгоритмом проверяется, принадлежит ли новое состояние предыдущей ситуации или произошел переход к новой. В последнем случае принимается новое решение, т. е. выполняется соответствующая управляющая операция

$$(\forall \{ \hat{q}_y^k \} \in \hat{Q}_s | \hat{q}_y^k \leq \hat{q}_y^k(t) \leq \bar{\hat{q}}_y^k) \wedge (\bar{q}_x(t) = \beta) \equiv K_s,$$

где $\hat{Q}_s$ — подмножество информационных элементов, участвующих в описании s -й ситуации;

$\hat{q}_y^k(t)$ — состояние y -го информационного элемента;

$\hat{q}_y^k, \bar{\hat{q}}_y^k$ — минимальное и максимальное значения состояний для y -го информационного элемента в s -й ситуации;

$\bar{q}_x(t)$ — состояние управляющего элемента;

β — номер решения, соответствующего s -й ситуации;

K_s — s -я ситуация.

Последовательность и условия выполнения технологических, информационных и управляющих операций определяются оператором управления. В зависимости от ситуации, сложившейся в модели, оператор управления определяет моменты времени начала выполнения операций. В модели реализован ситуационный принцип управления, так как он наиболее соответствует процессам управления в сложных транспортных системах. Совокупность состояний технологических $\{q_i(t)\}$ и соответствующих информационных $\{\hat{q}_y(t)\}$ элементов описывает ситуацию, по которой требуется принять решение и для которой номер решения известен (структура укрупненных ситуаций и номеров решений для них задается заранее). В случае когда ситуация изменилась, т. е. $(\{q_i(t)\}, \{\hat{q}_y(t)\}) \notin \bar{q}_x(t)$, выполняется соответствующая управляющая операция, которая меняет состояние управляющего элемента на соответствующее изменившейся ситуации. Затем, учитывая состояния информационных и управляющих элементов, производится выбор операций, которые необходимо выполнить после управляющей операции. Фактически это имитирует процесс принятия решения диспетчером.

Управление поездобразованием на сортировочной станции — сложная многовариантная задача. Ее совместно должны решать станционный, дорожный и узловой диспетчеры, дежурный по отделению. При решении важно учитывать текущие приоритеты в работе станции и направления.

Исходные данные для расчета в систему прогнозирования поездобразования поступают из базы данных АСУ станции (рис. 1). Множество запросов в базу фиксирует текущую ситуацию на станции. Эта ситуация служит отправной точкой для расчета прогноза поездобразования. Однако такой источник не обеспечивает модель всеми необходимыми данными. Нет информации о текущем количестве маневровых локомотивов и бригад технического и коммерческого



осмотра, их специализации. Для ввода недостающей информации организован удобный диалог с пользователем.

По окончании сбора исходной информации производится расчет на имитационной модели. Результаты представляются в удобной форме. Расчет позволяет определить моменты накопления составов по плану формирования станции с учетом действующих норм длины и веса поездов. Результаты выводятся в графическом (рис. 2) и табличном виде (рис. 3). Оперативным работникам станции и ДЦУП доступна интегрированная информация по прогнозу прибытия поездов в разборку со всех направлений и рассчитанное время начала и окончания выполнения всех операций — от прибытия до расформирования составов. В графическом виде в стандартной форме суточного плана-графика и в форме таблиц представлена информация о прогнозируемых моментах окончания накопления составов по путям сортировочного парка и назначениям. Непосредственно из поля фрагмента суточного плана-графика может быть получена справка о разложении состава поезда с пересчитанным по условной длине количеством вагонов на каждое назначение. Все это позволяет оперативно-диспетчерскому персоналу предвидеть последствия принимаемых решений и снижает риск просчетов в оценке поездной обстановки. На основе результатов прогноза поездообразования могут вырабатываться решения по оперативной

регуливке подвода поездов в зависимости от складывающейся ситуации на станции, по применению внутростанционных регулировочных мероприятий, по управлению процессом накопления составов в соответствии с оперативными изменениями плана формирования, по организации вывоза готовых поездов. Это позволяет принимать обоснованные решения по корректировке нарядов бригад, переброске бригад с одного направления на другое. Использование данной системы повышает качество текущего планирования работы станций, ускоряет отправление поездов, улучшает использование локомотивных бригад.

Анализ опыта эксплуатации системы более чем на 10 сетевых сортировочных станциях показал, что она обладает достаточной точностью прогноза. Среднее отклонение в определении моментов накопления составов не превышает 15 мин. Но указанная точность во многом зависит от качества прогноза подвода поездов к сортировочной станции.

Эта функция сегодня реализована в АРМ поездного диспетчера и представляет наиболее проблемную группу исходных данных. Определение моментов прибытия на основе нормативных времен хода и статистическая модель не обеспечивают нужной точности. В системе прогноза поездообразования реализован удобный интерфейс, который позволяет диспетчеру корректировать данные о прогнозном времени прибытия поездов на сортировочную станцию.

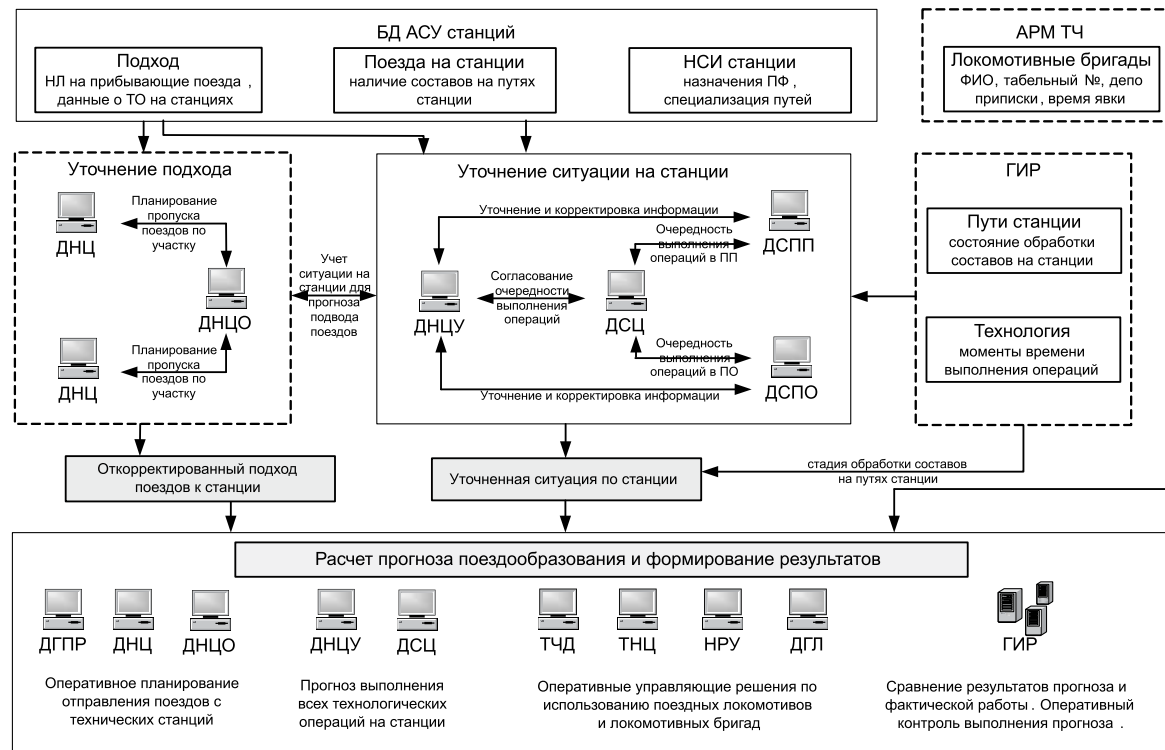


Рисунок 1 — Структурно-технологическая схема выполнения прогноза поездообразования

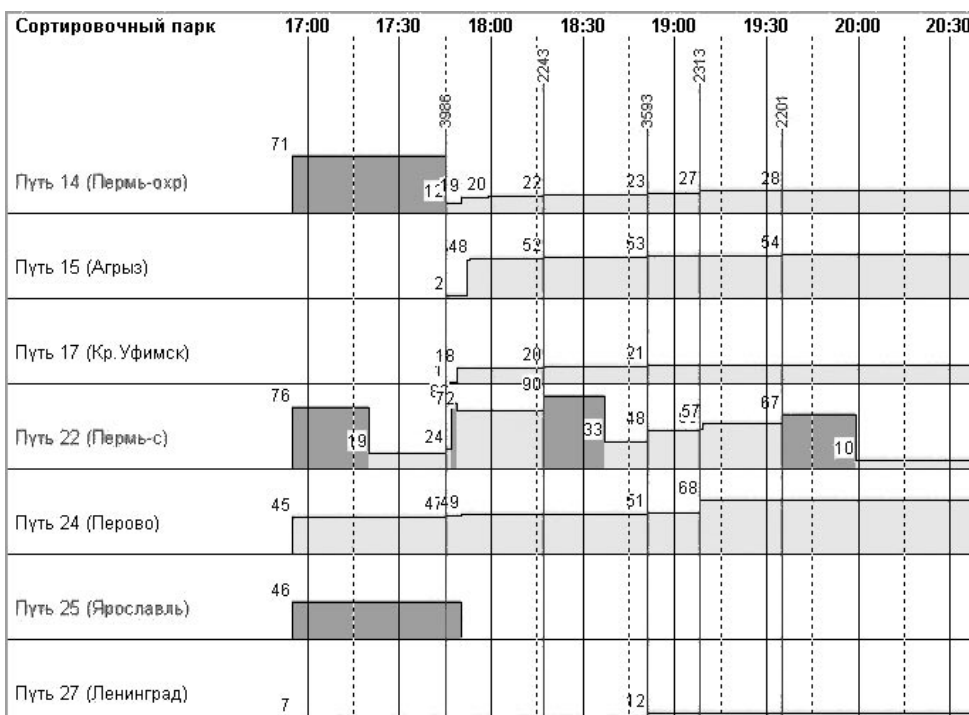


Рисунок 2 — Графическое представление расчета составаобразования

Прогноз (от 15:30 до 20:00)

Поезда в разоборку | Оканчивание формирования | Обеспечение бригадами | Накопление

Назначение	Путь	Оканчивание	Парестанок	Оканчивание ТО	Выезд локомотива	Прогноз авт.	По маршруту	Машинист	Объект
с 17:00 до 17:00				15:41	15:41	14:34	14:41	Эвбоин М.Б.	Друк Шале
с 17:00 до 17:00				15:42	15:42	14:35	15:03	Чуринов К.Г.	Друк Шале/РКЦ
с 17:00 до 17:00				15:44	15:44	14:37	15:03	Рогов И.В.	Прок.РКЦ.Друк.Канц.Шале
с 17:00 до 17:00				15:51	15:51	14:44	14:51	Степанов В.И.	РКЦ.Друк.Канц.ПАР.СОБ.
с 17:00 до 17:00				15:54	15:54	14:47	15:30	Булганин Д.В.	Друк Шале
с 17:00 до 17:00				16:02	16:02	-	-	-	-
с 17:00 до 17:00				16:05	15:55	14:58	15:13	Матвеев В.Г.	РКЦ.Друк.Канц.РКЦ.ПАР.
с 17:00 до 17:00				16:11	16:01	15:04	15:28	Горбунов В.Д.	РКЦ.Друк.Канц.РКЦ.ПАР.
с 17:00 до 17:00				16:20	16:10	-	-	-	-
с 17:00 до 17:00				16:25	16:15	-	-	-	-
с 17:00 до 17:00				16:26	16:26	15:29	16:06	Куликов С.А.	РКЦ.Друк.Канц.Шале.РКЦ.
с 17:00 до 17:00				16:29	16:29	15:32	16:10	Клидеев А.Г.	Друк.Канц.Шале
с 17:00 до 17:00				17:26	17:16	-	-	-	-
с 17:00 до 17:00				18:45	18:36	-	-	-	-
с 17:00 до 17:00				18:54	18:44	17:47	18:36	Другов С.И.	Прок.Друк.Шале
с 17:00 до 17:00				19:04	18:54	17:57	18:36	Другов С.И.	Прок.Друк.Шале
с 17:00 до 17:00				19:15	19:05	18:08	18:23	Куликов М.И.	Прок.РКЦ.Друк.Канц.Шале
с 17:00 до 17:00				19:17	19:07	18:10	18:26	Копылов А.А.	Друк Шале
с 17:00 до 17:00				20:27	20:27	19:30	19:45	Сидоров К.Б.	РКЦ.Канц.Шале.РКЦ.ПАР.
с 17:00 до 17:00				21:01	20:51	19:54	20:01	Клименко А.В.	Прок.Друк.Шале.РКЦ.ПАР.
с 17:00 до 17:00				21:09	20:59	20:02	20:20	Шаров А.В.	Прок.РКЦ.Друк.Канц.Шале
с 17:00 до 17:00				21:25	21:25	20:29	20:44	Мощин А.В.	Друк Шале/РКЦ
с 17:00 до 17:00				21:37	21:27	20:30	20:56	Клименко А.И.	Друк Шале

Свободные бригады:

Время	ФИО Машиниста	Объект
13:40	Шенков И.И.	Прок.Друк...
14:06	Некрасов А.Г.	Прок.Друк...
14:11	Карачев Д.В.	Канц.
14:20	Исупов А.М.	Друк Шале
14:31	Сидоров И.А.	РКЦ.Друк...
15:41	Сидоров В.В.	Друк Шале
17:20	Овчаров А.А.	РКЦ.Друк...
18:47	Виноградов О.А.	РКЦ.Друк...
19:50	Шенков С.Г.	Прок.Друк...
19:57	Клидеев А.Г.	Друк.Канц...
19:58	Борисов О.В.	Прок.Друк...
19:16	Карачев И.З.	Прок.РКЦ...
19:28	Иванов И.В.	Друк Шале
19:30	Сидоров В.П.	Прок.РКЦ...
19:50	Давыдов С.Г.	Прок.РКЦ...

Параметры:

Время кода ПП от КЛ до пути ПП:

Накладное время лог. бригад по ПП:

Рисунок 3 — План поездобразования

Литература

1. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: Дис. ... д-ра техн. наук. — Липецк: ЛПИ, 1986.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В ГОРОДСКОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ

Перевозки пассажиров в пригородном сообщении играют социально и экономически значимую роль для общества. Рост населения, повышение его благосостояния и подвижности, интенсивное развитие промышленности вызывают необходимость в постоянном наращивании объемов пригородных пассажирских перевозок [1].

Проблема нормального функционирования городского пассажирского железнодорожного транспорта рано или поздно появляется в любом мегаполисе, так как рост городов сопровождается территориальным расширением их пригородных зон тяготения, где создаются новые жилые массивы и промышленные предприятия. Это приводит к удаленности мест работы (учебы) от объектов проживания и отдыха. Как следствие — огромные пассажиропотоки между пригородными зонами и центральными районами крупных городов в утренние и вечерние пиковые периоды суток.

Основной критерий оптимального распределения внутригородской транспортной сети — качество обслуживания пассажиров, которое представляет собой совокупность таких параметров, как скорость, безопасность поездки, тариф, комфорт проезда, удобство доступа к транспортной инфраструктуре. Поэтому актуальной задачей становится оптимизация взаимодействия общественного пассажирского и пригородного железнодорожного транспорта во внутригородском сообщении с возможностью использования пригородных электропоездов как дополнительного вида городского транспорта [2].

Особенность пригородных пассажиропотоков — наличие связи с режимом работы предприятий, организаций и учреждений. Определяющим требованием к перевозке является удобное время отправления и прибытия электропоездов на начально-конечные пункты с минимальным временем в пути следования при достаточном количестве мест в поезде и с учетом графика работы других видов общественного транспорта [3].

Возможность использования пригородных электропоездов в пределах городской черты позволяет существенно снизить загрузку городского общественного транспорта, особенно в часы пик, организовать более рациональные маршруты передвижения пассажиров — с наименьшим числом пересадок и минимальным временем нахождения в пути. Снижение нагрузки на городской вид общественного транспорта и, как следствие, сокращение количества транспортных средств обеспечивают улучшение экологической обстановки в городе, а использование пригородных электропоездов в качестве городского транспорта позволяет охватить больше пассажиров [2].

Несмотря на интенсивное развитие автомобильного транспорта, железнодорожный составляет значительную конкуренцию в пригородных перевозках пассажиров. При сопоставимых условиях перевозки одного пассажира по рельсовому пути требуется меньше энергетических затрат по сравнению с другими видами транспорта. Меньшее воздействие оказывается и на окружающую среду.

Перспективное направление в снижении межтранспортного ожидания пассажиров — создание интермодальных транспортных систем и технологий их работы. В этом случае различные виды транспорта могли бы не конкурировать, а дополнять работу друг друга [3]. Особенно это актуально в отношении тех групп пассажиров, для которых вокзалы и железнодорожные станции не являются конечными пунктами и им приходится пользоваться несколькими видами транспорта, интервалы движения между которыми не всегда совпадают.

В качестве примера рассмотрим Каменск-Уральский — город, расположенный в 100 км юго-восточнее Екатеринбурга, третий по экономическому потенциалу в Свердловской области. Площадь города превышает 148 км², а число жителей составляет свыше 210 тыс. человек (6,5% населения Свердловской области). В административном отношении Каменск-Уральский разделен на два района — Красногорский и Синарский. Доля города в промышленном производстве Свердловской области — 5,3%. Промышленное производство представлено всеми видами экономики: топливно-энергетическим и металлургическим комплексами, машиностроением, строительством, легкой и пищевой промышленностью, транспортом и связью. Наиболее развита металлургия, в частности цветная, доля которой в общем объеме промышленного производства — 47,4% (17,4% в областном объеме по цветной металлургии). Черная металлургия составляет 32,5% (доля по области 6,3%). Среди крупных промышленных предприятий — 4 градообразующих (ОАО «СинТЗ», ОАО «СУАЛ-УАЗ», ОАО «КУМЗ», ПО «Октябрь»), удельный вес которых в общем объеме промышленного производства — 75,4%. Из них ведущие — ОАО «СинТЗ» и ОАО «СУАЛ-УАЗ» [4].

Каменск-Уральский — крупный транспортный узел. Он находится на пересечении железнодорож-





ных линий, соединяющих Екатеринбург, Курган, Челябинск, Богданович. Через г. Богданович осуществляется выход на магистраль Екатеринбург — Тюмень. Пассажирские и грузовые потоки обслуживаются в основном станцией Каменск-Уральский [4].

Каменск-Уральский представляет собой отдельно расположенные районы, основа которых — градообразующие промышленные предприятия. Городские районы соединены между собой транспортными магистралями и разделены лесными массивами и территориями промпредприятий.

В связи с увеличением количественного автотранспорта появилась проблема заторов на дорогах, особенно в местах входа в районы города и выхода из них. Но, несмотря на увеличение количества личного автотранспорта, число людей, пользующихся услугами городского транспорта не уменьшилось. Городской транспорт (троллейбус, автобус) обладает меньшей маневренностью, чем легковой. Следовательно, он сильнее страдает от появления пробок на дорогах из-за существенного сдвига графика движения, особенно в часы пик.

Возможность использования пригородных поездов в пределах городской черты как городского вида транспорта позволяет существенно снизить загрузку последнего, обеспечить скоростные маршруты передвижения пассажиров с меньшим числом пересадок и временем нахождения в пути. Снижение нагрузки на городской пассажирский транспорт за счет привлечения железнодорожного транспорта и, как следствие, сокращение числа единиц транспортных средств городского транспорта приведут к улучшению экологической обстановки в Каменске-Уральском, а возможность использования пригородных железнодорожных электропоездов в качестве городского транспорта позволит повысить охват перевозками большей части населения города и пригородов.

Для реализации предлагаемой схемы обслуживания населения в местах зарождения и погашения пассажиропотоков необходимо сделать остановочные пункты для пересадки пассажиров с железнодорожного на другие виды городского и загородного общественного транспорта (автобус, троллейбус, маршрутные такси) (рис. 1-4).

Каменск-Уральский — промышленный город, поэтому основные поездки пассажиров связаны с работой на предприятиях города. Графики работы основных крупных промышленных предприятий, таких как ОАО «СинТЗ», ОАО «СУАЛ-УАЗ», ОАО «КУМЗ», ПО «Октябрь», фактически совпадают с расписанием движения пригородных поездов. Следовательно, можно выделить пиковые периоды передвижения пассажиров.

Проходные промышленных предприятий имеют ограниченную пропускную способность. Поэтому рабочие смены подразделений промышленных предприятий начинаются и заканчиваются с интервалом 15-20 мин. Именно с таким интервалом и необходимо орга-

низовывать подвоз рабочих к местам их работы и вывоз обратно — с минимальным временем ожидания.

Время ожидания общественного транспорта — один из главных факторов, определяющих выбор пассажиром вида транспорта. При сокращении времени ожидания железнодорожный транспорт может составить конкуренцию городскому (автобусам с длинным рейсом и малым количеством машин) или полностью вытеснить его с данного участка (направления) перевозок [2].

Практика железных дорог в конце XIX в. — начале XX в. на участках с небольшими пассажиропотоками имеет положительный опыт применения рельсовых автобусов. Рельсовый автобус представляет собой самоходный вагон, который оборудован двумя кабинами управления и силовой установкой на дизельном топливе, расположенной под кузовом вагона. Длина такой мобильной единицы по осям автосцепок — 27,5 м, масса в служебном (без пассажиров) состоянии — 51 т, дальность хода без дополнительной заправки — не менее 1 тыс. км. Ориентировочная стоимость рельсового автобуса — 29,5 млн руб.

Пассажирский салон вагона вмещает 205 чел., в том числе 95 мест для сидения. Салон снабжен системами искусственного освещения, вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха, также предусмотрен туалет с умывальником, отвечающий экологическим требованиям. Выделено место для пассажиров в инвалидных колясках, а также имеющих багаж большого размера. Для удобства входа и выхода пассажиров на высоких или низких железнодорожных платформах ступени дверей салона расположены ниже проема дверей и выдвигаются из кузова рельсового автобуса с помощью электроприводов. Рельсовый автобус можно пускать как одной подвижной единицей, так и сцепами по 2-3 вагона. Он имеет 2 полностью компьютеризированные кабины управления. Максимальная скорость движения — до 100 км/ч. В конструкции рельсового автобуса использован дизельный двигатель фирмы MTU (Германия) с гидropередачей.

Выполненные ранее расчеты на примере Свердловской железной дороги (агломерация Каменск-Уральский) позволили определить следующие качественные показатели рассматриваемых пригородных пассажирских перевозок рельсовыми автобусами:

средняя населенность рельсового автобуса $a = 180$ чел. При условии, если не менее 50% этой населенности для большей комфортности будет ехать сидя, средняя составность рельсовых автобусов в сцепе составит 1,35;

средняя дальность поездки одного пассажира $l_{\text{пасс}} = 8,8$ км.

При этом были использованы данные из статистических отчетов Свердловской железной дороги по пригородным пассажирским перевозкам в электропоездах и других подвижных единицах:

среднесуточный пробег одного вагона $S_c = 96,3$ км/сут;





Рисунок 1 — Карта Каменска-Уральского (Синарский район 1) с указанием пунктов пересадки



Рисунок 2 — Карта Каменска-Уральского (Синарский район 2) с указанием пунктов пересадки



Рисунок 3 — Карта Каменска-Уральского (Красногорский район 1) с указанием пунктов пересадки

среднее количество вагонов в одном составе $n = 1,35$ ваг.;

средняя участковая скорость движения $v_{уч} = 41,8$ км/ч;

средняя норма расхода топлива на 10 тыс. т/км-брутто — 59,1 кВт.ч.

Также приняты следующие качественные показатели:

вес тары рельсового автобуса $q_t = 51$ т;

условный вес одного пассажира $q_{пасс} = 0,1$ т;

коэффициент, учитывающий дополнительное время работы локомотивной бригады, $k = 2,086$ [1].



Рисунок 4 — Карта Каменска-Уральского (Красногорский район 2) с указанием пунктов пересадки

На рис. 1 — 4 приняты следующие условные обозначения:

- железнодорожные линии;
- автодороги;
- восток;
- пересадочные пункты с железнодорожного на городской наземный транспорт;
- автобус;
- маршрутное такси;
- троллейбус;
- Трубыны — название частей города;
- Сингарск — железнодорожные станции и остановочные пункты;
- направление движения пассажиропотоков.

Результаты расчета себестоимости 10 пасс.-км в пригородном сообщении на железнодорожном транспорте представлены в табл. 1.

Расчеты показывают, что фактическая себестоимость пригородных перевозок с использованием рельсового автобуса составляет не менее 6,85 руб. на 10 пасс.-км. Объем фактически выполненных пригородных перевозок рельсовым автобусом на Свердловской железной дороге составил $AI = 9689511,9$ пасс.-км. Следовательно, эксплуатационные расходы, необходимые для осуществления пригородных пассажирских перевозок с учетом выявленных особенностей, составили

$$\Theta = \frac{C}{10} AI, \text{ млн руб.}, \quad (1)$$

где C — себестоимость пригородных перевозок (см. табл. 1);

AI — фактический объем перевозок, пасс.-км.

$$\Theta = \frac{6,85}{10} \cdot 9689511,9 = 6,64 \text{ млн руб.}$$

Для обеспечения доходности перевозок пассажиров в пригородном сообщении рельсовыми автобусами на основе расчетов, приведенных в табл. 1, минимальная рентабельная цена проезда не может быть меньше 6,85 руб. При этом доход рассчитываем по следующей формуле:





$$D = \frac{T}{10} A_1, \quad (2)$$

где D — чистый доход, млн руб.

$$T = C \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right), \quad (3)$$

где T — уровень тарифа, руб.;

P — рентабельность.

Уровень устанавливаемых тарифов должен быть достаточен, чтобы возместить экономически обоснованные затраты на услуги по перевозке пассажиров и получить необходимую прибыль для реализации производственных программ.

Расчет тарифа за услуги по перевозке пассажиров осуществляется по методу экономически обоснованных расходов, при этом тариф определяется путем деления величины необходимой валовой выручки (доходов) на планируемый объем перевозок.

Величина необходимой валовой выручки (доходов) рассчитывается как сумма полной себестоимости и рентабельности пассажирских перевозок.

Рекомендуемый размер рентабельности, включаемый в расчет тарифа на перевозку пассажиров, не должен превышать 25% к полной себестоимости транспортных услуг и должен быть экономически обоснован (согласно Постановлению правительства Российской Федерации от 07.03.95 № 239 «О мерах по упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)»).

Объем перевозок пассажиров определяется с учетом величин базового периода всех перевезенных

пассажиров в соответствии с нормативной вместимостью подвижного состава, коэффициента загрузки и средней дальности поездки пассажиров.

Коэффициент загрузки подвижного состава рассчитывается с учетом обеспечения эффективного использования подвижного состава, но не ниже фактического объема перевозок пассажиров базового периода при равнозначных условиях.

Поскольку уровень тарифов на пассажирские перевозки оказывает влияние на платежеспособный спрос населения на эти перевозки, то изменение уровня тарифов вызывает либо рост, либо уменьшение потребности в пассажирских перевозках (рис. 5).

Коэффициент эластичности спроса пассажиров на поездки тем или иным видом транспорта в зависимости от изменения тарифа определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_0} \div \frac{T_1 - T_0}{T_0}, \quad (4)$$

где Q_1 — фактический объем перевозок пассажиров при применении тарифа;

Q_0 — условный объем перевозок при старом тарифе с учетом нормального прироста перевозок;

T_1, T_0 — уровень тарифа — соответственно нового и старого.

Рассмотрим влияние количества вагонов в составе на себестоимость перевозок. Используя методику расчета себестоимости перевозок (см. табл. 1), рассчитана себестоимость перевозок пассажиров в зависимости от количества вагонов в составе пригородного поезда и от их населенности. Результаты расчета приведены в табл. 2 и на рис. 6).

Таблица 1 — Расчет себестоимости перевозок пригородных пассажиров в рельсовом автобусе (на объем пассажирских перевозок 1 000 пасс.-км)

Измеритель	Расходная ставка, руб.	Формула измерителя	Расчет измерителя	Расходы, руб.
1. Вагоно-км	0,7	$\Sigma C_1 = \frac{\Sigma A_1}{a}$	$\Sigma C_1 = \frac{1000}{180} = 5,56$	3,89
2. Вагоно-час	31,85	$\Sigma C_t = \frac{\Sigma C_1}{S_c} \cdot 24$	$\Sigma C_t = \frac{5,56}{96,3} \cdot 24 = 1,39$	44,27
3. Бригадо-час	468,17	$\Sigma B_t = \frac{\Sigma A_1}{a \cdot n \cdot v_{уч}} \cdot k$	$\Sigma B_t = \frac{1000}{180 \cdot 1,35 \cdot 41,8} \cdot 2,086 = 0,205$	95,8
4. Тонно-км-брутто	0,019	$\Sigma pl_{бр} = 2 \cdot \Sigma C_1 \cdot (q_T + q_{пасс} \cdot a)$	$\Sigma pl_{бр} = 2 \cdot 5,56 \cdot (51 + 0,1 \cdot 180) = 767,3$	14,58
5. Расход топлива	8,22	$\Theta = \frac{\Theta \cdot \Sigma pl_{бр}}{10^4}$	$\Theta = \frac{59,1 \cdot 767,28}{10^4} = 4,54$	37,32
6. Количество отправленных пассажиров	0,225	$\Sigma P_{пасс} = \frac{\Sigma A_1}{l_{пасс}}$	$\Sigma P_{пасс} = \frac{1000}{8,8} = 113,64$	25,57
Итого зависящих расходов				221,43
Условно-постоянные расходы (67,66% общей суммы)				463,26
Всего расходов				684,63
Себестоимость 10 пассажиро-км				6,85

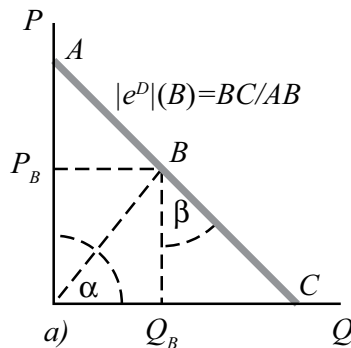


Рисунок 5 — Влияние коэффициента эластичности спроса на объем пассажирских перевозок

При этом вместимость одного вагона рельсового автобуса — 205 чел. При условии если не менее 50% этой населенности для большей комфортности будет ехать сидя, «комфортная» населенность составит 135 чел. Себестоимость перевозок при использовании состава из одного вагона — 10 руб. Но для удобства пассажиров наилучшим вариантом будет поезд из двух вагонов (себестоимость 13,7 руб. — точка пересечения на рис. 6). С учетом рентабельности в 15% получаем тариф $T = 15,6$ руб.

$$\Xi = \frac{13,7}{10} \cdot 9689511,9 = 13,27 \text{ млн руб.}$$

$$Д = \frac{15,6}{10} \cdot 9689511,9 = 15,12 \text{ млн руб.}$$

Прибыль от перевозок рельсовым автобусом рассчитываем по формуле [5]

$$\Pi = Д - \Xi, \quad (5)$$

$$\Pi = 15,12 - 13,27 = 1,85 \text{ млн руб.}$$

Делаем вывод, что перевозки рельсовыми автобусами прибыльны.

Заключение

При использовании рельсового автобуса для перевозки пассажиров железнодорожным транспортом в городском сообщении себестоимость 10 пасс.-км

Таблица 2 — Влияние количества вагонов в составе на себестоимость перевозок

Населенность поезда	Количество вагонов в поезде		
	1	2	3
50	25,26	34,87	44,47
60	21,25	29,26	37,26
70	18,39	25,25	32,11
80	16,24	22,24	28,25
90	14,57	19,91	25,24
100	13,24	18,04	22,84
110	12,14	16,51	20,87
120	11,23	15,23	19,23
130	10,46	14,15	17,85
140	9,8	13,23	16,66
150	9,23	12,43	15,63
160	8,73	11,73	14,73
170	8,28	11,11	13,93
180	7,89	10,56	13,23
190	7,54	10,02	12,59
200	7,22	9,62	12,02
210	6,94	9,22	11,51

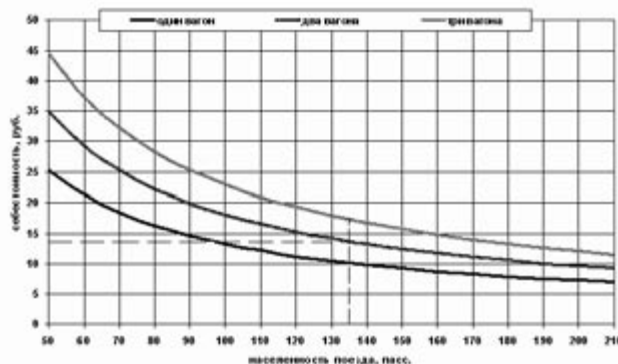


Рисунок 6 — График влияния количества вагонов в составе пригородного поезда на себестоимость перевозок

составила 6,85 руб. С целью получения прибыли устанавливаем стоимость проезда 15,6 руб. Тогда прибыль окажется около 2 млн руб./год, и при стоимости одного рельсового автобуса 29,5 млн руб. срок окупаемости его внедрения и использования составит 15 лет.

Литература

1. Разработка рекомендаций по совершенствованию пригородных пассажирских перевозок в Свердловском железнодорожном узле: Отчет о НИР (заключительный). — Науч. рук. Плехотич С.А. — Екатеринбург: УрГУПС, 2000.
2. Самарцев П.В. Совершенствование организации перевозок пассажиров в крупных городах Сибири и Дальнего Востока: Автореф. дис. ... к.т.н. — Новосибирск, 2005. — 24 с.
3. Интермодальные системы в пригородных пассажирских перевозках // Железнодорожный транспорт. — 2003. — № 10. — С. 65-67.
4. Каменск-Уральский, 1701-2001 / Е.Т. Артемов, Н.И. Поплыгина, С.П. Постников и др. — Екатеринбург: Академкнига, 2001. — 128 с.
5. Себестоимость железнодорожных перевозок: Учебник для вузов ж. д. транспорта / А.И. Купоров, Ю.Н. Кожевников и др. — М.: Маршрут, 2003. — 494 с.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ БАЗОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА



Исследуется проблема определения оптимального местонахождения базового контейнерного терминала по отношению к другим пунктам, осуществляющим погрузку и выгрузку по типам контейнеров в Свердловской, Тюменской областях и Пермском крае. Проводится сравнительный анализ существующих методов решения данной задачи и предлагается новый метод по определению координат базового контейнерного терминала, который имеет ряд преимуществ перед аналогичными.

Введение

Железнодорожный транспорт России имеет давно сформировавшуюся инфраструктуру, поэтому в размещении новых железнодорожных станций и грузовых терминалов редко возникает необходимость. В последние годы тенденцией стало закрытие малоделятельных и небольших по путевому развитию грузовых станций и за счет этого концентрация работы на более крупных станциях. Поэтому представляется проблемным не поиск мест для размещения новых грузовых станций и терминалов, а определение (выбор) тех, которые подлежат сохранению их функционирования и развитию или, наоборот, закрытию.

Проблема рассмотрена для трех областей Уральского региона (Свердловской, Тюменской и Пермского края), относящихся к Свердловской железной дороге. Данные области по развитию сети контейнерных пунктов можно условно разделить следующим образом: с наиболее развитой сетью — Свердловская область, с типичной сетью — Пермский край и с менее развитой — Тюменская область.

Для определения оптимального местонахождения базового терминала чаще всего в практике используется метод экспертных оценок. Решение принимается на основе знаний, опыта и интуиции специалистов, которых привлекают для выбора места расположения склада (терминала). Однако мнение специалистов может быть подвержено влиянию различных субъективных факторов, поэтому необходимы универсальные методики, не зависящие от мнения экспертов.

1. Метод центра тяжести. По этому методу координаты распределительного центра определяются следующими математическими зависимостями [1-5]:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i x_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}; Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (1)$$

где x_i, y_i — координаты i -го склада (терминала), км;
 Q_i — объемы погрузки (выгрузки) грузов, т;
 n — количество складов.

2. Метод пробной точки. Ограниченное применение метода — в наличии развитой дорожной сети и ее прямоугольной конфигурации.

Полученные этими методами координаты распределительного центра обычно всегда нуждаются в корректировке, поскольку в модели не учитываются факторы, которые имеют существенное значение для эффективности работы системы распределения: размеры земельных площадей для размещения складского хозяйства и обеспечения взаимодействия с транспортными средствами; размеры используемых производственных площадей для хранения товара и размещения технологического оборудования и персонала; транспортная доступность предполагаемого места размещения распределительного центра для большегрузного транспорта, доставляющего товар на склад, и малотоннажного транспорта, развозящего его клиентам и т. п.

Большая часть названных факторов имеет гораздо большее значение для выбора места размещения распределительного центра, чем расчетные координаты условного центра тяжести системы распределения, которые, вообще говоря, могут измениться при изменении ассортимента товаров, покупательского спроса, множества экономических и социально-демографических условий.

3. Метод подвижной точки. Рассмотрев все достоинства и недостатки вышеизложенных методик, мы предлагаем для определения места расположения распределительного центра использовать метод подвижной точки. Данный метод доступен для регионов с развитыми дорожными сетями, с различными формами геометрии обслуживаемой территории, с различными тарифами на перевозку груза.

Суть метода состоит в следующем.

Пусть даны координаты потребителей $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ и месячные объемы завоза (вывоза) грузов $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$.

Определим координату распределительного центра по оси абсцисс.





Для этого необходимо упорядочить исходные данные в порядке возрастания. Пусть $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n$. Введем обозначения $x_1 = a_0$, $x_n = b_0$.

Пусть d_0 — середина отрезка $[a_0, b_0]$,

$$d_0 = \frac{a_0 + b_0}{2}. \quad (2)$$

Если $Q_l(d_0)$ — завоз потребителям, расположенным слева от точки d_0 , равен $Q_r(d_0)$ — завозу потребителям, расположенным справа от точки d_0 , то задача решена (однако вероятность такого «точного попадания» невелика):

$$Q_l(d_0) = \sum_{i=1}^k z_i; \quad Q_r(d_0) = \sum_{i=k+1}^n z_i, \quad (3)$$

где $c_0 \in [k, k+1]$, т. е. k — округление d_0 с недостатком; $k+1$ — с избытком.

Если $Q_l(d_0) \neq Q_r(d_0)$, необходимо рассмотреть два варианта:

$Q_l(d_0) > Q_r(d_0)$ — положим $a_1 = a_0$, $b_1 = d_0$;

$Q_l(d_0) < Q_r(d_0)$ — положим $a_1 = d_0$, $b_1 = b_0$.

Затем возьмем среднюю точку отрезка $[a_1, b_1]$

$$d_1 = \frac{a_1 + b_1}{2}.$$

Если $Q_l(d_1) = Q_r(d_1)$, то задача решена. Если вновь $Q_l(d_1) \neq Q_r(d_1)$, снова рассмотрим два отрезка $[a_1, d_1]$ и $[d_1, b_1]$ и снова выберем тот, для которого $Q_l(d_1) > Q_r(d_1)$. Выбранный отрезок обозначим $[a_2, b_2]$.

Если продолжать этот процесс, то он либо оборвется на некотором шаге n из-за того, что выполнится условие $Q_l(d_n) = Q_r(d_n)$, либо $Q_l(d_n) = Q_r(d_{n-1})$. В этом случае улучшение произошло на данном этапе, расчеты останавливаются, и принимаем

$$X_c = \frac{a_n + b_n}{2} = d_n. \quad (4)$$

Расчет второй координаты распределительного центра Y_c производится аналогично. В результате получим Y_c — отрезок оптимальных ординат y $[q_m, p_n]$.

Точка $[X_c, Y_c]$ принадлежит оптимальной области. Для того чтобы определить ее границы, необходимо найти абсциссы двух соседних потребителей X_* и X^* , между которыми лежит значение X_c , и ординаты двух соседних потребителей (возможно, других), между которыми лежит значение Y_c . Прямоугольник $[X_*, X^*] \times [Y_*, Y^*]$ и будет являться оптимальной областью с точки зрения метода подвижной точки.

Внутри оптимальной области выбирается место для размещения базового контейнерного терминала исходя из развитости инфраструктуры предоставления услуг грузовладельцам и с использованием других методов, таких, например, как учет тарифов на перевозку, метод экспертных оценок.

Рассмотрим применение всех методов на примере трех областей, входящих в состав Свердловской железной дороги.

На основании месячной погрузки и выгрузки среднетоннажных контейнеров на контейнерных пунктах Свердловской области проведем расчет по трем методам.

Применение методов определения координат распределительного центра по погрузке и выгрузке среднетоннажных контейнеров

1. Метод центра тяжести [1, 3, 4-6] (табл. 1).

При постановке значений в соответствующие зависимости (1), находим:

по погрузке

$$X_c = \frac{129555624200}{11385} = 11379501 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{72064119100}{11385} = 6329743 \text{ км},$$

следовательно, координаты оптимального расположения базового терминала по погрузке среднетоннажных контейнеров составляют Ц (11 379 501, 6 329 743); по выгрузке

$$X_c = \frac{37842850580}{3332} = 11357398 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{21131318620}{3332} = 6341932 \text{ км},$$

следовательно, координаты оптимального расположения базового терминала по выгрузке среднетоннажных контейнеров составляют Ц (11 357 398, 6 341 932).

2. Метод пробной точки [3]. Участок обслуживания проверяют начиная с крайнего левого его конца. Вначале анализируют первый отрезок участка. На данном отрезке ставят пробную точку и подсчитывают сумму объемов завоза товаров к потребителям, находящимся слева и справа от поставленной точки. Если объем завоза к потребителям, находящимся справа, больше, то проверяется следующий отрезок. Если меньше, то принимается решение о размещении склада в начале анализируемого отрезка.

Перенос пробных точек продолжается до тех пор, пока не появится точка, для которой сумма объемов завоза к потребителям с левой стороны не превысит сумму объемов завоза к потребителям с правой стороны. Решение о размещении распределительного центра в начале отрезка, т. е. слева от пробной точки.

Применив метод пробной точки, получим координаты распределительного центра Ц (11 354 120, 6 307 840), совпадающие со станцией Свердловск-Товарный, что подтверждает месторасположение базового контейнерного центра.





Таблица 1 — Определение координат распределительного центра по методу центра тяжести

№ п/п	Наименование станции	Координаты (X), 10 ⁶ км	Координаты (Y), 10 ⁶ км	Количество погруженных контейнеров, конт.	$Q_i X_i$, 10 ⁶ конт.-км	$Q_i Y_i$, 10 ⁶ конт.-км	Количество выгруженных контейнеров, конт.	$Q_i X_i$, 10 ⁶ конт.-км	$Q_i Y_i$, 10 ⁶ конт.-км
1	Каменск-Уральский	11,43	6,26	3 320	37 954,77	20 782,07	167	1 909,17	1 045,36
2	Михайловский завод	11,27	6,26	6	67,61	37,56	0	0	0
3	Атиг	11,28	6,29	26	293,29	163,51	5	56,40	31,44
4	Арамиль	11,37	6,29	173	1 967,40	1 088,83	69	784,68	434,27
5	Богданович	11,44	6,30	160	1 830,43	1 007,35	49	560,57	308,50
6	Ревда	11,31	6,30	174	1 968,28	1 096,18	47	531,66	296,09
7	Камышлов	11,48	6,30	236	2 709,34	1 487,73	22	252,57	138,69
8	Свердловск-Товарный	11,35	6,31	3 254	36 946,31	20 525,71	1 961	22 265,43	12 369,67
9	Кунара	11,44	6,31	115	1 315,62	725,42	44	503,37	277,55
10	Первоуральск	11,31	6,31	273	3 087,12	1 723,18	61	689,80	385,03
11	Асбест	11,41	6,32	147	1 677,00	929,59	39	444,92	246,63
12	Верх-Нейвинск	11,32	6,35	0	0	0	47	532,05	298,54
13	Егоршино	11,43	6,36	642	7 339,37	4 083,21	25	285,80	159,00
14	Ежевая	11,32	6,37	325	3 680,28	2 070,88	234	2 649,79	1 491,03
15	Ирбит	11,50	6,40	77	885,80	492,48	15	172,56	95,94
16	Алапаевск	11,42	6,42	42	479,65	269,47	17	194,14	109,07
17	Нижний Тагил	11,32	6,42	1 959	22 183,36	12 584,90	268	3 034,78	1 721,67
18	Вагонозавод	11,32	6,43	25	283,11	160,62	0	0	0
19	Туринск-Уральский	11,54	6,44	0	0	0	5	57,70	32,18
20	Тавда	11,63	6,44	0	0	0	9	104,69	57,96
21	Верхняя Салда	11,35	6,44	31	351,92	199,64	13	147,58	83,72
22	Кушва	11,30	6,46	43	486,07	277,95	0	0,00	0,00
23	Нижняя Тура	11,31	6,51	64	724,22	416,50	59	667,64	383,96
24	Серов	11,36	6,61	147	1 669,96	971,96	111	1 260,99	733,93
25	Карпинск	11,33	6,63	75	849,87	497,39	65	736,56	431,07
26	Лесная Волчанка	11,34	6,65	71	804,87	472,01	0	0	0
Сумма				11 385	129 555,62	72 064,12	3 332	37 842,85	21 131,32

Таблица 2 — Результаты расчетов по методу подвижной точки

Координата d_i , км, ось OX	Объемы прибытия контейнеров на контейнерный пункт, конт.		Координата d_i , км, ось OY	Объемы прибытия контейнеров на контейнерный пункт, конт.	
	$Q_i(d_i)$	$Q_i(d_i)$		$Q_i(d_i)$	$Q_i(d_i)$
11 450 220	11 072	313	6 453 860	10 985	400
11 359 210*	6 326	5 059	6 356 760	7 884	3 501
11 313 705	522	10 863	6 308 210	7 464	3 921
11 472 973	11 072	313	6 283 935	3 352	8 033
11 370 587	6 473	4 912	6 465 998	11 028	357
11 319 394	586	10 799	6 362 829	8 526	2 859
11 475 817	11 072	313	6 311 245	7 464	3 921
11 372 009	6 473	4 912	6 285 453	3 326	8 059
11 320 105	586	10 799	—	—	—
11 476 173	11 072	313	—	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 3, 5, 6 заливкой выделен оптимальный вариант координаты.

Таблица 3 — Результаты расчетов по методу подвижной точки

Координата d_i , км, ось OX	Объемы отправления контейнеров с контейнерного пункта, конт.		Координата d_i , км, ось OY	Объемы отправления контейнеров с контейнерного пункта, конт.	
	$Q_i(d_i)$	$Q_i(d_i)$		$Q_i(d_i)$	$Q_i(d_i)$
11 450 220	3 281	51	6 453 860	3 097	235
11 359 210	2 760	572	6 356 760	2 511	821
11 313 705	113	3 219	6 308 210	2 364	968
11 472 973	3 281	51	6 283 935	167	3 165
11 370 587	2 871	461	6 465 998	3 097	235
11 319 394	172	3 160	6 362 829	2 536	796
11 475 817	3 281	51	6 311 245	2 320	1 012
11 372 009	2 871	461	6 285 453	167	3 165
11 320 105	172	3 160	6 466 757	3 098	235

3. Метод подвижной точки. Результаты расчетов по методу подвижной точки по оси OX и OY сведем в табл. 2 и 3.

Применив метод подвижной точки, получим координаты распределительного центра Ц (11 359 210, 6 308 210) (см. табл. 2).

Применив метод подвижной точки, получим координаты распределительного центра Ц (11 359 210, 6 311 245) (см. табл. 3).

Полученные результаты по трем методам нанесены на план рис. 1.

Как видно из рис. 1, точки, рассчитанные по первому методу, выходят за рамки оптимальной области, в отличие от третьего метода, по которому внутри области можно делать выбор расположения распределительного центра в зависимости от местных условий.

Применение методов определения координат распределительного центра по погрузке и выгрузке крупнотоннажных контейнеров

На основании месячной погрузки крупнотоннажных контейнеров на контейнерных пунктах дороги и определенных координат по физической карте мира этих пунктов проведем расчет по трем методам.

1. Метод центра тяжести [1, 3, 4-6] (табл. 4).

При подстановке значений в соответствующие зависимости (1) находим:

$$X_c = \frac{49665014900}{4374} = 11354599 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{27770303040}{4374} = 6348949 \text{ км},$$

следовательно, координаты оптимального расположения базового терминала по погрузке крупнотоннажных контейнеров составляют Ц (11 354 599, 6 348 949);

по выгрузке

$$X_c = \frac{49469292260}{4358} = 11351375 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{27524080940}{4358} = 6315760 \text{ км},$$

следовательно, координаты оптимального расположения базового терминала по погрузке крупнотоннажных контейнеров составляют Ц (11 351 375, 6 315 760).

2. Метод пробной точки [2]. Применение метода пробной точки позволило получить координаты распределительного центра Ц (11 354 120, 6 307 840), которые совпадают со станцией Свердловск-Товарный.

3. Метод подвижной точки. Результаты расчетов по методу подвижной точки по оси OX и OY сведем в табл. 5 и 6.

Применив метод подвижной точки, получим (см. табл. 5) координаты распределительного центра Ц (11 349 395, 6 341 030).

Применив метод подвижной точки, получим (см. табл. 6) координаты распределительного центра Ц (11 349 395, 6 341 030).

Полученные результаты по трем методам нанесем на схему рис. 2.

Как видно из рис. 2, точки, рассчитанные по первому и второму методам, находятся внутри оптимальной области и жестко привязаны к местности, но преиму-

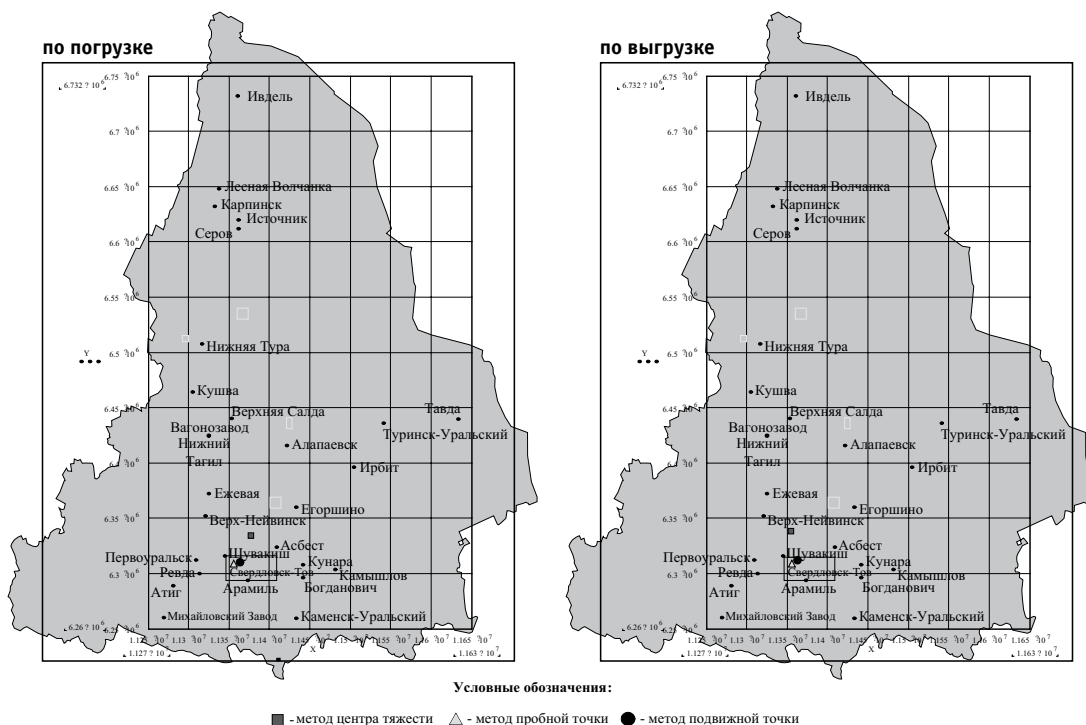


Рисунок 1 — План размещения контейнерных пунктов и результатов расчетов распределительного центра



Таблица 4 — Определение координат распределительного центра по методу центра тяжести

№ п/п	Наименование станции	Координаты (X), 10 ⁶ км	Координаты (Y), 10 ⁶ км	Количество погруженных контейнеров, конт.	$Q_i X_i$, 10 ⁶ конт.-км	$Q_i Y_i$, 10 ⁶ конт.-км	Количество выгруженных контейнеров, конт.	$Q_i X_i$, 10 ⁶ конт.-км	$Q_i Y_i$, 10 ⁶ конт.-км
1	УАЗ	11,43	6,25	211	2 412,21	1 318,34	35	400,13	218,68
2	Богданович	11,44	6,30	3	34,32	18,89	0	0,00	0
3	Ревда	11,31	6,30	0	0	0	1	11,31	6,30
4	Свердловск-Товарный	11,35	6,31	2 639	29 963,52	16 646,39	3 491	39 637,23	22 020,67
5	Кунара	11,44	6,31	40	457,61	252,32	40	457,61	252,32
6	Первоуральск	11,31	6,31	45	508,87	284,04	0	0	0
7	Шувакиш	11,34	6,32	459	5 207,01	2 898,94	304	3 448,66	1 920,00
8	Верх-Нейвинск	11,32	6,35	91	1 030,14	578,03	102	1 154,66	647,90
9	Ежевая	11,32	6,37	275	3 114,07	1 752,28	289	3 272,61	1 841,49
10	Нижний Тагил	11,32	6,42	84	951,20	539,63	94	1 064,44	603,87
11	Вагонозавод	11,32	6,43	18	203,84	115,64	2	22,65	12,85
12	Верхняя Салда	11,35	6,44	21	238,40	135,24	0	0	0
13	Источник	11,36	6,62	488	5 543,83	3 230,56	0	0	0
Сумма				4374	49 665,02	27 770,3	4 358	49 469,29	27 524,08

Таблица 5 — Результаты расчетов по методу подвижной точки

Координата d_i , км, ось OX	Объемы прибытия контейнеров на контейнерный пункт, конт.		Координата d_i , км, ось OY	Объемы прибытия контейнеров на контейнерный пункт, конт.	
	$Q_i(d_i)$	$Q_r(d_i)$		$Q_i(d_i)$	$Q_r(d_i)$
11 374 160	4 120	254	6 434 020	3 865	509
11 341 140	513	3 861	6 341 030	3 397	977
11 390 670	4 120	254	6 294 535	211	4 163
11 349 395	972	3402	6 457 268	3 886	488
11 394 798	4120	254	6 352 654	3 488	886
11 351 459	972	3 402	6 300 347	214	4 160
11 395 830	4 120	254	6 460 174	3 886	488
11 351 975	972	3 420	6 354 107	3 488	886
-	-	-	6 301 074	214	4 160

Таблица 6 — Результаты расчетов по методу подвижной точки

Координата d_i , км, ось OX	Объемы отправления контейнеров с контейнерного пункта, конт.		Координата d_i , км, ось OY	Объемы отправления контейнеров с контейнерного пункта, конт.	
	$Q_i(d_i)$	$Q_r(d_i)$		$Q_i(d_i)$	$Q_r(d_i)$
11 374 160	4 283	75	6434 020	4 358	0
11 341 140	488	3 870	6 341 030	3 871	487
11 390 670	4 283	75	6 294 535	35	4 323
11 349 395	792	3 566	6 457 268	4 358	0
11 394 798	4 283	75	6 352 654	3 973	385
11 351 459	792	3 566	6 300 347	36	4 322
11 395 830	4 283	75	6 460 174	4 358	0
11 351 975	792	3 566	6 354 107	3 973	385
			6 301 074	36	4 322



Таблица 7 — Координаты распределительного центра по работе с контейнерами в Пермском крае

Тип контейнера	Вид работы	Метод расчета					
		центра тяжести		пробной точки		подвижной точки	
		$X_{сг}$, км	$Y_{сг}$, км	$X_{сг}$, км	$Y_{сг}$, км	$X_{сг}$, км	$Y_{сг}$, км
Среднетоннажные	Погрузка	10 457 030	6 441 263	10 453 200	6 436 600	10 464 500	6 443 938
	Выгрузка	10 467 273	6 463 480	10 453 200	6 436 600	10 464 500	6 443 938
Крупнотоннажные	Погрузка	10 450 902	6 436 438	10 453 200	6 436 600	10 427 200	6 428 550
	Выгрузка	10 455 919	6 442 644	10 453 200	6 436 600	10 471 750	6 443 938

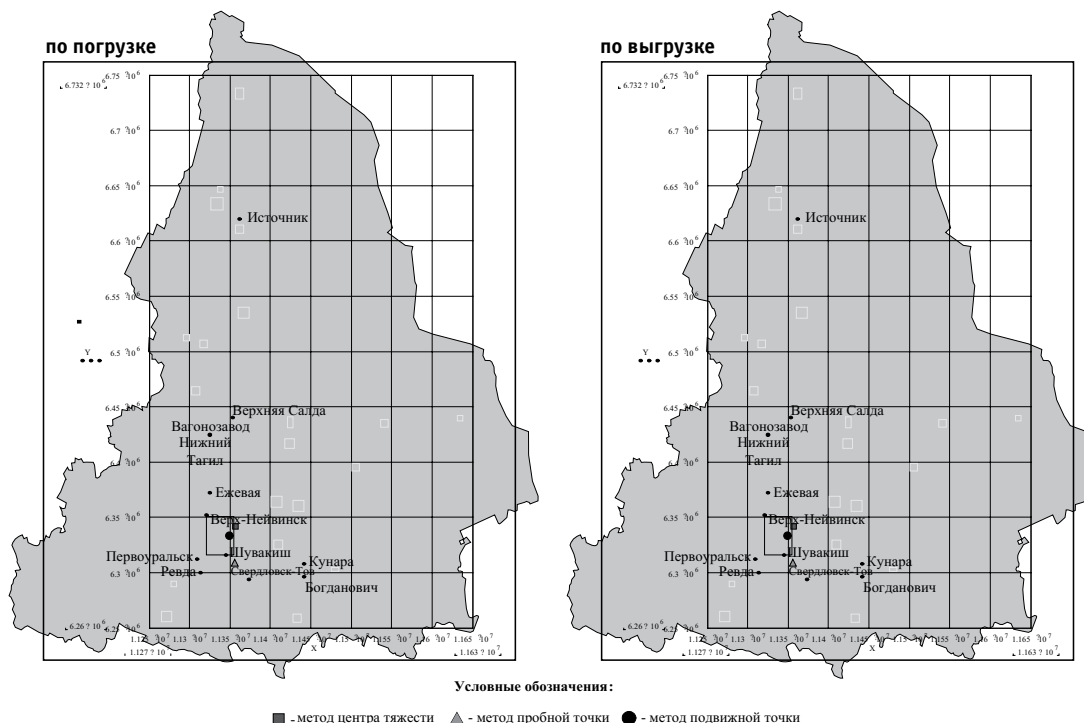


Рисунок 2 — Схема контейнерных пунктов с нанесением координат распределительного центра

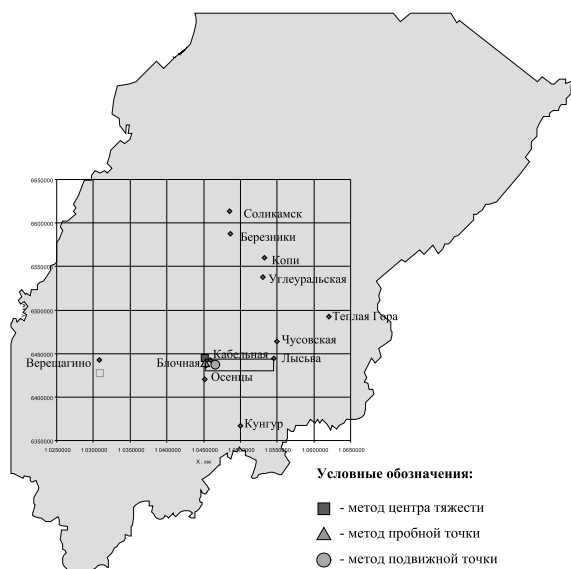


Рисунок 3 — План размещения контейнерных пунктов и результаты расчетов распределительного центра по погрузке и выгрузке среднетоннажных контейнеров

щество расчета по третьему методу дает оптимальную область, в которой на основании мнения экспертов и соблюдая требования по защите окружающей среды можно разместить распределительный центр.

Применение методов определения координат распределительного центра для Пермского края и Тюменской области (табл. 7 и 8)

Полученные результаты (см. табл. 7) по трем методам нанесены на схемы рис. 3-4.

Полученные результаты (см. табл. 8) по трем методам нанесены на схему рис. 5.

Расчет координат распределительных центров по трем методам по погрузке и выгрузке крупнотоннажных контейнеров не производился, так как работа с этими видами контейнеров производится в Тюменской области только на станции Войновка.

Как видно из рис. 3-5, чем больше расстояния между координатами контейнерных пунктов, тем обширнее оптимальная область, также из данных схем следует, что координаты, рассчитанные по трем методам, располагаются внутри или близко к этой области, что подтвержда-



Таблица 8 — Координаты распределительного центра по работе с контейнерами в Тюменской области

Тип контейнера	Вид работы	Метод расчета					
		центра тяжести		пробной точки		подвижной точки	
		$X_{сг}$, км	$Y_{сг}$, км	$X_{пт}$, км	$Y_{пт}$, км	$X_{пт}$, км	$Y_{пт}$, км
Среднетоннажные	Погрузка	12 528 983	6 349 828	12 500 000	6 300 000	12 521 200	6 428 550
	Выгрузка	12 334 241	6 342 765	12 334 241	6 342 765	12 442 400	6 325 900

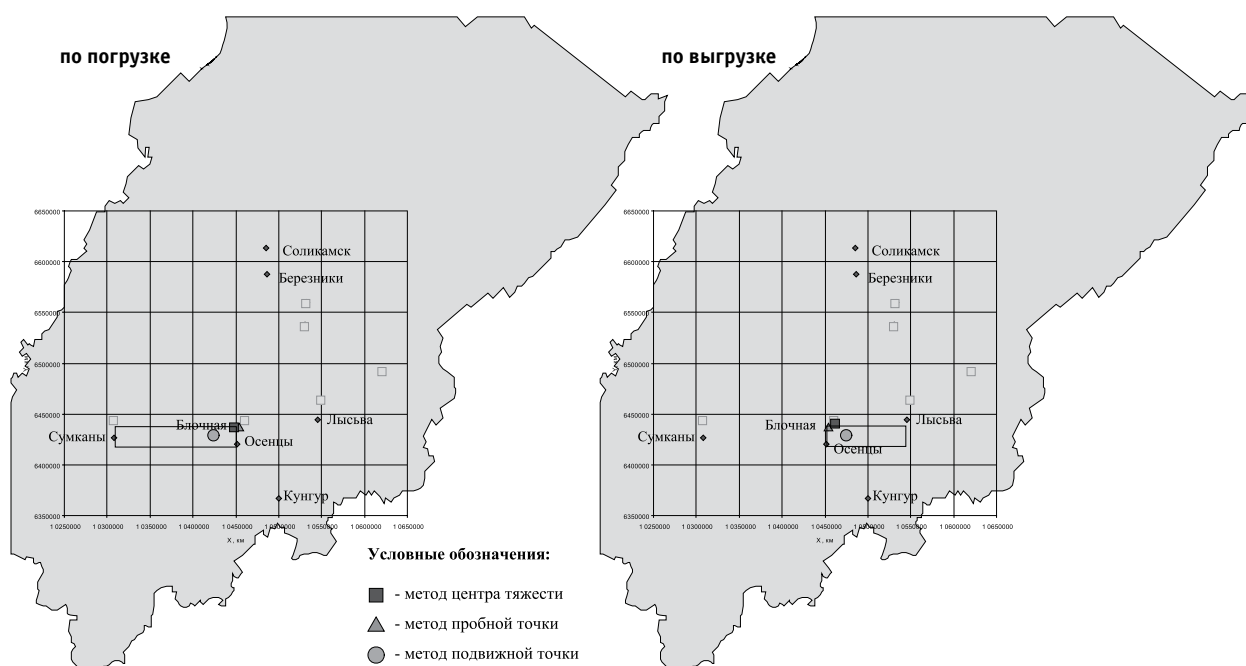


Рисунок 4 — Схема контейнерных пунктов с нанесением координат распределительного центра для крупнотоннажных контейнеров



Рисунок 5 — План размещения контейнерных пунктов и результаты расчетов координат распределительного центра



ет существующую методику по определению оптимальной области и координат распределительного центра.

Выводы

На основании проведенного анализа методов по определению координат распределительного центра в областях, входящих в состав Свердловской железной дороги, выяснилось, что все три метода указывают на концентрацию работы вблизи крупнейших железнодорожных транспортных узлов, таких как Свердловск-Товарный, Блочная, Тюмень. В зоне этих станций целесообразно создание распределительных центров.

Результаты исследования также показали, что метод подвижной точки приближен к действительности с ранее известными методами и может быть применен на практике для решения задач по определению оптимального местонахождения распределительного (базового) центра по работе не только с контейнерами,

но и с другими транспортными единицами. Поэтому на основании предложенного метода создается программный комплекс.

Преимуществом разработанного метода подвижной точки перед другими является отсутствие зависимости полученного результата от таких факторов, как развитость дорожных сетей, геометрия формы обслуживаемой территории, тариф на перевозку груза. Поэтому данный метод доступен для любой из областей Российской Федерации и применим не только к железным дорогам.

Расположение распределительных центров в районе гг. Екатеринбурга, Перми, Тюмени позволит оптимизировать потенциальные точки пересечения множества логистических цепей, которые, в свою очередь, создают соответствующие системы хранения и переработки, рассчитать мощности этих терминалов для рациональной трансформации материальных (грузовых) потоков по комплексу показателей.

Литература

1. *Модели и методы теории логистики: Учебное пособие; 2-е изд. / Под ред. В.С. Лукинского. — СПб: Питер, 2007. — 448 с.*
2. *Курганов В.М. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров: Учебно-практическое пособие. — М.: Книжный мир, 2005. — 432 с.*
3. *Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: Учебно-практическое пособие. — М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. — 176 с.*
4. *Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. — М.: Транспорт, 1972. — 208 с.*
5. *Логистика в примерах и задачах: Учебное пособие / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. — М.: Финансы и статистика, 2007. — 288 с.*
6. *Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие; 2-е изд. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2007. — 452 с.*



МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДЯЩЕГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ГРУЗОВУЮ СТАНЦИЮ С УЧЕТОМ ЕГО СУТОЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ

В статье описана математическая модель и с ее помощью исследуются параметры транспортного потока, входящего на грузовую станцию. Делаются выводы о характере колебаний входящего транспортного потока и даются рекомендации по учету этих колебаний при проектировании и эксплуатации грузовых станций общего пользования.

Введение

Наличные пропускная и перерабатывающая способности станций и транспортных узлов — основные технические параметры транспортной инфраструктуры, зависящие от параметров грузового и транспортного потоков [1, 2]. Определение этих параметров затруднено, поскольку они постоянно подвержены различного рода колебаниям — сезонным, месячным, недельным, суточным и т. д. [3, 4], и пренебрежение ими может привести к занижению или завышению количественных параметров, что, в свою очередь, приводит к экономическим потерям.

Наиболее точное описание грузовых станций и терминалов для получения проектных технико-технологических параметров достигается при помощи системного подхода [2, 5]. Его реализация чаще всего осуществляется путем построения математической модели. Для построения модели грузовой станции или терминала необходимо учесть влияния колебаний транспортного потока.

В данной статье с помощью стохастических методов определяются параметры транспортного потока, которые позволяют описывать его с учетом суточных колебаний.

1. Анализ параметров входящего на грузовую станцию потока

Наличная пропускная способность $n_{\text{ед}}$ грузовой станции означает, какое количество расчетных транспортных единиц может быть пропущено через нее за расчетный период времени,

$$n_{\text{ед}} = \frac{1440m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}}, \quad (1)$$

где m — число параллельно работающих однородных элементов рассчитываемой технологической линии;

$\sum T_{\text{пост}}$ — время в течение суток, необходимое для выполнения постоянных операций, не связанных с непосредственной функцией элемента;

$t_{\text{зан}}$ — средневзвешенное время занятия элемента технологической линии одной транспортной единицей [1, 2].

Наличная перерабатывающая способность $N_{\text{гр}}$ показывает, какое количество транспортных или грузовых единиц может переработать грузовая станция за расчетный период времени,

$$N_{\text{гр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{г}}} \frac{T_i - t_{\text{пост},i}^{\Phi}}{T_{\text{ц}}^{\Phi} (1 + \rho_{\Phi,i})} K_{\text{ц},i} b_i, \quad (2)$$

где $N_{\text{г}}$ — количество грузовых фронтов, обслуживаемых одним локомотивом;

T_i — расчетный период работы i -го грузового фронта;

$t_{\text{пост},i}^{\Phi}$ — время для выполнения постоянных операций на i -м фронте, не связанных с непосредственной функцией фронта;

$T_{\text{ц}}^{\Phi}$ — цикл работы грузовых фронтов;

$K_{\text{ц},i}$ — количество подач (уборок) вагонов на i -м грузовом фронте за время $T_{\text{ц}}^{\Phi}$;

b_i — среднее количество вагонов в одной подаче на i -й фронт;

$\rho_{\Phi,i}$ — коэффициент, учитывающий возникновение отказов погрузочно-выгрузочных механизмов на i -м грузовом фронте.

Недостаточный уровень наличных значений приводит к формированию очередей и возникновению дополнительных расходов, связанных с непроизводительными простоями подвижного состава. Неоправданно большие резервы приводят к повышению себестоимости единицы транспортной продукции. Поэтому определению пропускной и перерабатывающей способностей при проектировании уделяется особое внимание [1, 2].

Для оценки оптимального уровня наличной пропускной и перерабатывающей способностей необходимо иметь наиболее точный прогноз о размере их потребных величин. Для этого устанавливаются параметры входящего транспортного потока.

Источником статистических данных послужило исследование грузовой станции общего пользования С-Т [6], на примере которой определяются параметры входящего транспортного потока. Под последним понимается поток вагонов передаточных поездов, поступающих на грузовую станцию С-Т с сортировочной станции.





Рисунок 1 — Эмпирический закон распределения случайной величины X и теоретический закон с параметрами $a = 33,3$ и $\sigma = 7,31$.

В. Я. Негрей предложил методику оценки колебаний транспортного потока с помощью законов распределения случайных величин — количества вагонов в поступающих поездах X и интервалов между поездами T [3]. При очевидных достоинствах данной методики она не позволяет в достаточной мере учитывать суточные колебания входящего транспортного потока. В свою очередь, суточные колебания оказывают существенное влияние на эксплуатационные показатели. Предлагаемая ниже модель позволяет учесть влияние того, что различные элементы, входящие в системы грузовых станций общего пользования, имеют разные режимы работы, а транспортный поток подвержен суточным колебаниям.

Вместо величины T введем величину τ — время прибытия поезда на станцию. Величина τ позволит учесть распределение моментов прибытия поездов на станцию по часам в течение суток. Далее нам необходимо знать, сколько поездов прибывает на станцию за сутки. Введем случайную величину s — количество передаточных поездов, прибывающих с сортировочной станции на грузовую станцию общего пользования за сутки.

Режим прибытия поездов на станцию в течение суток неодинаков и зависит от диспетчерских смен, периода суток и общего числа поездов, прибывающих на станцию. Поэтому моменты прибытия передаточных поездов подчиняются в течение суток разным законам распределения. Для установления законов распределения, по которым нужно определять время

прибытия поездов на станцию, вводится случайная величина L_i .

В статье [6] определяются законы распределения случайных величин X , τ , s и L_i , которые позволяют создать законченную математическую модель, описывающую транспортный поток, входящий на станцию со стороны железнодорожного транспорта. С помощью построенной математической модели будет установлен характер суточных колебаний транспортного потока.

Характеристика суточных колебаний транспортного потока позволяет на основе анализа формул (1) и (2) оценить влияние суточных колебаний на работу станции и дать рекомендации по устранению их негативного воздействия.

1.1. Определение законов распределения случайных величин, входящих в математическую модель транспортного потока

В [6] был проведен анализ статистических данных и выдвинуты гипотезы о законах распределения случайных величин, входящих в предлагаемую математическую модель. Состоятельность гипотез была проверена критериями Пирсона и Колмогорова. Согласно выдвинутым гипотезам, закон распределения случайной величины X (количество вагонов в составе поезда) можно выразить с помощью нормального распределения (рис. 1) с параметрами $a = 33,3$ и $\sigma = 7,31$.

Далее в [6] определены временные характеристики транспортного потока, входящего на станцию С-Т. Для этого была построена гистограмма распределения случайной величины τ с разбиением на 24 интерва-



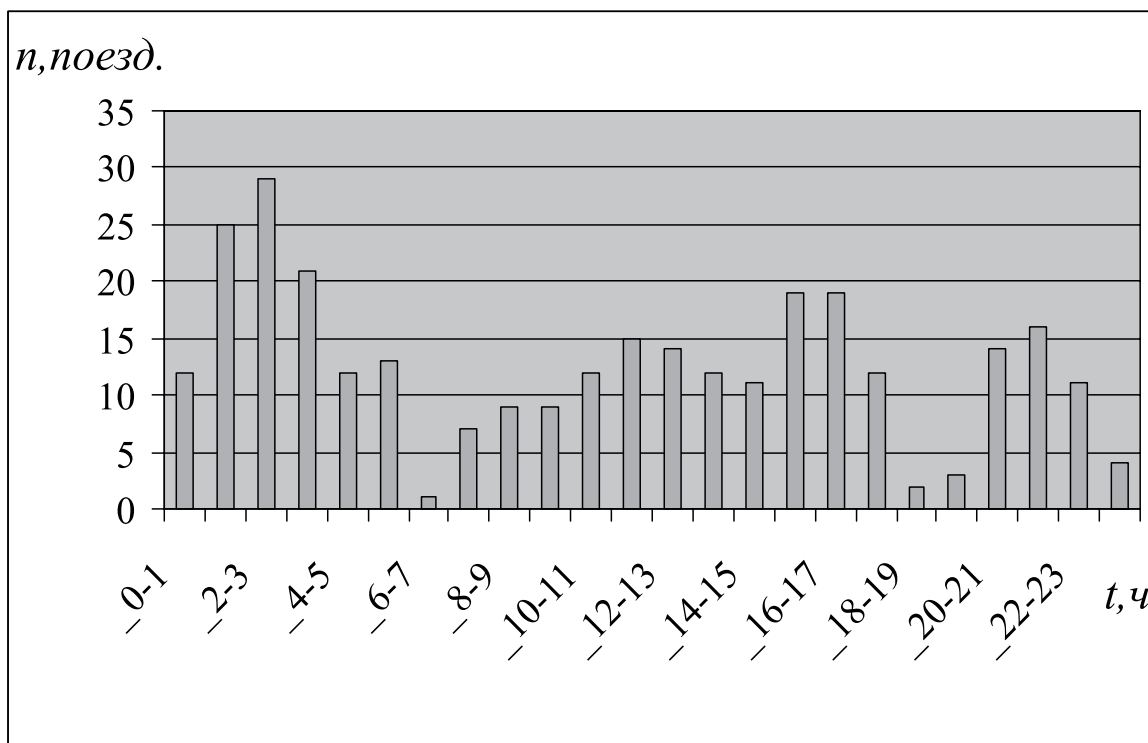


Рисунок 2 — Гистограмма распределения случайной величины τ

ла, т. е. на число, равное количеству часов в сутках. Гистограмма распределения случайной величины τ (рис. 2) получилась полимодальной, что свидетельствует о неоднородности данных выборки значений случайной величины τ .

Такое поведение случайной величины объясняется особенностями технологического процесса. Период с 7 до 18 часов совпадает с дневной диспетчерской сменой, а с 18 до 7 — с ночной. Режимы работы диспетчеров днем и ночью отличаются.

Рассмотрим сначала дневную диспетчерскую смену. Днем работают все элементы, входящие в систему грузовой станции общего пользования. Поэтому не возникает простоев из-за отказа в обслуживании каким-либо элементом станции, за исключением нештатных ситуаций и технических отказов. Даже если грузовые фронты станции еще не закончили грузовые операции, станция может принять передаточный поезд в приемоотправочный парк и начать выполнение коммерческих операций. Затем состав рассортируют по пунктам погрузки и выгрузки и подготовят подачи к грузовым фронтам. Как только грузовые фронты освободятся, уже подготовленные вагоны будут сразу поданы вместо вагонов предыдущих подач. Вследствие указанных выше причин при любой технической возможности в течение рабочего дня диспетчер стремится сразу же отправить передаточный поезд с сортировочной станции на грузовую. В то же время,

чтобы повысить производительность локомотивов и локомотивных бригад, диспетчер накапливает составы как можно большей длины. Здесь очевидна аналогия с классическим графиком равновесия спроса и предложения, но роль спроса выполняют затраты на вагоно-часы простоя, а роль предложения — локомотиво-часы пробега.

В процессе накопления диспетчер ждет удобного случая, чтобы отправить поезд, т. е. появления свободной нитки графика и свободного локомотива. Обычно диспетчер привязывается к нескольким возможным ниткам графика и ждет прибытия заключающей группы вагонов на сортировочную станцию. Заключающая группа содержит столько вагонов, сколько необходимо для формирования поезда желаемой длины. Она прибывает в момент времени, когда вагоно-часы простоя еще не превысили нормативного значения, а ее размер и время прибытия — случайные величины. Это, в свою очередь, порождает случайный характер исследуемых нами величин X и τ . На практике задача диспетчера по формированию и отправлению передаточных поездов не является строго детерминированной и решается главным образом на основании его опыта и интуиции.

В ночное время вагоны, поступившие на грузовую станцию общего пользования, не сразу попадают в переработку, а находятся в отстое, ожидая начала работы различных подразделений станции и автотранспорта. Поэтому при осуществлении подач но-



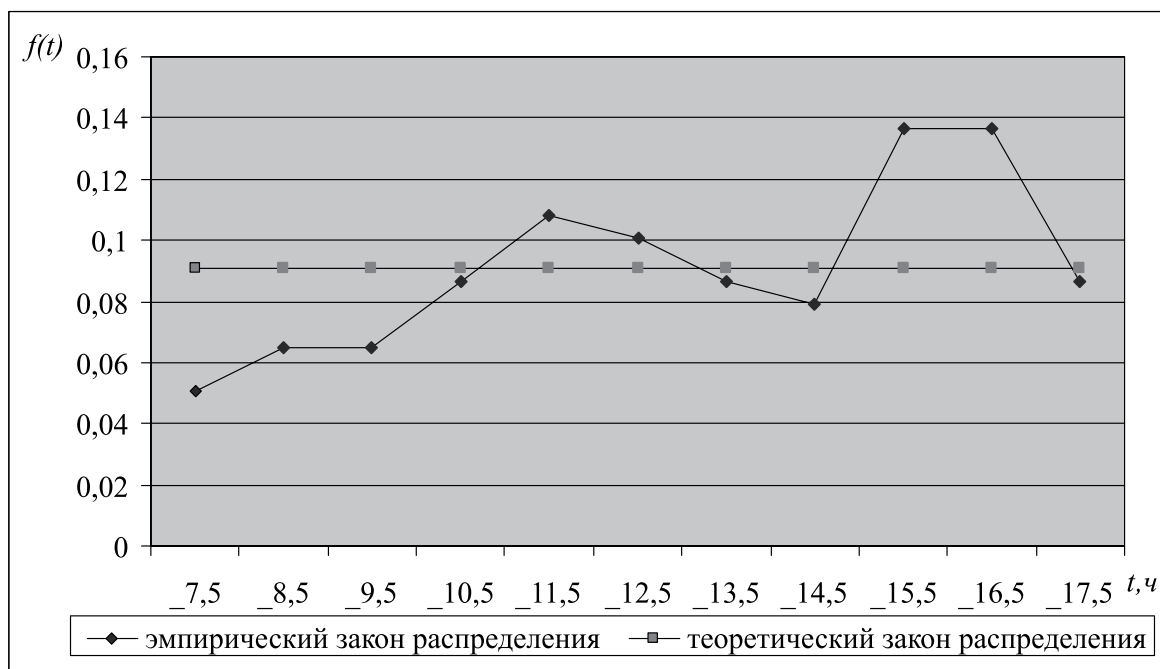


Рисунок 3 — Эмпирический и теоретический законы распределения случайной величины τ в дневную рабочую смену

чью диспетчер руководствуется совершенно иными принципами. Здесь ему нет необходимости торопиться с отправлением поезда, так как до определенного момента безразлично, на каких путях будет осуществляться отстой состава. Однако в случайный момент времени происходит заполнение пути в парке сортировочной станции, и диспетчеру необходимо освободить его для дальнейшего использования. Другие критерии, позволяющие определить целесообразность отправления передаточного поезда с сортировочной станции в ночное время, — наличие свободной нитки графика движения поездов. По указанным выше причинам приоритет передаточных на грузовую станцию поездов по отношению к другим категориям поездов в ночное время сильно падает, поэтому для их отправления используют невостребованные нитки графика.

Учитывая все отмеченные факторы и вид графика (см. рис. 2), разобьем сутки на две части, а статистическую совокупность — на три. Период с 7.00 до 18.00 будем считать дневной сменой и все значения, попавшие в данный период, — одной выборкой. А значения, попавшие в ночной период, разобьем на две выборки, ограниченные периодами времени с 19.00 до 0.00 и с 0.00 до 7.00.

Исследование [6] показало, что нет оснований отвергать гипотезу о равномерном распределении случайной величины τ (рис. 3) в период времени с 7.00 до 18.00. При этом математическое ожидание α равно 12,5, а среднее квадратичное отклонение σ равно 3,18.

Анализ статистических данных для ночной смены [6] показал, что здесь случайная величина τ по-разному ведет себя в периоды времени с 0.00 до 7.00 и с 18.00 до 0.00. Было установлено, что нет оснований отвергать гипотезу о нормальном законе распределения случайной величины τ в эти периоды времени (рис. 4 и 5).

Для периода времени с 0.00 до 7.00 математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение равны соответственно $\alpha = 2,72$ и $\sigma = 1,77$.

Для периода времени с 18.00 до 0.00 математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение равны $m_x = 21,36$ и $\sigma^* = 1,19$.

Для определения параметров потока, поступающего на грузовую станцию общего пользования, необходимо знать, сколько передаточных поездов прибывает на станцию и в какие моменты времени это происходит. Для этого введем дискретную случайную величину s , которая принимает целые значения от 0 до n_{cl} .

Значение 0 соответствует тем дням, когда на станцию не прибывает ни одного передаточного поезда. Такое явление крайне редкое и возникает по каким-либо чрезвычайным причинам, поэтому оно несущественно.

Максимальное число передаточных поездов, поступающих на станцию за сутки, ограничено двумя факторами. Во-первых, это мощность транспортного потока. Она зависит от количества грузовых и транспортных единиц назначением на данную станцию, которые поступают в транспортную систему за единицу времени. И во-вторых, наличная перерабатывающая способность станции. То есть в случае, когда станци-



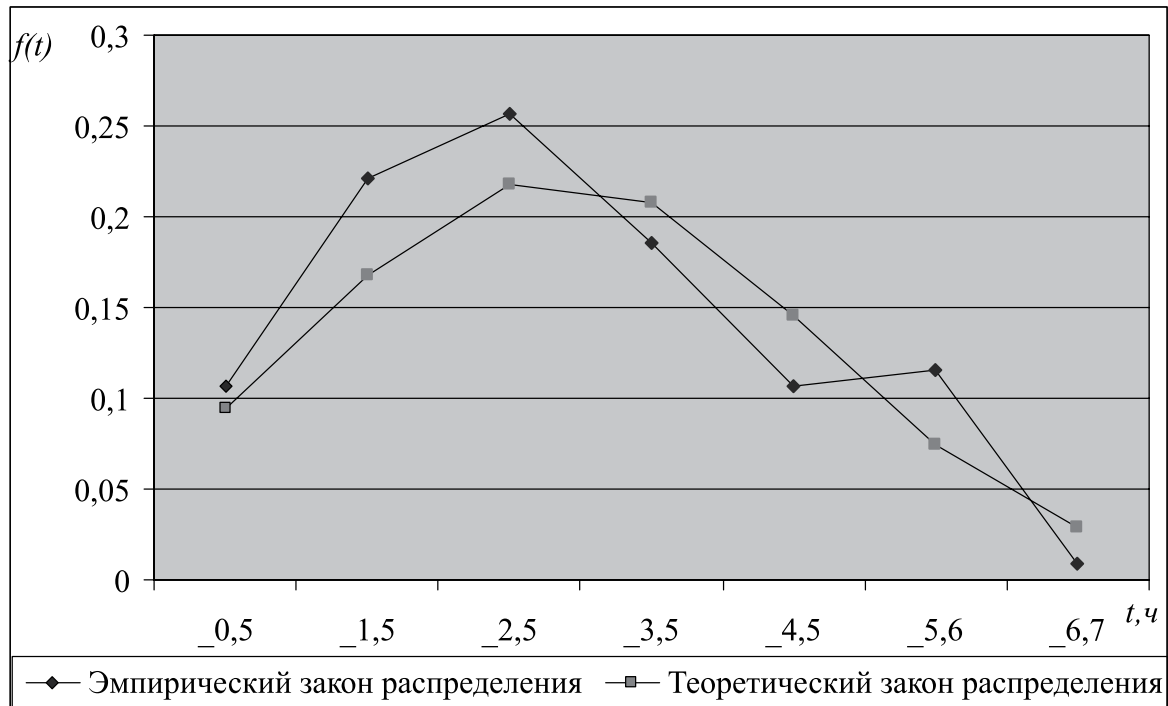


Рисунок 4 — Эмпирический и теоретический законы распределения случайной величины τ в ночную рабочую смену и период времени с 0.00 до 7.00

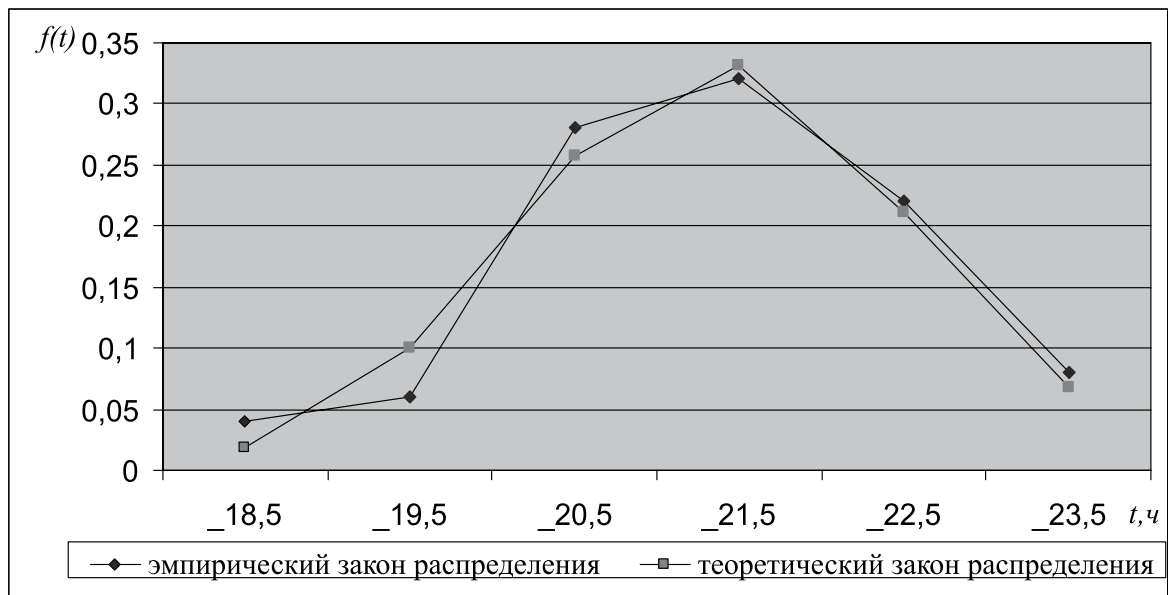


Рисунок 5 — Эмпирический и теоретический законы распределения случайной величины τ в период с 18.00 до 0.00



онная система загружена на 100%, станция не может принять поезд. В нашем случае максимальное число передаточных поездов составило 3. Таким образом, дискретная случайная величина s принимает целые значения от 1 до 3.

Определим статистический закон распределения случайной величины s [7] (табл. 1).

Таблица 1 — Закон распределения случайной величины s

s_i	1	2	3
w_i	0,4	0,52	0,08

На основании закона распределения устанавливается, в какие дни исследуемого периода будет осуществляться одна, две и три подачи. Далее необходимо определить, как эти подачи будут распределены в течение суток между установленными выше законами распределения случайной величины τ . Для этого используем случайную величину L_i , показывающую, по какому закону распределения определяется момент прибытия i -й передачи.

Анализ показал, что в те дни, когда на станцию прибывает один передаточный поезд, момент прибытия может произойти в любое время суток. Это значит, что величина τ распределена случайным образом между всеми тремя определенными в статье законами распределения. Установим закон распределения случайной величины L_i . Она принимает значения {1, 2, 3}. Каждому из них соответствует свой закон распределения случайной величины τ . Значению 1 величины L_i соответствует период времени с 0.00 до 7.00, соответственно 2 — с 7.00 до 18.00 и 3 — с 18.00 до 0.00. Тогда статистический закон распределения случайной величины для первой подачи L_1 будет иметь вид, представленный в табл. 2.

Таблица 2 — Закон распределения случайной величины L_1

L_1	1	2	3
W_1	0,61	0,35	0,04

Аналогичным образом определяются статистические законы распределения для второй и третьей подачи (табл. 3).

Таблица 3 — Закон распределения случайной величины L_2

L_2	2	3
W_2	0,73	0,27

Моменты прибытия 3-й подачи в сутки за исследуемый период наблюдения всегда приходились на промежуток времени с 18.00 до 0.00.

Таким образом, мы получили все необходимые зависимости, выраженные в виде законов случайных величин, для того чтобы прогнозировать параметры входящего транспортного потока.

2. Прогнозирование параметров входящего потока с помощью математической модели

Для прогнозирования параметров входящего транспортного потока предлагается использовать математическую модель, методом решения которой является следующий алгоритм. Сначала с помощью величины s устанавливается количество подач, прибывающих на станцию в данные сутки. Для этого на основе закона распределения генерируется необходимое количество значений случайной величины. Затем случайным образом либо по очереди производится отбор значений величины s из генерированной совокупности. Отбор осуществляется необходимое число раз, равное числу суток периода моделирования. С помощью величины L_i для каждого передаточного поезда, прибывающего в каждые сутки расчетного периода, устанавливаются законы распределения величины τ , по которым нужно определять момент прибытия передаточных поездов. После этого по законам распределения случайной величины τ можно найти ожидаемые моменты прибытия передаточных поездов на станцию. С помощью закона распределения случайной величины X устанавливается ожидаемое количество вагонов в прибывших поездах.

3. Выводы и рекомендации

Созданная модель позволяет воспроизводить распределение моментов прибытия поездов на станцию с учетом особенностей внутриузловых графиков движения, режима работы сортировочной станции, формирующей передаточные поезда, и грузовой станции. Распределение моментов прибытия передаточных поездов на станцию существенно влияет на пропускную и перерабатывающую способности станции. В самом деле, рассмотрим формулу (2). Часть формулы

$$\frac{T_i - t_{\text{пост. } i}^{\Phi}}{T_u^{\Phi} (1 + \rho_{\Phi, i})}$$
 фактически показывает, сколько рабочих

циклов совершает грузовой фронт за сутки. Произведение $k_{\text{ц}} b_i$ показывает, какое количество вагонов готово к переработке к моменту начала следующего производственного цикла грузовых фронтов. Данное произведение напрямую зависит от того, в какой момент времени τ прибывают передаточные поезда на станцию и сколько вагонов x они содержат.

Режим работы грузовых фронтов, как отмечалось выше, обычно составляет 8 или 12 ч. Чем ближе момент прибытия передаточного поезда на станцию к концу смены, тем меньше рабочих циклов грузовых фронтов, в которые могут попасть в переработку вагоны из данного поезда. А это означает, что наличная перерабатывающая способность станции в данные сутки также будет снижена [6].

Следствием описанных процессов являются непроизводительные простои подвижного состава, а также увеличение объема переработки на следующие сутки. Если объем суточной переработки превысит наличную перерабатывающую способность станции,





режим работы станции изменится. В результате ухудшаются условия производства маневров на станции, возникают очереди на входе в станционную систему, отказы и аварии. Снижается надежность станционной системы.

Для ликвидации негативных влияний суточных колебаний на работу грузовых станций следует учитывать возможность сгущения транспортного потока. Исходя из характера прогнозируемых сгущений транспортного потока нужно проектировать техническое оснащение станции, а также предусматривать необходимые технологические операции. Одним из наиболее эффективных способов является сокращение времени на рабочий цикл грузовых фронтов. Сокращение времени на рабочий цикл достигается путем увеличения мощности или количества погрузочно-разгрузочных

механизмов. Введение каждого дополнительного погрузочно-разгрузочного механизма требует технико-экономического обоснования.

Еще один способ улучшения эксплуатационной надежности — повышение вместимости путей парков приема и отправления станции, для того чтобы в них мог производиться отстой вагонов в период сгущения транспортного потока. В таком случае не будет происходить ухудшения условий производства маневров на станции. Однако тогда возникнут дополнительные простои подвижного состава.

Разнообразие и неравнозначность предлагаемых мер по ликвидации негативного влияния суточных колебаний требует дополнительного изучения взаимосвязи ритмов работы станции и параметров входящего транспортного потока.

Литература

1. Железнодорожные станции и узлы / Под ред. В.Г. Шубко, Н.В. Правдина. — М.: УМК МПС России, 2002. — 368 с.
2. Логистические транспортно-грузовые системы / Под ред. В.М. Николашина. — М.: Академия, 2003. — 304 с.
3. Прогнозирование грузовых потоков / Н.В. Правдин, М.Л. Дыканюк, В.Я. Негрей. — М.: Транспорт, 1987. — 247 с.
4. Семенов В.М. Исследование технологии работы грузовых пунктов с учетом неравномерности вагонопотоков: Автореф. ... к.т.н. — Л.: РТП ЛИИЖТ, 1968. — 28 с.
5. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / 2-е изд., Пер. с англ. — М.: ЗАО Олимп-Бизнес, 2006. — 640 с.
6. Маслов А.М., Казаков А.Л. Определение параметров входящего транспортного потока на грузовой станции общего пользования с помощью стохастических методов / УрГУПС. — Екатеринбург, 2007. — Деп. в ВИНТИ 22.11. 07, № 1090-В2007. — 52 с.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 448 с.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ

Проблема взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах — одна из самых болезненных и постоянно обсуждаемых. Бывают периоды, когда «брошенными» на подходах к портам оказываются более 200 составов. На совместных совещаниях руководителей двух видов транспорта стандартными претензиями являются несоответствие технического развития стыковой подсистемы и неправильный подвод транспортных средств противоположной стороны.

1. Проблема взаимодействия

Анализ показывает, что проблема эффективного взаимодействия включает три взаимосвязанные части — взаимодействие техническое, технологическое и согласование управления (рис. 1) [1, 2].

Поэтому, во-первых, необходимо грамотно рассчитывать технические параметры взаимодействующих подсистем.

Во-вторых, разработать принципы построения управляемой технологии с двух сторон взаимодействия. При этом следует исходить из принципа, что более управляемая технология должна быть с той стороны, в которой объективно возможна большая управляемость. В данном случае это железнодорожная подсистема, ибо подходящий поток более многоструйный (для погрузки одного судна требуется груз из нескольких сот вагонов).

2. Структура и функции подсистем во взаимодействующих системах

2.1. Структура зон взаимодействия

Взаимодействие начинается с момента выбора ритма отгрузки грузов назначением в порт и появления судов в прогнозной области.

В логистике эти пространства рассматривались без деления на составляющие. Анализ показал, что их надо структурировать, так как отдельные части существенно отличаются по характеру и задачам взаимодействия. Необходимо четко выделить зоны взаимодействия, сформулировать задачи, определить критерии и выбрать методы оптимизации взаимодействия.

По структурным и функциональным особенностям предлагается выделить по три зоны взаимодействия со стороны морского и железнодорожного транспорта (рис. 2). Проблема взаимодействия рассматривается на примере погрузки судов по следующим причинам:

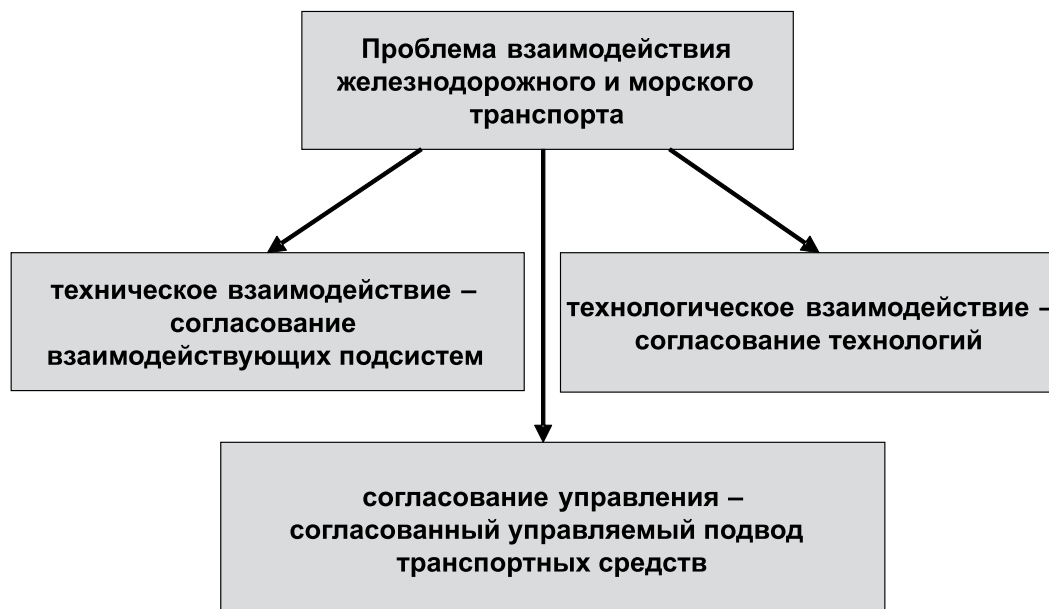


Рисунок 1 — Составные части проблемы взаимодействия железнодорожного и морского транспорта



денных суммарных задержек в грузовых и технологических операциях

$$\sum_i \sum_j c_i \tau_i(t) + \sum_j \sum_i c_j \tau_j(t) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\tau_i(t)$ — задержка при выполнении технологической операции i -го типа, начавшейся в момент t ;

c_i — затраты, связанные с единой задержкой операции i -го типа;

$\tau_j(t)$ — задержка при выполнении грузовой операции j -го типа, начавшейся в момент t ;

c_j — затраты, связанные с единичной задержкой операции j -го типа.

Соотношение величин c_i и c_j выбирается в зависимости от степени «стесненности» железнодорожной станции с помощью имитационных экспериментов. Нерациональное использование технологических возможностей станции приведет, во-первых, к задержке грузовых операций, а во-вторых, оставит станцию в плохом функциональном состоянии для следующего судна. В качестве метода оптимизации процессов взаимодействия в ближней зоне предлагается имитационный метод динамического согласования И-МДС с использованием подробной модели.

2.3. Зоны среднего взаимодействия

К зонам среднего взаимодействия относятся с морской стороны суда в акватории порта, а с железнодорожной — составы на станциях в зоне ожидания. Зона ожидания — это несколько близлежащих станций, которые используются как некоторый накопитель. Там находятся составы, ожидающие прибытия определенного судна.

Управление заключается в управляемом подводе судов на рейде к определенному причалу и в управляемом подводе составов из зоны ожидания на припортовую станцию. Степень управляемости процессов в железнодорожной подсистеме значительно больше.

Задачей взаимодействия является управляемый подвод судов и составов. Критерием — минимум отклонений от заданного ритма прибытия составов на припортовую станцию и судов к причалам

$$\sum_k \sum_l c_k \Delta \tau_k(t) + \sum_l \sum_i c_l \Delta \tau_l(t) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $\Delta \tau_k(t)$ — задержка в подводе состава k -го типа, операция подвода началась в момент t ;

c_k — затраты, связанные с единой задержкой состава k -го типа;

$\Delta \tau_l(t)$ — задержка в подаче судна l -го типа к причалу, операция началась в момент t ;

c_l — затраты, связанные с единичной задержкой l -го судна.

Методом оптимизации взаимодействия является имитационный метод динамического согласования И-МДС на укрупненной модели, соотношение величин c_k и c_l выбирается имитационными экспериментами.

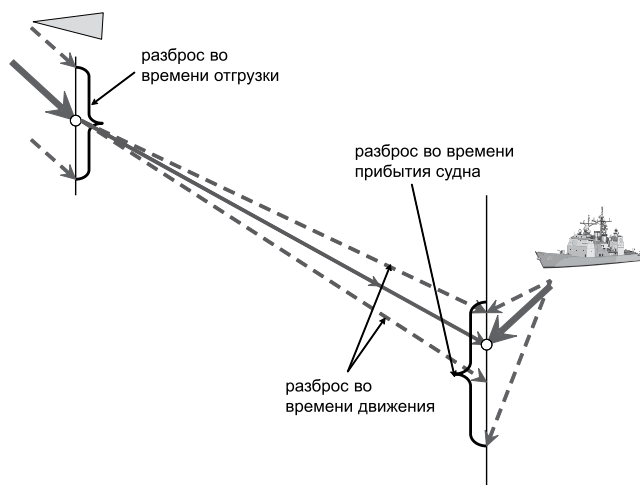


Рисунок 4 — Случайные факторы в дальних зонах взаимодействия

2.4. Зоны дальнего взаимодействия

С морской стороны к этой зоне относятся суда в прогнозной области (10–20 сут), с железнодорожной — грузопотоки от пунктов погрузки. Здесь невозможно точное управление, так как периоды движения судов и вагонов большие, поэтому совокупность случайных факторов влияет слишком сильно на конечный результат (рис. 4). На подход судов серьезное воздействие оказывают погодные условия. Исследования показывают, что случайный разброс во времени прибытия весьма существенный.

В железнодорожной системе действует ряд факторов, существенно затрудняющий подвод составов в пункт назначения в точное время:

а) обеспечение порожняком пунктов погрузки имеет в значительной мере случайный характер. Это связано и со случайными колебаниями выгрузки вагонов, и с недетерминированностью процесса перемещения порожних вагонов от пунктов выгрузки к пунктам погрузки, и со случайным колебанием доли годных вагонов в общем потоке порожняка;

б) колебания в скорости продвижения грузопотоков разных категорий с различных расстояний;

в) ритмы погрузки имеют в значительной мере дискретный характер, не позволяющий плавно их регулировать (например, на металлургических заводах прокат одного типа металла длится, как правило, не менее 10 сут, а затем меняют валки).

Основная задача вытекает из функциональных особенностей зон дальнего взаимодействия. С железнодорожной стороны это будет обеспечение функциональной готовности буферной зоны. Под буферной зоной здесь понимаются зоны ближнего и среднего взаимодействия, которые непосредственно обеспечивают погрузку очередного судна. Функциональная готовность — это когда груза в буферной зоне (на складах, припортовой станции и станциях в зоне



ожидания) достаточно для погрузки судна. Естественно, это нужно рассматривать по всем струям потока. Критерием для управления грузопотоками является минимум отклонения от оптимальной границы линии относительного заполнения буферной зоны

$$\sum_i \sum_\gamma (q_\gamma(t) - q_\gamma^*)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где q_γ^* — оптимальный запас груза γ -го типа в буферной зоне. Он не равен нулю, так должен быть страховой запас на непредвиденные случаи. Он может определяться по методике управления запасами и проверяться имитационными экспериментами; $q_\gamma(t)$ — фактическое относительное заполнение буферной зоны в момент t .

Относительное заполнение (рис. 5) означает соответствие наличия груза и его потребности

$$q(t) = Q^+(t) - Q^-(t), \quad (4)$$

где $Q^+(t)$ — наличие груза в буферной зоне; $Q^-(t)$ — потребность в грузе.

Термин «наличие груза» $Q^+(t)$ подразумевает и возможность подачи его в срок.

Методом оптимизации является строгий метод динамического согласования МДС.

Таким образом, три зоны взаимодействия работают как подсистемы в системах взаимодействия. При этом зоны имеют отличие в задачах взаимодействия, критериях и методах оптимизации (табл. 1).

Конкретные выводы по проблеме взаимодействия можно сформулировать следующим образом.

1. Анализ зон взаимодействия показал, что взаимодействующие подсистемы надо рассматривать структурно и выделять в них три зоны взаимодействия.
2. Зоны взаимодействия — дальняя, средняя и ближняя — отличаются по задачам, критериям и соответственно методам оптимизации взаимодействия.
3. Задача дальней зоны, начинающейся в пунктах погрузки, — поддержание функциональной готовности буферной зоны, в которую входят ближняя и средняя. Методом оптимизации может служить метод динамического согласования.
4. Две остальные зоны непосредственно обеспечивают погрузку судна, и им нужно целенаправленно выстроить технологию под ритм погрузки. Наиболее

Таблица 1 — Задачи и критерии зон взаимодействия

Зона	Задача	Критерий	Метод
Дальняя	Согласованный подвод	Функциональная готовность буферной зоны	МДС
Средняя	Управляемый подвод	Минимум отклонений от заданного ритма	И-МДС на укрупненной модели
Ближняя	Обеспечение ритма погрузки	Минимум задержек в грузовых и технологических операциях	И-МДС на подробной модели

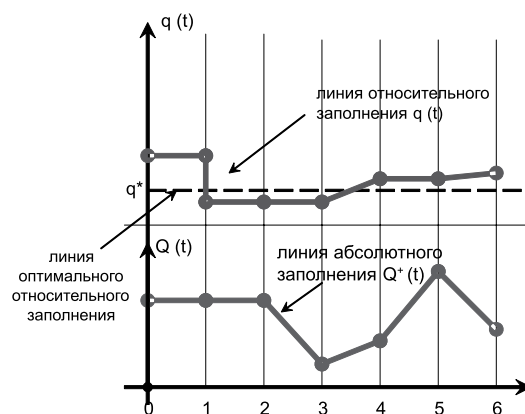


Рисунок 5 — Соотношение абсолютного и относительного заполнения буферной зоны

эффективным является имитационный метод динамического согласования. Он позволяет выстроить технологические цепочки разной длины под конечные ритмы (в данном случае — под ритм погрузки).

5. Управляемая технология активизирует так называемые динамические резервы, которые по функции замещают фактические резервы. То есть при эффективном управлении нужно меньше резервных путей и складов.

6. Для грамотного расчета технических параметров узла необходим надежный прогноз потоков. Анализ методик прогнозирования позволяет заключить, что наиболее достоверный прогноз обеспечивает глубокое моделирование экономических связей и зависящих от них потоков.

Литература

1. Персианов В. А., Скалов К. Ю., Усков Н. С. Моделирование транспортных систем. — М.: Транспорт, 1972. — 208 с.
2. Козлов П. А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: Дис. ... д-ра наук. — Липецк: ЛПИ, 1986.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СИСТЕМОЙ ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ 94 КВ

В связи с возрастающими объемами транзитных перевозок решается задача увеличения пропускной, провозной способности и определения наиболее выгодного варианта электрификации участка железной дороги различными системами тягового электроснабжения с заданным грузопотоком.

Основные положения проекта стратегии развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 г. направлены на комплексное решение двух взаимосвязанных стратегических задач: это обеспечение опережающего развития транспортной инфраструктуры для создания пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных узлов и станций и внедрение оптимальной эксплуатационной модели, позволяющей рационально использовать их мощности.

На втором Дальневосточном экономическом форуме, проходившем в октябре 2007 г. в Хабаровске, широко обсуждались проблемы пропускной и провозной способности различных участков железных дорог, намечено увеличение мощностей портов Ванино и Советская Гавань с выходом в 2009 г. на обработку 26, а в 2020 г. — 55 млн т грузов в год. В связи с этим в качестве экспериментального взят железнодорожный участок Хабаровск — Советская Гавань, по которому планируется осуществлять транзит грузов.

Анализ существующего однопутного участка железной дороги Комсомольск-на-Амуре — Ванино показал, что весь грузооборот и движение пригородных и пассажирских поездов осуществляются с помощью тепловозной тяги с общим грузопотоком 14,8 млн т в год.

В связи с этим запланированные мероприятия требуют реконструкции железнодорожной линии на участке Хабаровск — Комсомольск-на-Амуре — Советская Гавань общей протяженностью 858 км.

В нашей стране по системе электрификации на переменном токе 27,5 кВт с частотой 50 Гц эксплуатируется около 24 тыс. км дорог. Подтверждены неоспоримые преимущества этой системы перед системой электрификации на постоянном токе 3 кВ и тепловозной тягой.

Однако опыт эксплуатации выявил и ряд недостатков, к числу которых относятся следующие [1].

Несимметричность присоединения тяговых нагрузок к симметричным сетям внешнего электроснабжения через трансформаторы тяговых подстанций (ТП). Это вызывает появление токов и напряжений обратной последовательности, ухудшающих качество

электрической энергии и повышающих ее потери в питающей сети и трансформаторах ТП на 25-100% в зависимости от соотношения токов плеч.

Неполное использование мощности трансформаторов ТП (всего на 68% от их номинальных значений).

Вынужденное применение схемы неодинакового присоединения подстанций к фазам сетей внешнего (питающего) напряжения, являющейся малоэффективной и заставляющей сооружать на каждой ТП нейтральные вставки.

Плохое использование мощности тяговых подстанций, так как в питании любой нагрузки на стороне тяги участвуют только две ТП, что ведет к завышению установленной мощности подстанций (15-20%) и ее недоиспользованию.

Неодинаковые углы сдвига фаз между векторами токов и напряжений фаз трансформаторов. Например, на «отстающей фазе» такой угол достигает 56°, что вызывает повышенные потери напряжения на этих фазах, в тяговой сети и снижение скорости движения поездов, практически линейно зависящей от уровня напряжения на токоприемниках.

Питание всех ТП от сетей 220 или 110 кВ, что приводит к необходимости выдерживать между смежными подстанциями расстояние в 45-55 км и по условиям защиты вынуждает сооружать в контактной сети посередине каждой межподстанционной зоны посты секционирования.

Необходимость усиливать контактную сеть на грузонапряженных участках с помощью усиливающих и экранирующих проводов, снижающих потери напряжения в тяговой сети.

Выход каждой тяговой подстанции в сети напряжением 220 или 110 кВ заставляет сооружать протяженные сети на этих напряжениях за счет железных дорог, а на самих тяговых подстанциях устанавливать по 2-3 дорогих высоковольтных трансформатора мощностью 25-40 МВА каждый (с большими потерями мощности в стали и меди).

Необходимость организации на каждой ТП коммерческого учета энергии, что само по себе затратно.



Наличие уравнильных токов в тяговых сетях межподстанционной зоны (вызываемых неравенством напряжений на вводах тяговой подстанции, питающих межподстанционные зоны) ведет к дополнительным потерям энергии, учитываемым счетчиками энергии на ТП дополнительно к энергии, расходуемой на тягу поездов, что завышает данные расхода энергии.

Каждая тяговая подстанция является высоковольтной, сложной по коммутации. Она требует значительного количества обслуживающего персонала, что ведет к существенным эксплуатационным расходам.

В связи с этим предлагается применять на исследуемом участке систему электрификации с головными тяговыми подстанциями (ГТП) с симметрирующими трансформаторами (СТ), двухпроводными продольными линиями $66,5 + 27,5 = 94$ кВ (ДПЛ-94 кВ) и промежуточными тяговыми подстанциями (ПТП) с однофазными трансформаторами [2].

Отмеченные выше недостатки системы 27,5 кВ, 50 Гц позволили сформулировать требования к новой системе электрификации.

Количество выходов системы тягового электроснабжения на сети общего назначения необходимо существенно сократить с таким расчетом, чтобы интервалы между ТП не превышали 200-350 км.

На таких головных подстанциях, имеющих выход на сети общего назначения, следует устанавливать симметрирующие трансформаторы с двумя выходами на плечи питания: непосредственно в тяговую сеть смежных подстанционных зон на напряжении 27,5 кВ и на двухпроводные питающие линии $66,4 + 27,5 = 94$ кВ (ДПЛ-94) на напряжении 94 кВ, обеспечивающие питание промежуточных тяговых подстанций с простыми однофазными трансформаторами 94/27,5 кВ.

Большие расстояния между смежными ГТП сводят уравнильные токи между ними практически к нулю, выравнивают нагрузки плеч питания ГТП, что обеспечивает максимальный симметрирующий эффект для системы тяги.

Питание промежуточных подстанций от общих ДПЛ-94 кВ при расстояниях между ПТП 25-30 км создает такой режим питания тяговых нагрузок, когда в их покрытии участвуют все ПТП, подключенные к ДПЛ-94 данного плеча. В результате снижается установленная мощность ГТП за счет лучшего их использования.

В связи с этим для технических условий, приведенных ниже автором, выполнено технико-экономическое обоснование различных вариантов электрификации применительно к участку Хабаровск — Комсомольск-на-Амуре — Советская Гавань при использовании систем тягового электроснабжения 27,5 кВ, 2 x 25 кВ и 94 кВ переменного тока, с частотой 50 Гц.

В качестве исходных данных использовались: протяженность участка — 858 км, характер профиля — равнинный от станции Хабаровск до станции

Комсомольск-на-Амуре и горный от станции Комсомольск-на-Амуре до станции Советская Гавань. Масса грузового поезда — 6500 тыс. т, что позволяет унифицировать массу в прямом и обратном направлении, масса пассажирского поезда — 1500 тыс. т, пригородного поезда — 800 тыс. т. Грузопотоки-нетто четного и нечетного направлений — 55 млн т.

Увеличить пропускную способность участка железной дороги предлагается путем электрификации различными системами тягового электроснабжения с заданным грузопотоком. Расчеты параметров электроснабжения, а также пропускной способности проводились с использованием методики [3].

В качестве первого варианта был произведен расчет пропускной и провозной способности данного участка системой 27,5 кВ, 50 Гц.

Определено общее среднесуточное число грузовых поездов для однопутного участка железной дороги, которое составляет 34 поезда, при этом, чтобы обеспечить провоз 55 млн т в год, необходимо пропускать не менее 44 поездов в сутки. Поэтому дальнейший расчет размеров движения производился для двухпутного участка железной дороги. Коррекция пропускной способности по напряжению показала необходимость замены используемой в расчете контактной подвески типа М-120 + МФ-100 на более дорогую М-95 + МФ-100 + А-185 + ЗА-185, при этом расчет наличной пропускной способности составил 54 пары поездов.

При электрификации участка по системе 27,5 кВ требуется соорудить 19 ТП, 5 из которых являются опорными (требования ПУСТЭ) с высшим напряжением 110 кВ при суммарной установленной мощности трансформаторов 1495 МВА, что на 67,9% выше мощности трехфазных, более дорогих трансформаторов при системе 94 кВ. Суммарные потери мощности в стали трансформаторов составляют 1253 кВт, что на 146 кВт (12%) больше, чем в системе 94 кВ. Также на заданном участке требуется соорудить 38 нейтральных вставок и 18 постов секционирования. Для всех 19 ТП необходим обслуживающий персонал в полном объеме.

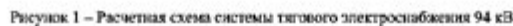
При электрификации участка по системе 2 x 25 кВ [4] размеры движения показали 61 пару поездов, что больше заданного грузопотока (44 пары — 55 млн т) на 17 пар, при этом используется более дешевая контактная подвеска типа М-120 + МФ-100.

Для данной системы необходимо сооружение 20 нейтральных вставок на 10 ТП с высшим напряжением 110 кВ при суммарной мощности трехфазных трансформаторов на всех ТП 750 МВА, что на 36% больше, чем в системе 94 кВ. Потери мощности в стали трансформаторов составляют 1396 кВт, что на 20,7% больше, чем при системе 94 кВ.



77

Апрель – Июнь



Согласно расчету эксплуатационных расходов, при системе 27,5 кВ штат сотрудников каждой ТП составляет 9 человек, т. е. при 19 ТП 171 человек соответственно. При системе 2 x 25 кВ штат сотрудников каждой ТП составляет также 9 человек, с учетом 10 ТП — 90 человек, 46 автотрансформаторных пунктов обслуживают 10 выездных бригад по 5 человек в каждой, и всего получается 140 человек. При системе 94 кВ количество обслуживающего персонала сведено к минимуму, на каждой из четырех ГТП по 9 человек, персонал, обслуживающий 45 ПТП, составляет 10 выездных бригад по 5 человек в каждой, т. е. всего 86 человек. Таким образом, за счет уменьшения количества тяговых подстанций и введения в эксплуатацию вместо них ПТП, не имеющих постоянного обслуживающего персонала, число работников заметно сокращается и появляется экономия фонда заработной платы в размере 15,3 млн руб. по сравнению с системой 27,5 кВ и 9,72 млн руб. — по сравнению с



Таблица 1 — Результаты расчетов параметров систем тягового электроснабжения

Тип СТЭ	Количество ТП, шт.	$\Sigma S_{\text{тп}}$, МВА	$\Delta P_{\text{стр}}$, кВт	Тип КП	$U_{\text{др}}$, кВ	$N_{\text{п}}$, пар поездов
27,5 кВ	19	1495	1253	М-95 + МФ-100 + А-85 + эА-185	22,8	54
2 x 25 кВ	10	1486	1396	М-120 + МФ-100	25,9	61
94 кВ	4	1200	1107	М-120 + МФ-100	26,5	63

Таблица 2 — Результаты расчетов капитальных затрат и эксплуатационных расходов

Тип СТЭ	Капитальные затраты, млн руб.	Эксплуатационные расходы, млн руб.
27,5 кВ	3620	30,78
2 x 25 кВ	3170	25,20
94 кВ	2180	15,48

системой 2 x 25 кВ при среднемесячной заработной плате сотрудника ТП 15 тыс. руб.

Для сравнения результаты расчетов капитальных затрат и эксплуатационных расходов систем тягового электроснабжения 27,5 кВ, 2 x 25 кВ, 94 кВ для данного участка железной дороги приведены в табл. 2.

Заключение

Приведенные данные показывают: система 94 кВ имеет серьезные преимущества перед существующими системами 27,5 кВ и 2 x 25 кВ. Кроме того,

возможность регулирования расстояния между ГТП в этой системе позволяет определить данные расстояния исходя из конкретного расположения существующих сетей внешнего электроснабжения 110 и 220 кВ, профиля пути, массы поездов и размеров движения. Это особенно существенно при выборе системы электрификации дорог в малообжитых районах со слабыми системами электроснабжения, к которым относится экспериментальный участок железной дороги Хабаровск — Комсомольск-на-Амуре — Советская Гавань.

Литература

1. Мамошин Р.Р. Новые технологии электроснабжения железных дорог на переменном токе // www.eav.ru, Евразия Вести IV — 2007.
2. Василянский А.М., Мамошин Р.Р., Якимов Г.Б. Совершенствование системы тягового электроснабжения железных дорог, электрифицированных на переменном токе 27,5 кВ, 50 Гц // Железные дороги мира. — 2002. — № 8. — С. 40-46.
3. Методика для экспресс-расчетов требуемых параметров систем электроснабжения на стадии ТЭР и предпроектных решений / МПС, Трансэлектропроект.
4. Система тягового электроснабжения 2 x 25 кВ / Б.М. Бородулин, М.И. Векслер, В.Е. Марский, И.В. Павлов. — М.: Транспорт, 1989. — 247 с.
5. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации (МДС 81-35.2004): приложение к постановлению Госстроя России от 05.03.04 № 15/1.
6. Укрупненные показатели стоимости строительства. Электрификация железных дорог. Контактная сеть / МПС. — М.: Стройиздат, 1981. — Вып. 1. — 135 с.
7. Укрупненные показатели стоимости строительства. Электрификация железных дорог. Контактная сеть / МПС. — М.: Стройиздат, 1982. — Вып. 2. — 135 с.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВАМИ ТОКОСЪЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Интенсивное использование электромагнитной и электрической энергии в современном обществе привело к тому, что в последней трети XX в. возник и сформировался новый существенный фактор загрязнения окружающей среды — электромагнитный. Техногенное электромагнитное поле (ЭМП) — значимый вид воздействия, имеющий высокую биологическую активность. Существенные отклонения ЭМП от естественного уровня в большую или меньшую стороны могут стать угнетающим фактором для экосистем и человека [1].

Электротехнические установки, как правило, являются источником электромагнитного излучения, которое оказывает воздействие на живые организмы в зоне влияния ЭМП. Кроме того, они занимают большие по площади территории (например, протяженность железнодорожных путей в нашей стране в настоящее время составляет более 86 тыс. км, из них электрифицировано 42,7 тыс. км). Уровни ЭМП, создаваемые этими источниками, в некоторых случаях превышают максимальный зафиксированный природный электромагнитный фон в 200–30 000 раз.

Проведенный анализ литературы показал, что до настоящего времени в Российской Федерации не проводилось комплексных исследований воздействия ЭМП различных источников на окружающую среду. Есть материалы единичных исследований, посвященных влиянию отдельных видов электромагнитного поля на биологические объекты, но нет работ по изучению состояния и функционирования экосистем в целом в условиях действия ЭМП [1]. Кроме того, исследованы отдельные ситуации воздействия ЭМП на персонал, работающий в электроустановках (воздействие полей промышленной частоты, излучения радиооборудования и СВЧ-установок).

Электромагнитные поля, возникающие в процессе токосъема электрического транспорта, — не только вредный производственный фактор для ряда профессий железнодорожного транспорта, но и значимый источник электромагнитного загрязнения окружающей среды.

В лаборатории «Контактные сети и линии электропередачи» ОмГУПС исследуются частотные характеристики и уровни электромагнитных полей, формирующиеся в процессе токосъема, согласно требованиям к проведению контроля уровней электромагнитных полей на рабочих мес-

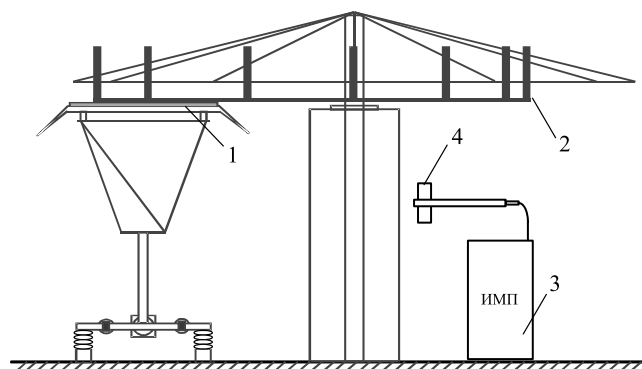


Рисунок 1 — Схема лабораторной установки:
1 — токоприемник; 2 — имитатор контактного провода;
3 — измеритель напряженности полей;
4 — антенный преобразователь

тах [2]. Измерения проводятся с использованием лабораторной экспериментальной установки (рис. 1) прибором ИМП-101 (измеритель напряженности полей малогабаритный) при различных уровнях нагрузочного тока. В составе с антенным преобразователем типа Е01 измеритель обеспечивает измерение в свободном пространстве (при расстоянии от проводящих тел до точки измерения поля не менее 0,2 м) среднеквадратического значения модуля вектора напряженности электрического поля E , В/м, в частотном диапазоне свыше 0,03 МГц до 2,5 ГГц.

Ранее проведенные авторами измерения амплитудных и частотных характеристик ЭМП, формирующихся в процессе токосъема, показали, что максимальный уровень высокочастотных помех находится на частоте 90 МГц. Так как существующие российские санитарные нормы не устанавливают предельно допустимых уровней (ПДУ) магнитных влияний для частот свыше 3 до 30 МГц и свыше 50 до 300 МГц, то оценка профессионального воздейс-

твия на работников железнодорожного транспорта электромагнитных излучений, генерируемых устройствами токосъема, проводилась по напряженности электрического поля E , В/м, и соответствующей ей энергетической экспозиции $\mathcal{E}E$ (В/м)² ч:

$$\mathcal{E}E = E^2 t, \quad (1)$$

где t — время воздействия за смену, ч [2].

При воздействии на организм человека нескольких источников ЭМП различных частотных диапазонов, для которых установлены разные ПДУ, должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\mathcal{E}E_{E1}}{\mathcal{E}E_{ПДУ1}} + \frac{\mathcal{E}E_{E2}}{\mathcal{E}E_{ПДУ2}} + \dots + \frac{\mathcal{E}E_{EN}}{\mathcal{E}E_{ПДУN}} \leq 1, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}E_{ПДУ}$ — предельно допустимый уровень энергетической экспозиции ЭМП, (В/м)² ч [2].

При исследовании электромагнитного влияния в процессе моделирования токосъема на лабораторном стенде, питающемся переменным напряжением 12 В, установлено, что при скорости вращения кольцевого стенда, соответствующей линейной скорости перемещения токоприемника V , равной 20 км/ч (5,6 м/с), в точке, находящейся на расстоянии $x = 0,2$ м по горизонтали от токоприемника, фиксируются наибольшие уровни напряженности электрического поля (рис. 2). При скорости вращения кольцевого стенда, соответствующей линейной скорости перемещения токоприемника V , равной 10 км/ч (2,8 м/с), в точке, находящейся на расстоянии $x = 1$ м по горизонтали от токоприемника, влияние электромагнитного поля ослабевает.

В реальных условиях токосъема (27,5 кВ) прогнозируемые уровни высокочастотных электрических полей при искрении будут значительно выше, порядка 2,4 кВ/м при ПДУ 80 В/м [2]. Очевидно значительное превышение допустимых норм не только для отдельно взятого частотного диапазона 50-300 МГц, но и для энергетической экспозиции работников железнодорожного транспорта [формула (2)], находящихся в зоне влияния контактного провода в условиях интенсивного движения поездов.

Необходимо учитывать, согласно [2], электромагнитную нагрузку на работников железнодорожного транспорта, выполняющих работы в зоне влияния контактной сети и вблизи электроподвижного состава, для разработки эффективных мер защиты, регламентированных перерывов, определения размеров компенсаций и льгот за вредные и тяжелые условия труда.

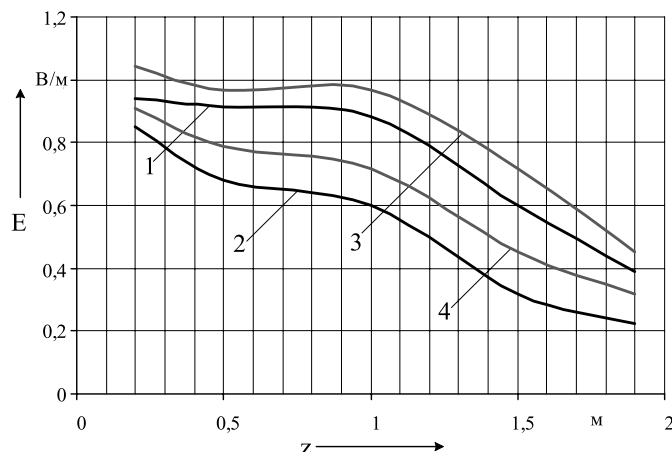


Рисунок 2 — Зависимость напряженности электрического поля E от расстояния z до токоприемника по вертикали:
1 — $V = 10$ км/ч, $x = 0,2$ м; 2 — $V = 10$ км/ч, $x = 1,0$ м;
3 — $V = 20$ км/ч, $x = 0,2$ м; 4 — $V = 20$ км/ч, $x = 1,0$ м

В связи с резко возросшим темпом распространения источников электромагнитных полей, их приближением к местам постоянного пребывания человека и общим увеличением электромагнитного фона возникла необходимость разработки нормативов для условий непрофессионального воздействия, в том числе для населения, а также регламентации воздействия ЭМП на окружающую среду. Следует разработать предельно допустимые уровни для квазистатического и низкочастотного (до 30 Гц) ЭМП, создаваемого транспортом на электротяге и другим оборудованием, а также для ЭМП в диапазоне частот 50 Гц – 10 кГц, магнитных полей в диапазоне частот свыше 3 до 30 МГц и свыше 50 до 300 МГц. Кроме того, в имеющихся на сегодняшний день нормативах не рассматривается модифицирующее влияние модуляции электромагнитного поля, в том числе импульсного воздействия, а также других факторов окружающей среды (физических и химических) [1]. Результаты настоящего исследования могут быть учтены при оценке интенсивности электромагнитного загрязнения территорий, прилегающих к электрифицированным железным дорогам, и при разработке ориентировочно безопасных уровней воздействия электрического транспорта на человека и экосистему в целом.

Для регулирования воздействия техногенных ЭМП на окружающую среду в рамках реализации Экологической доктрины Российской Федерации необходимо осуществление таких мероприятий, как:

разработка и утверждение на федеральном уровне критериев и предельно допустимых уровней воздействия ЭМП на окружающую среду;





внесение соответствующих изменений в методику проведения оценки воздействия на окружающую среду на объектах, содержащих источники ЭМП, в том числе на электротранспорте;

разработка методики инструментального контроля интенсивности ЭМП в целях экологической оценки, учитывающей нестационарный и негармонический характер полей существующих источников;

разработка методологии исчисления и введение платежей или экологического налога за ущерб, наносимый ЭМП окружающей среде.

К основным мерам снижения воздействия электромагнитных полей на человека и окружающую среду можно отнести: выбор рациональных режимов работы источников ЭМП; выделение зон

воздействия ЭМП; расположение рабочих мест и маршрутов передвижения персонала на безопасных расстояниях от источников ЭМП; осуществление инженерно-технических мероприятий по снижению уровней ЭМП в источниках и на рабочих местах; внедрение новых технологий; применение средств коллективной и индивидуальной защиты, пассивных и активных экранов.

Анализ методов снижения уровня ЭМП показал, что для минимизации электромагнитных полей, генерируемых устройствами токосъема, целесообразно применять экраны, которые можно разместить на крышевой части электроподвижного состава или в зоне полосы отвода железной дороги.

Литература

1. *Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы* / О.А. Григорьев, Е.П. Бичелдей, А.В. Меркулов и др. // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений: Сборник трудов. — М.: Изд-во РУДН, 2003. — С. 46-74.
2. СанПиН 2.2.4.1191-03. *Электромагнитные поля в производственных условиях*. — М.: Изд-во стандартов, 2003. — 19 с.
3. Бадер М.П. *Электромагнитная совместимость: Учебник*. — М.: УМК МПС России, 2002. — 637 с.
4. *Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта: Учебное пособие* / К.Б. Кузнецов, А.С. Мишарин; Под ред. К.Б. Кузнецова. — М.: Маршрут, 2005. — 454 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОПУСКЕ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ

В статье приведены результаты аналитического анализа по оценке уровня технологических потерь электроэнергии в системе тягового электроснабжения при движении поездов с различной массой. Дано обоснование увеличения уровня потерь, наблюдающееся на ряде дорог в связи с ростом количества поездов повышенной массы.

В настоящее время увеличение размеров грузовых перевозок по железным дорогам ОАО «РЖД» в условиях ограничений на эксплуатационный парк локомотивов планируется обеспечивать за счет пропуска по основным направлениям поездов повышенной массы и длины. Существует тенденция увеличения массы поездов с унифицированной нормы в 6 300 т до 7 000 т и в перспективе до 9 000 т [1]. Данное увеличение массы поездов приводит к концентрации потребляемой токовой нагрузки электроподвижного состава (ЭПС) внутри межподстанционных зон системы тягового электроснабжения. В связи с квадратичным характером потерь мощности электроэнергии в контактной сети это должно приводить к повышенному уровню потерь электроэнергии.

Величина потерь электроэнергии на участках железных дорог при этом будет зависеть от многих параметров, которые в общем случае можно описать показателями нагрузочной способности системы тягового электроснабжения и эксплуатационными характеристиками фактической поездной работы на участках, например длительностью межпоездных интервалов.

Распределение энергии, потребленной поездами на разных участках по питающим тяговым подстанциям, зависит не только от величины потребляемой мощности со стороны ЭПС, но и от потерь в тяговой сети. Потери, в свою очередь, зависят от параметров системы тягового электроснабжения, величины нагрузки и ее взаимного расположения. Поскольку процесс тягового электропотребления происходит в динамике, то и нагрузку, или движение поездов, нужно рассматривать с учетом изменения их дислокации со временем относительно друг друга. Если принять, что поезда с близкими параметрами (масса, длина, тип и количество локомотивов) один и тот же участок проходят приблизительно с одинаковым электропотреблением, то на потери энергии основное влияние будет оказывать величина межпоездного интервала.

Для определения потерь электроэнергии в системе тягового электроснабжения рассмотрим модель однопутного участка. Пусть участок имеет постоянное сопротивление по всей длине, нагрузка постоянна по

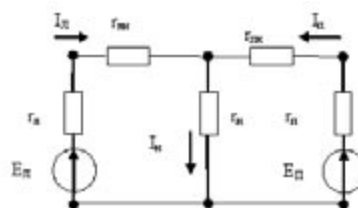


Рисунок 1 — Эквивалентная схема питания участка с одной нагрузкой

всей длине участка, т. е. поезд движется с постоянной скоростью и постоянной силой тяги $P = F \cdot V = \text{const}$.

В общем случае распределенная система питания состоит из нескольких тяговых подстанций, которые при единичной нагрузке могут быть сведены к двум эквивалентным тяговым подстанциям, питающим межподстанционную зону, где находится нагрузка (рис. 1).

Рассмотрим участок с одной нагрузкой.

Удельные потери электроэнергии $\Delta W(\%)$ находят как отношение потерь энергии $\Delta P(t)dt$ за время T к энергии, выработанной источниками $P_{\text{ист.ср.}}$ за то же время

$$\Delta W(\%) = \frac{\int d\Delta W(t)}{\int dW(t)} = \frac{\int \Delta P(t)dt}{\int P_{\text{ист.ср.}}(t)dt} = \frac{\Delta P_{\text{ср.}}}{P_{\text{ист.ср.}}},$$

где $\Delta P_{\text{ср.}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta P(t)dt$ — средние потери мощности за время T ;

$P_{\text{ист.ср.}} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)dt$ — средняя мощность источника за время T .

Потери мощности $\Delta P(t)$, в свою очередь,

$$\Delta P(t) = \frac{E^2}{2r(t)} - P(t) - \frac{E}{2r(t)} \sqrt{E^2 - 4r(t)P(t)},$$

где $r(t)$ — сопротивление от источника до нагрузки в любой момент времени.

Тогда мощность источника $P_{\text{ист.ср.}}(t)$

$$P_{\text{ист.ср.}}(t) = P(t) + \Delta P(t).$$

Было исследовано движение одиночного поезда с постоянной нагрузкой 10 МВт по участку единичной

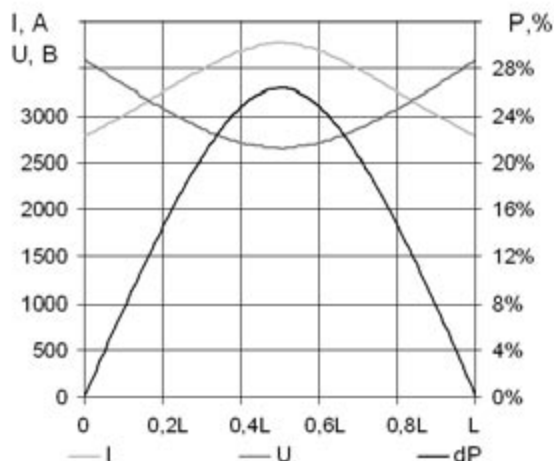


Рисунок 2 — Зависимость тока и напряжения при движении одиночного поезда с постоянной нагрузкой 10 МВт

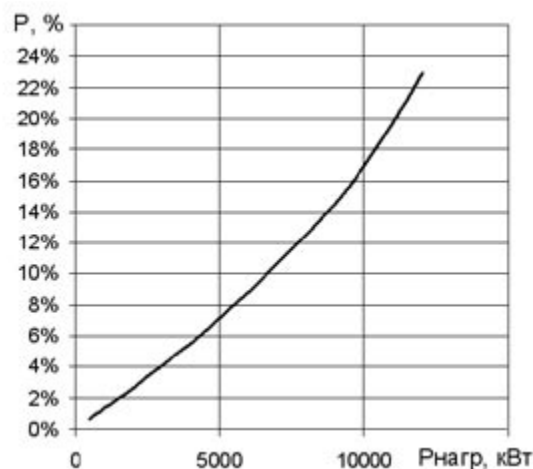


Рисунок 3 — Зависимость потерь мощности от нагрузки одиночного поезда

длины, причем сопротивление левой $r_{\text{л}}(t)$ и правой $r_{\text{п}}(t)$ тяговых подстанций (т/п) было принято 0,01 Ом, сопротивление контактной сети $r_{\text{кск}}(t) = 1$ Ом, ЭДС левой и правой т/п $E_{\text{л}} = E_{\text{п}} = 3\ 600$ В.

На рис. 2 представлены графики изменения тока, напряжения и потерь мощности в зависимости от местоположения поезда на участке.

Как видно из графика, потери мощности в середине межподстанционной зоны могут достигать до 26%, а напряжение на токоприемнике упасть до 2 650 В. При этом средние потери по участку за время прохождения по нему поезда составили 17%, а средний уровень напряжения 3 000 В.

Исследование зависимости средних удельных потерь мощности на участке показало, что они носят нелинейный характер (рис. 3). Чем больше мощность нагрузки, тем быстрее растут потери. Это говорит о том, что при исследовании пропускной способности участка следует обращать внимание не только на выполнение норм ПТЭ по нагрузочной способности участка, но и на величину потерь. Для представленного участка максимальная допустимая по уровню напряжения ($U_{\text{мин}} = 2\ 700$ В) нагрузка составляет 9,7 МВт, при этом средние удельные потери равны 16,2%.

Рассмотрим тот же участок для большего числа поездов, движущихся с одинаковым межпоездным интервалом.

Здесь падение напряжения $U(x)$ до поезда, находящегося на координате (x) , равно

$$U(x) = E_0 - I_0 r_0 - \rho x I_0 + \rho x \sum_{k=1}^{n-1} I_k,$$

где $E_0 = E_{\text{л}}$ — ЭДС левой тяговой подстанции;

$I_0 = I_{\text{л}}$ — ток левой тяговой подстанции;

$r_0 = r_{\text{л}}$ — внутреннее сопротивление левой тяговой подстанции;

ρ — удельное сопротивление единицы длины тяговой сети;

Δx — расстояние между поездами;

$I_k(x)$ — ток k -го поезда на координате x .

Пусть на координате x находится поезд k , тогда напряжение U_k на его токоприемнике

$$U_k = U_{(k-1)} + \rho \Delta x I_0 - \sum_{j=1}^{k-1} I(j),$$

а ток k -го поезда

$$I(k) = \frac{P(k)}{U(k-1) + \rho \Delta x I_0 - \sum_{j=1}^{k-1} I(j)}.$$

Ток 1-го поезда

$$i_1 = \frac{P_1}{E_0 - I_0(r_0 + x_1 \rho)} = \frac{P_1}{U_1}.$$

Поскольку I_0 участвует в расчете тока и напряжения 1-го поезда, то применяется итерационный подход, т. е. первоначально ток задается, затем производится расчет и полученное значение $E_{\text{п}}$ сравнивается с исходным

$$\left| \frac{E_{\text{расч}}^{\text{п}} - E_{\text{зад}}^{\text{п}}}{E_{\text{зад}}^{\text{п}}} \right| \leq \xi. \quad (1)$$

Если полученное значение ЭДС отличается от исходного больше установленной погрешности ξ , то задаваемое значение тока левой подстанции заменяют на новое

$$I_{\text{л}} = I_{\text{л}} \frac{E_{\text{расч}}^{\text{п}}}{E_{\text{зад}}^{\text{п}}}$$

и повторяют расчет до тех пор, пока не будет выполняться условие формулы (1). Формула определения потерь мощности в зависимости от межпоездного интервала Δt имеет вид

$$\Delta P(t) = I_{\text{л}}^2(t)(r_{\text{л}} + x_{\text{л}} \rho) + I_{\text{п}}^2(t)(r_{\text{п}} + r_{\text{кск}} - x_{\text{п}} \rho) + V \cdot \sum_{k=2}^n \Delta t \rho I_{\text{кск}}^2(t),$$



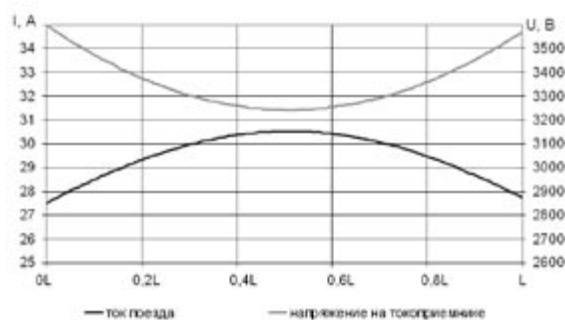


Рисунок 4 — Уровни напряжения и тока при равномерно распределенной по участку нагрузке

а мощность источников

$$P_{\text{ист}}(t) = I_{\text{л}}(t)E_{\text{л}} + I_{\text{п}}(t)E_{\text{п}}.$$

Для того чтобы результаты были сравнимы, в качестве исходных данных всех расчетов служил показатель выполнения поездной работы за единицу времени при бесконечно заполненном графике движения. Таким образом, эффективность провозной способности во всех случаях оставалась постоянной, что не влияло на общую скорость перемещения грузов по участку.

Характерная особенность исследования движения поездов с равными интервалами — то, что достаточно произвести расчет за время, равное межпоездному интервалу, поскольку в дальнейшем картина будет повторяться.

Первым предельным случаем анализа является движение поездов с максимальным межпоездным интервалом, соответственно равным времени прохождения его поездом. Таким образом, на участке всегда находится только один поезд. Результаты представлены на рис. 2.

Вторым предельным случаем будет полное заполнение участка поездами — равномерно распределенная нагрузка, что, конечно же, невозможно физически, но необходимо для полной картины анализа, поскольку отображает движение поездов с минимальным межпоездным интервалом.

Как видно из графика на рис. 4, при том же значении поездной работы минимальное напряжение на токоприемнике опускается лишь до 3 250 В. Средние потери мощности составили 6,8%, а поскольку нагрузка является равномерно распределенной, то она будет статична во времени, и соответственно максимальные потери получились равными средним.

Далее были рассмотрены промежуточные значения, которые может принимать межпоездной интервал. Результаты исследований приведены на рис. 5 и 6.

По оси X отложена величина межпоездного интервала, равная доле от времени прохода поезда по участку. Как видно из графиков, значение условных потерь при снижении межпоездного интервала при одной и

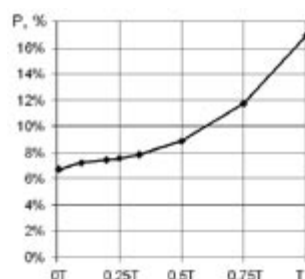


Рисунок 5 — Зависимость потерь мощности от межпоездного интервала (T — время хода поезда по участку)

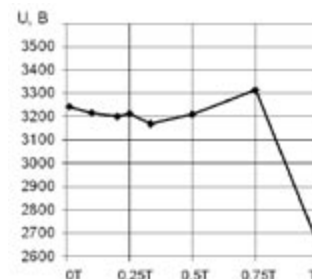


Рисунок 6 — Зависимость уровня минимального напряжения на токоприемнике от межпоездного интервала (T — время хода поезда по участку)

той же поездной работе уменьшается и стремится к определенному предельному значению. Подобным образом ведет себя и минимальный уровень напряжения. Следовательно, исследование участка при крайних условиях позволяет определять потенциал нагрузочной способности участка. Описанные выше аналитические зависимости применимы к любому профилю нагрузки, но только для однопутного участка с равномерным движением поездов. Схема питания многопутного участка представляет собой разветвленную структуру, движение поездов носит более сложный характер, поскольку поезда движутся в разных направлениях и скорость их по участку изменяется. Поэтому для исследования реального участка была применена математическая модель, разработанная на кафедре ЭСЖТ СамГУПС [2].

Для анализа был выбран участок Чаадаевка — Сюзьом Куйбышевской железной дороги. По условиям электроснабжения четный путь является лимитирующим. Исходные данные для исследования были выбраны следующие: учитывалось только движение по четному пути, поскольку на нечетном поезде в основном не потребляют электроэнергию, а рекупируют; участок являлся заполненным поездами, движущимися с одинаковым межпоездным интервалом.

На рис. 7 представлены графики зависимости минимального напряжения на токоприемниках и относительных потерь мощности от межпоездного интервала. Поездная работа во всех случаях одинакова и равна поездной работе, совершаемой одним поездом максимальной массы, проходящим по участку без нарушения норм ПТЭ. Как и в случае, рассмотренном для гипотетического участка выше, относительные потери снижаются, стремясь к определенному пределу, в последнем случае это 7,5%, в то время как для одного поезда они составили 20%. Уровень минимального напряжения на токоприемниках зависит как от величины и разброса нагрузки, так и от нагрузочной кривой, поэтому зависимость

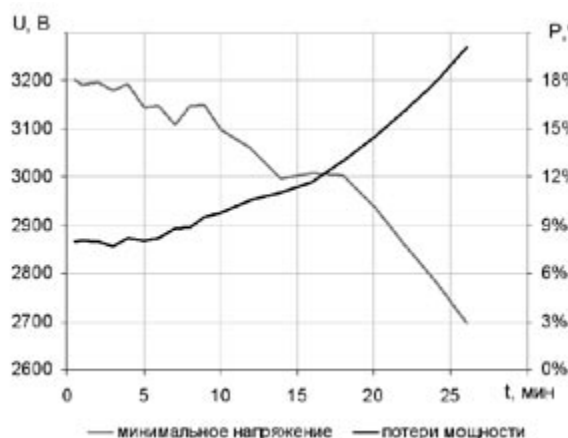


Рисунок 7 — Графики зависимости минимального напряжения на токоприемниках и относительных потерь мощности от межпоездного интервала

получается неравномерной и не схожей с вышеизображенной.

Далее на том же участке были проанализированы максимальные нагрузки по условиям электроснабжения. На рис. 8 показаны графики зависимости относительных потерь мощности и поездной работы от межпоездного интервала. При максимальной загруженности участка получилось, что относительные потери практически не изменяются и находятся на уровне 19% ($\pm 2\%$) при различных межпоездных интервалах. Зато максимальная поездная работа, которая может быть выполнена без нарушения норм ПТЭ по показателям нагрузочной способности, возрастает с уменьшением межпоездного интервала. Но с уменьшением межпоездного интервала необходимо снижение массы поездов. По графику на рис. 9 можно определить максимальную массу поездов, которая допустима по условиям электроснабжения при различных межпоездных интервалах. Она отличается в большую сторону от массы поездов, задаваемых одинаковой поездной работой.

Таким образом, на основании вышеизложенного видно, что интервалы попутного следования поездов играют значительную роль как в показателях нагру-

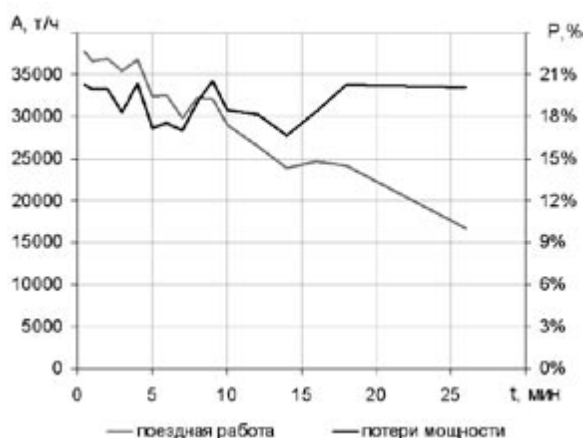


Рисунок 8 — Графики зависимости поездной работы на участке и относительных потерь мощности от межпоездного интервала

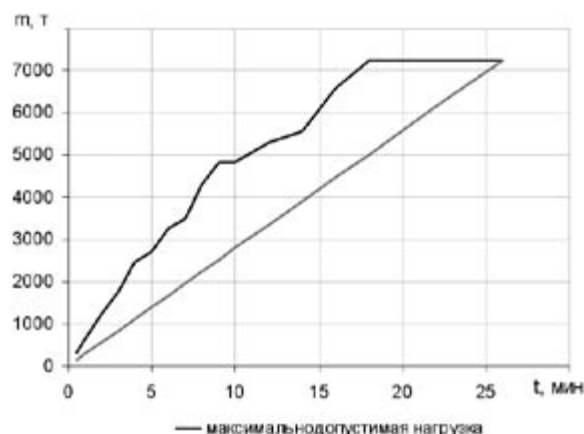


Рисунок 9 — Изменение массы поездов в зависимости от межпоездного интервала

зочной способности, так и в количественной характеристике электропотребления. При оценке расхода электроэнергии следует учитывать не только массы поездов и участки их следования (нагрузочную характеристику), но и интервалы, с которыми движутся поезда. Особенно когда движение максимальное, так как при этом доля потерь в расходе электроэнергии достигает одной пятой.

Литература

1. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года.
2. Митрофанов А.Н., Добрынин М.А. Программно-технологический комплекс адаптивного расчета параметров системы тягового электроснабжения // Актуальные проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Матер. регион. науч.-практ. конф., посв. 130-летию КБШ ж.д. — Самара: СамГАПС, КБШ ж.д., 2004.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ СЦБ



Одна из причин относительно большого числа отказов устройств СЦБ — воздействие перенапряжений на устройства электроснабжения. Они возникают вследствие грозовых разрядов, коммутаций тягового тока или нестационарных процессов в линиях электропередачи. Эти причины приводят к возникновению импульсов напряжения, амплитудное значение которых в десятки, сотни, а иногда и в тысячи раз превышает рабочие напряжения устройств электроснабжения СЦБ.

В значительной части своего объема системы электроснабжения состоят из линейных сооружений. Поэтому они в наибольшей степени подвержены воздействию грозовых импульсных перенапряжений [1]. Существующие устройства СЦБ и трансформаторные подстанции, питающие сигнальные точки автоблокировки, не обеспечивают должной защиты от подобных импульсных перенапряжений, и эта проблема остается в достаточной степени нерешенной [2].

Схемным решением, широко применяемым на сети дорог, служит использование выравнивателей напряжения ВОЦН-220, которые должны поглощать импульсы перенапряжения. Однако, как показывает анализ эксплуатационной деятельности участков дорог, эффективность их применения невысока. Лучшими характеристиками обладают ограничители напряжения ОПН-600, выпускаемые Камышловским электротехническим заводом.

Использование в типовых схемах более эффективных выравнивателей или ограничителей перенапряжения не позволяет в полной мере реализовать их преимущества. Требуется изменение схем подключения и конструкций устройств электроснабжения для аппаратуры СЦБ. Причем имеются определенные особенности и различия в подключении перегонных устройств СЦБ и станционных.

На рис. 1 приведена типовая схема защиты приборов перегонной сигнальной точки СЦБ от перенапряжений, в которой используются ограничители перенапряжения ОПН-600.

Разработано наиболее рациональное схематическое и конструктивное исполнение трансформаторной подстанции КТПОЛ-1,22/10(6)-0,22-У1 для питания сигнальной точки СЦБ с подключением заземляющих проводников к высоковольтному заземлителю (рис. 2).

Выполним анализ функционирования мер защиты от внутренних и грозовых перенапряжений и влияния

функциональных элементов схем на ее эффективность.

Отличительной конструктивной особенностью трансформаторов типа ОЛ, применяемых в трансформаторных подстанциях КТПОЛ-1,25/10(6)-0,22-У1, является наличие глухозаземленного электрического экрана между первичной и вторичной обмотками. Он исключает появление прямого электрического пробоя межобмоточной изоляции. Этим ликвидируется попадание номинального напряжения 10,5 кВ (или более высокого, например от грозовых или внутренних перенапряжений) на выводы низковольтной обмотки, подключенной к питающим устройствам релейного шкафа. В связи с этим отпадает необходимость в установке пробивного предохранителя между корпусом трансформатора и выводами вторичной обмотки.

Таким образом, участок электрической цепи от вторичной обмотки трансформатора ОЛ до первичных обмоток трансформаторов релейного шкафа сигнальной точки СЦБ достаточно надежно защищен от высоковольтных воздействий, которые могут вызвать отказ аппаратуры и обусловить соответствующие задержки поездов на участках дорог.

Внутренние перенапряжения возникают при различных нормальных или аварийных коммутациях и повреждениях в системе ВЛ СЦБ. Они характеризуются кратностью K изменения напряжений, которая определяется как

$$K = U_{\text{макс}} / U_{\text{ф}},$$

где $U_{\text{макс}}$ — максимальное напряжение относительно земли;

$U_{\text{ф}}$ — номинальное фазное напряжение.

Для воздушных ЛЭП 110 кВ значение K составляет 3,2, для ЛЭП 35 кВ — 3,8, для ЛЭП 10 кВ — 4 [3].

Внутренние перенапряжения определяют максимально допустимое для изоляции трансформатора импульсное напряжение с длиной волны 2500 мкс и одноминутное испытательное напряжение частотой 50 Гц. То есть изоляция трансформатора ОЛ при про-





ектировании и изготовлении должна выдерживать эти перенапряжения.

Наиболее опасны для трансформатора ОЛ грозовые перенапряжения при ударе молнии в линию ВЛ СЦБ непосредственно в месте установки подстанции КТПОЛ (перенапряжение прямого удара) или в удаленной от подстанции точке ВЛ СЦБ. Защита подстанции от грозовых перенапряжений обеспечивается установкой на ее вводах ограничителей перенапряжений ОПН. Кроме того, для защиты оборудования релейного шкафа СЦБ от перенапряжений со стороны трансформатора в блоке контроля и управления БКУ подстанции установлены на входе блока три ограничителя ОПН-600 и один установлен на выходе (см. рис. 2).

При использовании на вводах подстанции ограничителей перенапряжений типов РОЛИМ или ОПНп с длительно допустимым рабочим напряжением 12 кВ [4] и волне перенапряжения 8/20 мкс остаточное напряжение, воздействующее на оборудование подстанции, составляет 40 кВ, а разрядный ток достигает 10 кА. Ограничители РОЛИМ выдерживают импульсный ток до 100 кА при волне перенапряжения 4/10 мкс, т. е. крутизна фронта волны тока составляет 100/4 кА/мкс. Ограничители перенапряжения типа ОПНп выдерживают импульсный ток 65 кА при волне перенапряжения 4/10 мкс, т. е. крутизна фронта волны тока составляет 65/4 кА/мкс.

Однако при прямом ударе молнии, по заключению специалистов фирмы «АВВ-УЭТМ», ОПН не выдерживают импульсного разрядного тока, разрушаются, но при этом при пробое ОПН пропускают разрядный ток и защищают оборудование. Так, в 2000 г. на Сургутской дистанции электроснабжения СвЖД при прямом ударе молнии разрушился один ОПН типа РОЛИМ (движение волны по одной фазе), но подстанцию КТПОЛ-1,25/10 защитил.

При удаленной от подстанции точке удара молнии в линию ВЛ СЦБ по линии передвигается падающая электромагнитная волна тока со значительной величиной крутизны фронта. Она создает между проводами электрическое и магнитное поля. На фронте волны происходит изменение потокоцепления, которое определяется как

$$d\psi = iL_0 dx, \quad (1)$$

где L_0 — индуктивность участка линии с длиной dx .

В результате этого воздействия возникает ЭДС

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -iL_0 \frac{dx}{dt} = -iL_0 V_\phi = -i \frac{L_0}{\sqrt{L_0 C_0}} = -i \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = -iZ_n, \quad (2)$$

где $Z_n = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ — волновое сопротивление ВЛ СЦБ, принимаемое для практических расчетов без учета потерь, т. е. для $R_0 = 0$, $G_0 = 0$;

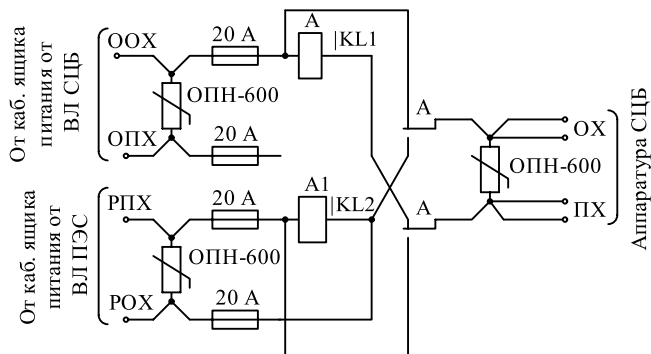


Рисунок 1 — Типовая схема защиты аппаратуры сигнальной точки СЦБ от грозовых перенапряжений

$V_\phi = \frac{dx}{dt}$ — фазовая скорость перемещения падающей

волны тока по линии, идущей от места удара молнии к подстанции;

L_0 , C_0 , R_0 и G_0 — индуктивность, емкость, активное сопротивление и поперечная проводимость единицы длины линии.

Волновое сопротивление канала молнии по ВЛ СЦБ принимается равным 300 Ом [5]. Для реальных воздушных линий $Z_n \approx 300-600$ Ом [6].

Схема замещения системы электроснабжения сигнальной точки при пробое ОПН после удара молнии в точку ВЛ СЦБ, удаленную от подстанции, имеет вид, приведенный на рис. 3, где введены следующие обозначения: U_n — напряжение падающей волны; $U_{\text{ОПН}}$ — остаточное напряжение на ОПН при его пробое; $Z_n = Z_3$ — сопротивление заземлителя.

Известно, что напряжение и ток в любой точке линии представляется суммой падающей волны и отраженной от нагрузки волн. При отсутствии в схеме ОПН они равны:

$$U_n + U_0 = U_n, \quad (3)$$

$$i_n + i_0 = i. \quad (4)$$

При включенном ОПН в соответствии со схемой рис. 3 получим

$$(U_n - U_{\text{ОПН}}) + (U_0 + U_{\text{ОПН}}) = U_n, \quad i_n + i_0 = i. \quad (5)$$

Так как $i_n = \frac{U_n - U_{\text{ОПН}}}{Z_n}$ и $i_0 = -\frac{U_0 + U_{\text{ОПН}}}{Z_n}$, то

$$(U_n - U_{\text{ОПН}}) - (U_0 + U_{\text{ОПН}}) = iZ_n. \quad (6)$$

Тогда после суммирования (5) и (6) будем иметь

$$2(U_n - U_{\text{ОПН}}) = U_n + iZ_n. \quad (7)$$

С учетом (7) схема замещения, приведенная на рис. 3, примет вид, показанный на рис. 4.

Напряжение на нагрузке определяется амплитудой импульса тока пробоя ОПН и сопротивлением заземлителя, которое зависит от его типа и удельного сопротивления грунта.

Удельное сопротивление грунта в зависимости от его вида (глина, суглинок, смешанный грунт — глина,



известь, щебень; песок влажный) находится в пределах от 1 до 1000 Ом·м; гравия и щебня — 200 Ом·м, а для каменистых почв — 400 Ом·м.

Импульсное сопротивление единичного импульсного вертикального заземлителя определяется [3] как

$$R_{\text{и}} = R_{\text{ст}} \alpha_{\text{и}},$$

где $R_{\text{ст}}$ — сопротивление растеканию, рассчитанное для стационарного режима при низкой частоте и малой плотности тока;

$\alpha_{\text{и}}$ — импульсный коэффициент заземлителя, зависящий от типа заземлителя, удельного сопротивления грунта и амплитуды стекающего импульсного тока.

Рассмотрим влияние удельного сопротивления грунта на сопротивление растекания однотрубчатого заземлителя, определяемого как

$$R_{\text{ст}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{0,01d}. \quad (8)$$

Для $\rho = 20$ Ом·м при длине $l = 2,5$ м и диаметре трубчатого заземлителя $d = 5$ см получим $R_{\text{ст}} = 8$ Ом. С учетом $\alpha_{\text{и}} = 0,9-0,95$ [3] для амплитуды тока $I_{\text{м}} = 10$ кА импульсное сопротивление равно $R_{\text{и}} = 8 \cdot 0,9 = 7,2$ Ом.

Для грунта, состоящего из гравия и щебня, имеем $\rho = 200$ Ом·м. Тогда при $l = 2,5$ м, $d = 5$ см сопротивление растекания $R_{\text{ст}} = 80$ Ом, и с учетом, что $\alpha_{\text{и}} = 0,65-0,7$ при $I_{\text{м}} = 10$ кА, будем иметь $R_{\text{и}} = 52$ Ом.

Для трансформаторных подстанций, у которых трансформатор имеет заземленную нейтраль, сопротивление $R_{\text{ст}}$ должно быть не более 4 Ом, а при изолированной нейтрали — не более 10 Ом независимо от удельного сопротивления грунта [7]. На скальных и вечномерзлых грунтах, когда их удельное сопротивление может достигать 1 000 Ом·м и более, выдерживать такие жесткие требования зачастую затруднительно. Поэтому при пробое ОПН со значительной амплитудой импульса разрядного тока на заземлителе подстанции, расположенной на скалистых и вечномерзлых грунтах, возникают перенапряжения

$$U_3 = i \frac{Z_{\text{В}} \cdot Z_3}{Z_{\text{В}} + Z_3},$$

которые даже для рассмотренных выше условий могут быть равны

$$U_3 = 10\,000 \cdot \frac{300 \cdot 52}{300 + 52} = 443 \text{ кВ.}$$

При этом возможен пробой изоляции кабеля, соединяющего кабельный ящик подстанции (см. рис. 2) с релейным шкафом. При этом перенапряжение повреждает изоляцию (рис. 5) первичных обмоток трансформаторов ПОБС, СОБС, пробивает разрядник РВНШ-250 и через корпус релейного шкафа, дроссель-трансформатор попадает на даль-

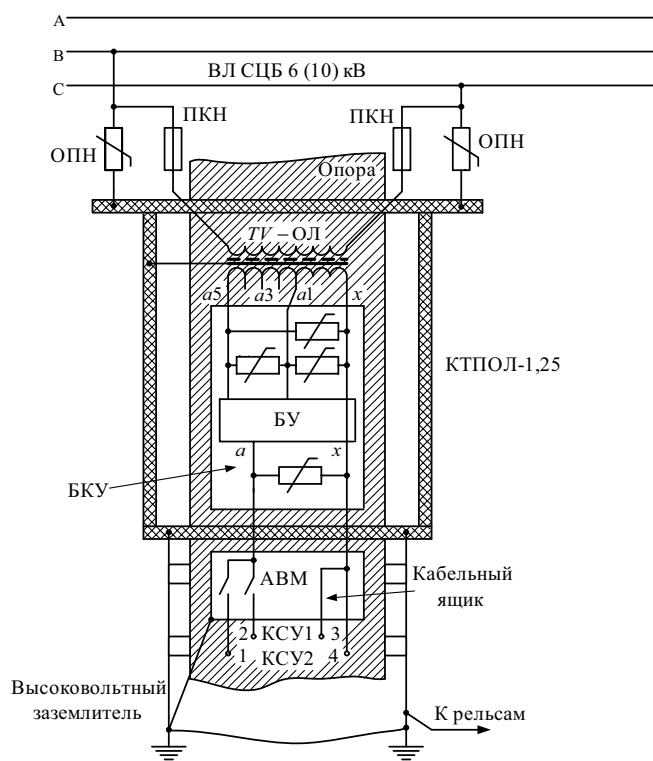


Рисунок 2 — Схема подключения и заземления трансформаторной подстанции

ний естественный контур заземления — рельсы (см. рис. 5).

Кроме того, на электрифицированных на постоянном токе участках железных дорог, когда корпус релейного шкафа соединен со средней точкой дроссель-трансформатора ДТ (см. рис. 5), при срабатывании рогового разрядника возникает электрическая связь по цепи контактный провод → роговый разрядник → рельс → средний вывод ДТ → разрядник РВНШ-250 → жила проводника ПХ (ОХ) в кабеле → блок БКУ → вторичная обмотка трансформатора ОЛ. При этом создается нежелательное перенапряжение на вторичной обмотке трансформатора ОЛ, достигающее 3 кВ. Для устранения подобных явлений со стороны ВЛ СЦБ и со стороны контактной сети предлагается исключение разрядника РВНШ-250 из цепей ПХ (ОХ) и соединение высоковольтного заземлителя подстанции КТПОЛ-1,25/10(6) с рельсами непосредственно или через средний вывод ДТ.

Предложенная схема подключения заземления перегонных сигнальных точек СЦБ и конструктивное исполнение трансформаторных подстанций (см. рис. 2 и 5) основана на результатах проведенного анализа. Подобное исполнение устройств электрооборудования выполнено на 16 сигнальных точках автоблокировки трех перегонов Свердловской железной

дороги. На протяжении двух лет эксплуатации отказов по причине грозовых или иных воздействий перенапряжения не зафиксировано, хотя ранее на этих точках они имели место. Это подтверждает рациональность разработанных технических решений и необходимость их дальнейшего распространения на сети дорог.

Электроснабжение станционных устройств СЦБ и связи (постов ЭЦ) отличается в первую очередь сложностью питаемой аппаратуры и пространственной разветвленностью питающих линий. Эта сложность определяет необходимость комплексного подхода к разработке устройств заземления распределенной системы электроснабжения и ее функциональных элементов. Причем в отличие от перегонных точек СЦБ специфика станционных устройств заключается в радикальном различии в размещении аппаратуры. В частности, на постах ЭЦ располагаются устройства СЦБ, аппаратура радиосвязи, проводной связи, сложная информационно-вычислительная техника и др. Современные и перспективные устройства СЦБ включают в себя сложные микропроцессорные комплекты интегральных микросхем, что определяет ужесточение требований к их электропитанию. Это же относится и к другой аппаратуре, расположенной на постах ЭЦ.

В соответствии с изложенными трудностями проведены работы по разработке наиболее оптимальной структуры заземления устройств электроснабжения постов ЭЦ. В результате реализована структурная схема, приведенная на рис. 6, и разработаны соответствующие технические требования. Схема была внедрена и принята за типовую для Свердловской железной дороги.

Здесь введены следующие обозначения: АМС — антенно-мачтовые сооружения; ЯРВ — ящик распределительный вводный; ЩВП — щит включения питания; ПВ — панель вводная электропитания; ПР — панель распределения электропитания; ЩО/ЩС — щит бытовой сети электропитания; ТС — трансформатор силовой изолирующий; АРМ — автоматизированное рабочее место; ВКС — вводно-кабельная стойка связи; Р.ст. — радиостанция; ДГА, ЩДГА — дизель-генератор. При необходимости дополнительного устройства молниезащиты здания, когда мачта или башня радиосвязи не обеспечивают защиту объекта от грозовых разрядов, элементы молниезащиты должны быть присоединены к главной заземляющей шине поста ЭЦ.

В настоящее время этой схемой оборудовано несколько постов ЭЦ станций СвЖД, она проходит соответствующие испытания, по результатам которых будет принято решение о ее дальнейшем внедрении на сети дорог.

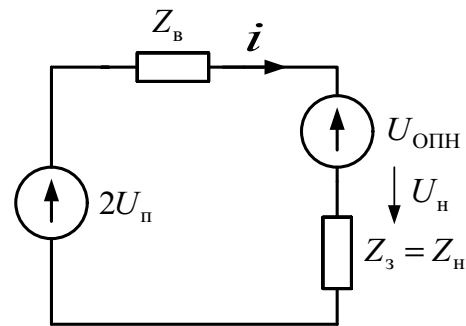


Рисунок 3 — Схема замещения цепи протекания ударного тока при пробое ОПН

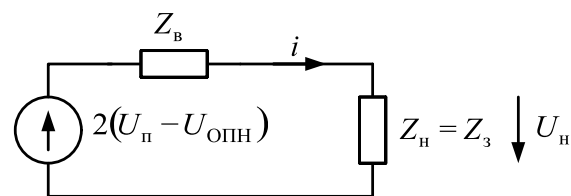


Рисунок 4 — Преобразованная схема замещения цепи протекания ударного тока

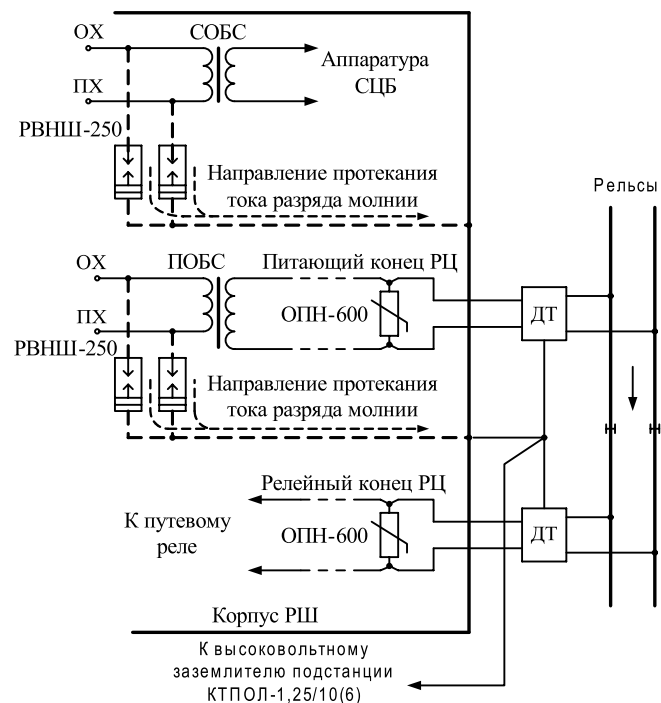


Рисунок 5 — Оптимизированная схема защиты от перенапряжений сигнальной точки СЦБ

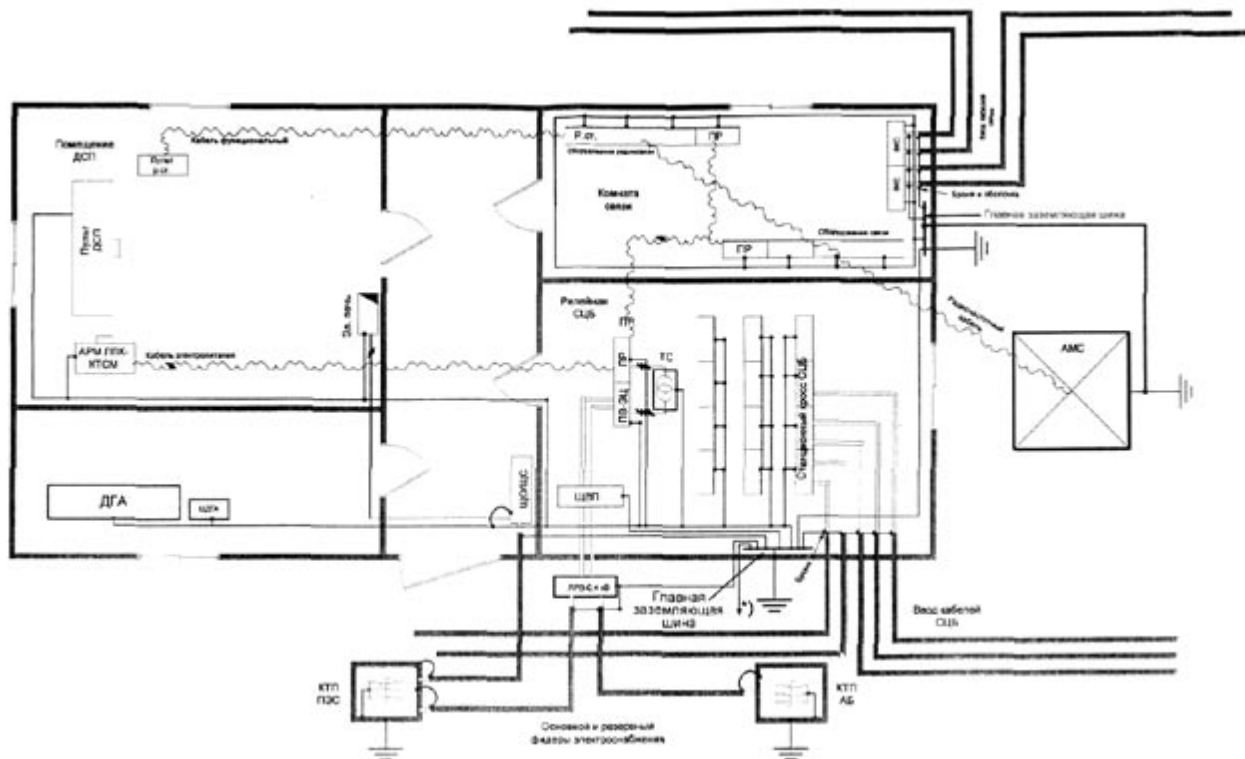


Рисунок 6 — Схема электроснабжения и заземления постов

Литература

1. Сердинов С.М. Анализ работы и повышения надежности устройств электроснабжения железных дорог. — М.: Транспорт, 1975. — 366 с.
2. Герман Л.А., Векслер М.И., Шелом И.А. Устройства и линии электроснабжения автоблокировки. — М.: Транспорт, 1987. — 192 с.
3. Электротехнический справочник / Под ред. П.Г. Грудинского. — М.: Энергия, 1975. — Т. 2. — 752 с. — Т.3. — 568 с.
4. Ограничители перенапряжений нелинейные серий POLIM, MVK и MWD: Техническое описание, инструкция по монтажу и эксплуатации / БП 768.002 ТО. — Екатеринбург: ЗАО «АББ УЭТМ», 1998. — 28 с.
5. Справочник по электроснабжению железных дорог. — Т. 1 / Под ред. К.Г. Марквардта. — М.: Транспорт, 1980. — 256 с.
6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — М.: Гардарики, 2006. — 701 с.
7. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств электроснабжения сигнализации, централизации, блокировки и связи на федеральном железнодорожном транспорте ЦЭ-881. — М.: Трансиздат, 2002. — 40 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА*

Как известно, проблема организации движения потоков автотранспорта достаточно актуальна. Существует значительное число различных подходов к моделированию потоков автотранспорта и организации движения [1-5]. Однако анализ отечественных и зарубежных публикаций свидетельствует о недостаточном использовании методов исследования операций в целом и теории очередей в частности. В данной работе предлагается модель проезда транспортным потоком многополосного регулируемого перекрестка, базирующаяся на применении теории систем массового обслуживания.

Введение

Основы математического моделирования дорожного движения впервые были заложены русским ученым профессором Г.Д. Дубелиром в 1912 г. Им введено понятие пропускной способности дороги, являющееся и по сей день важнейшим критерием оценки качества функционирования дорожной системы. В 1950-е гг. была построена первая макроскопическая модель с позиций механики сплошной среды [3, 6]. Позже появились микроскопические модели следования за лидером [4], базирующиеся на согласовании скоростей с впереди идущими автомобилями. Советские ученые в 1970-х гг. получили интересные результаты в исследовании транспортных потоков [5]. Статистические методы в данной области использовали в своих изысканиях И. Пригожин и Л. Брейман [2]. В настоящее время более 10 научных журналов освещают только проблемы движения транспорта, над этими вопросами работают национальные лаборатории и целые академические институты, в том числе и в нашей стране.

В качестве модели перекрестка можно рассмотреть систему массового обслуживания с изменяющейся интенсивностью последнего. А именно в период, когда проезд запрещен, т. е. горит красный сигнал светофора, интенсивность обслуживания равна нулю. Числом обслуживающих каналов m будет количество полос для проезда перекрестка в одну сторону ($m = 1, 2, 3$). В качестве модели можно выбрать систему с ограниченной очередью, тогда количество мест в очереди n равно числу автомобилей, которые поместятся по полосе движения на протяжении данного квартала. Таким образом,

$$n = \frac{L}{l} \cdot m,$$

где L — длина квартала;
 l — длина автомашины вместе с дистанцией (в среднем).

Обычные значения количества мест в очереди 10–30 автомобилей. При таком подходе предполагается, что машина, подъехавшая в момент, когда весь квартал забит, покидает систему. Можно также рассмотреть в качестве модели систему с неограниченной очередью. Для упрощения модели считается, что поступающий поток автомашин является простейшим с интенсивностью λ автомобилей в секунду.

Цель исследований — изучение зависимости длины очереди от интенсивности входного потока, а также нахождение оптимального режима работы светофора при заданных интенсивностях входного потока автомашин. В качестве критериев оптимальности могут быть выбраны средняя длина очереди (или среднее время ожидания в очереди), вероятность того, что количество машин в очереди превысит заданное значение и т. п.

1. Описание модели

Для расчета характеристик системы при движении автомашин в одну сторону по одной полосе можно использовать одноканальную модель системы массового обслуживания с ограниченной очередью.

Пусть T — длина полного цикла светофора, а зеленая фаза, например, составляет половину длины цикла

$$\tau = \frac{T}{2}.$$

Интенсивность обслуживания $\mu(t)$ можно задать периодической функцией с периодом T

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu_0, & t - \left[\frac{t}{T}\right] \cdot T < \tau \\ 0, & t - \left[\frac{t}{T}\right] \cdot T > \tau \end{cases}, \quad (1)$$

где $[x]$ — целая часть числа;

μ_0 — интенсивность проезда перекрестка при разрешающем сигнале светофора, т. е. сколько в среднем автомашин может проехать перекресток в данном направлении за 1 мин при включенном разрешающем сигнале.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 08-01-00446а.

Таким образом, основными параметрами описанной выше системы являются:

T — длина полного цикла светофора;

λ — интенсивность входного потока;

μ_0 — интенсивность потока обслуживания в «зеленой» фазе;

n — максимальная длина очереди.

Необходимо отметить, что при достаточно больших значениях числа n мест в очереди показатели работы системы с ограниченной очередью близки к показателям системы с неограниченной очередью.

Граф состояний системы изображен на рис. 1.

В состоянии S_0 автомашин на перекрестке нет, в S_1 — одна автомашин осуществляет проезд перекрестка, S_2 — одна автомашин совершает проезд и одна автомашин ожидает и т. д., в состоянии S_{n+1} все места в очереди заняты. Через $p_i(t)$ обозначена вероятность того, что в момент t система находится в состоянии S_i . Естественно, выполняется условие нормировки

$$P_0(t) + P_1(t) + \dots + P_{n+1}(t) = 1. \quad (2)$$

В соответствии с теорией марковских цепей с непрерывным временем [6] необходимо составить дифференциальные уравнения Колмогорова:

$$\begin{cases} \dot{p}_0 = -\lambda p_0 + \mu(t) p_1 \\ \dot{p}_1 = -\lambda p_1 - \mu(t) p_1 + \lambda p_0 + \mu(t) p_2 \\ \dots \\ \dot{p}_n = -\lambda p_n - \mu(t) p_n + \lambda p_{n-1} + \mu(t) p_{n+1} \\ \dot{p}_{n+1} = \lambda p_n - \mu(t) p_{n+1} \end{cases} \quad (3)$$

Далее через $q(t)$ обозначается $n+2$ -мерный вектор вероятностей состояний в момент времени t . Систему (3) можно записать в виде

$$\dot{q} = (\lambda A + \mu(t) B) q, \quad (4)$$

где $\mu(t)$ определяется равенством (1), матрицы A и B размерности $(n+2) \times (n+2)$ соответственно равны:

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 1 & -1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & -1 & 1 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Система дифференциальных уравнений (3) с условием нормировки (2) однозначно определяет вероятности состояний системы, если известно начальное распределение вероятностей: $q(0) = q^{(0)} = (p_0^{(0)} \ p_1^{(0)} \ \dots \ p_n^{(0)})$.

Система дифференциальных уравнений может быть решена, например, с помощью пакета Matcad. На графиках представлены результаты расчетов для следующих параметров работы системы: интенсивность входного потока $\lambda=0,2$ а/с, среднее время пересечения перекрестка — 2 с, длина полного цикла светофора — 50 с, зеленая фаза — 25 с, допустимая длина очереди — 20 автомашин. На рис. 2 изображена зависимость от времени вероятности состоя-

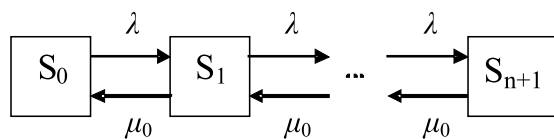


Рисунок 1 — Граф состояний системы

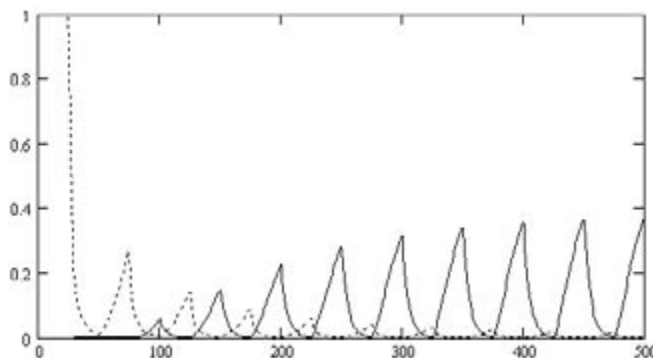


Рисунок 2 — Вероятности состояний

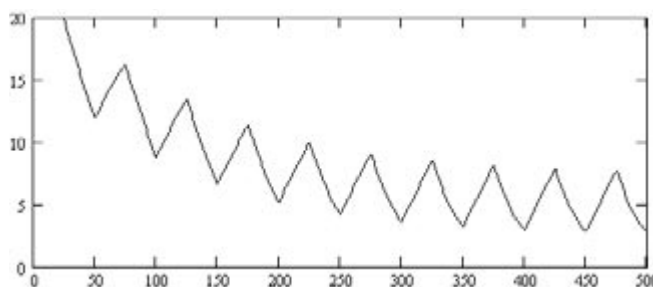


Рисунок 3 — Средняя длина очереди

ний, пунктирной линией $p_{21}(t)$ — вероятность того, что весь квартал занят, и сплошной линией $p_0(t)$ — вероятность того, что автомашин перед светофором нет.

На рис. 3 показана зависимость средней длины очереди $r(t)$ от времени для тех же значений параметров системы

$$r(t) = \sum_{k=1}^n k p_{k+1}(t).$$

На графиках рис. 2 и 3 хорошо видно, что исследуемые параметры работы системы приближаются к периодическим функциям, так, средняя длина очереди приближается к периодической функции и стабилизируется в интервале 3–8 автомашин.

С помощью численного моделирования можно изучить зависимость средней длины очереди от интенсивности входного потока и режима работы светофора. Однако такой метод не дает возможности для аналитических исследований и выбора оптимального режима работы. Поэтому необходимо изучать стационарные режимы работы системы.



2. Нахождение стационарного режима работы

Так как система дифференциальных уравнений (4) имеет периодическую правую часть, то с увеличением t ее решение $q(t)$ может приближаться к некоторой периодической функции $z(t)$ [7].

Определение. Если для любых начальных условий, удовлетворяющих равенству (2), соответствующее решение $q(t)$ системы дифференциальных уравнений (4) приближается к периодической функции $z(t)$, т. е. выполняется условие

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|q(t) - z(t)\| = 0,$$

где $\|q\|$ — норма вектора,

то $z(t)$ называется стационарным режимом работы системы.

Стационарный режим для системы (2), (4) всегда существует в случае ограниченного числа мест в очереди n и может не существовать для системы с неограниченной очередью.

Для нахождения стационарного режима работы системы в случае ограниченного числа мест в очереди необходимо рассмотреть систему линейных дифференциальных уравнений

$$\dot{q} = (\lambda A + \mu B)q, \quad (6)$$

где матрицы A и B задаются равенством (5), причем $\mu \equiv \mu_0$.

Пусть $X_\mu(t, t_0)$ — матрица Коши для этой системы [8], а $X_0(t, t_0)$ — матрица Коши для случая $\mu = 0$, т. е. для системы

$$\dot{q} = \lambda A q. \quad (7)$$

Матрица фундаментальных решений $X_\mu(t, t_0)$ системы дифференциальных уравнений удовлетворяет соотношениям:

$$\frac{d(X_\mu(t, t_0))}{dt} = (\lambda A + \mu B)X_\mu(t, t_0);$$

$$\frac{d(X_\mu(t, t_0))}{dt_0} = -(\lambda A + \mu B)X_\mu(t, t_0);$$

$$X_\mu(t, t) = E.$$

Решение системы (6) с начальными условиями

$$q(t_0) = q_{(0)} \quad (8)$$

записывается в виде

$$q(t) = X_\mu(t, t_0) q_{(0)}. \quad (9)$$

Как известно [8], значение матричной функции $X_\mu(t+\tau, t)$ не зависит от момента t и может быть обозначено через

$$\Phi_\mu(t) = X_\mu(t+\tau, t).$$

Пусть в начальный момент $t=0$ включается зеленый сигнал светофора, тогда решение системы (4) с периодическим коэффициентом $\mu(t)$ в моменты $t=kT$, где k — целое число, имеет вид

$$q(kT) = \Phi_0(T-\tau)\Phi_\mu(\tau) \cdot \dots \cdot \Phi_0(T-\tau)\Phi_\mu(\tau)q^{(0)}. \quad (10)$$

Здесь T — продолжительность всего цикла светофора, τ — продолжительность зеленой фазы. Уравнения (10) можно записать в рекуррентной форме

$$q((k+1)T) = \Phi_0(T-\tau)\Phi_\mu(\tau) \cdot q(kT).$$

Если существует $z(t)$ — стационарный периодический режим работы системы, то в моменты $t=kT$, где $k=0, 1, 2, \dots$, значения $z(kT)$ равны вектору $z^{(0)}$, который является решением системы линейных уравнений

$$\begin{cases} z = Gz \\ l^T z = 1 \end{cases} \quad (11)$$

Здесь $l=(1, 1, \dots, 1)$ — $(n+2)$ -мерный вектор, матрица зависит от параметров системы λ, μ, T, τ и определяется равенством

$$G = \Phi_0(T-\tau)\Phi_\mu(\tau). \quad (12)$$

Для нахождения периодической функции $z(t)$ далее можно решить систему дифференциальных уравнений (4) с начальным условием $q(0) = z^{(0)}$.

Важным показателем является также вектор стационарных вероятностей $z^{(1)}$ на момент конца зеленой фазы. Его можно найти либо по формуле

$$z^{(1)} = \Phi_\mu(\tau)z^{(0)},$$

либо аналогично нахождению как решение следующей системы:

$$\begin{cases} z = G_1 z \\ l^T z = 1 \end{cases} \quad (13)$$

здесь

$$G_1 = \Phi_\mu(\tau)\Phi_0(T-\tau). \quad (14)$$

Системы алгебраических уравнений (11), (12) и (13), (14) — это системы из $n+3$ -уравнений с $n+2$ -неизвестными — координатами вектора $z^{(0)}$. Численное решение этих систем сводится к нахождению собственных векторов матрицы G_1 или G_2 , отвечающих собственному значению, равному 1, и последующей нормировке этих векторов с тем, чтобы они удовлетворяли условию $l^T z = 1$.

Ниже на рис. 4 и 5 представлены зависимости вектора $z^{(0)}$ и $z^{(1)}$ для различных интенсивностей входного потока.

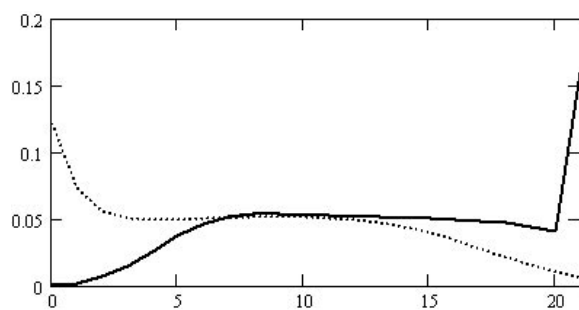
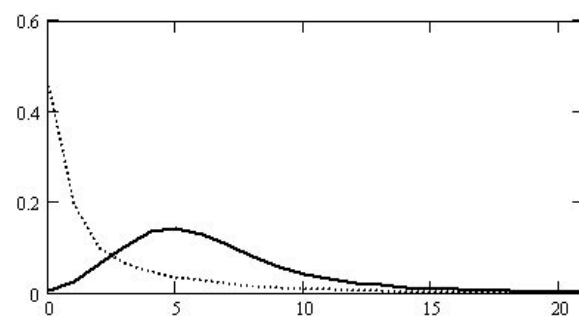
Причем пунктирной линией изображены вероятности состояний $z_i^{(0)}$ на начало зеленой фазы, а сплошной — вероятности состояний $z_i^{(1)}$ на ее конец. Вероятности откладываются по вертикальной оси, а количество автомашин в очереди — по горизонтальной. Следует отметить, что ситуация с меньшей ($\lambda=0,15$) интенсивностью входного потока является для городских условий в своем роде идеальной.

3. Исследование зависимости длины очереди от параметров системы

При рассмотрении модели перекрестка как системы массового обслуживания с кусочно-постоянной интенсивностью обслуживания и ограниченным числом мест в очереди важным показателем работы является распределение финальных вероятностей на начало зеленой фазы, т. е.

$$z^{(0)} = \lim_{t \rightarrow \infty} q(kT), \quad k=1, 2, 3, \dots,$$



Рисунок 4 — Стационарные режимы работы, $\lambda = 0,2$ Рисунок 5 — Стационарные режимы работы, $\lambda = 0,15$

где $q(t)$ — вектор вероятностей состояний системы в момент времени t .

Здесь и всюду далее предполагается, что в момент начала отсчета включается зеленый сигнал.

Как было показано выше, вектор $z^{(0)}$ удовлетворяет системе линейных алгебраических уравнений (11), что позволяет исследовать зависимость этого вектора и его составляющих от параметров системы.

В качестве показателей работы можно рассматривать:

среднюю длину очереди в установившемся режиме перед включением зеленого сигнала

$$r_0 = \sum_{i=1}^n k \cdot z_{i+1}^{(0)},$$

где $z_i^{(0)}, i=0,1, \dots, n+1$ — координаты вектора $z^{(0)}$ вероятности состояний системы в установившемся режиме;

вероятность того, что на начало запрещающего сигнала на перекрестке нет машин

$$p_0^* = z_0^{(1)},$$

где $z_i^{(1)}, i=0,1, \dots, n+1$ — координаты вектора $z^{(1)}$ вероятности состояний системы в установившемся режиме на начало запрещающего сигнала;

вероятность того, что длина очереди перед включением зеленого сигнала превысит некоторое заданное значение M

$$P(M) = z_{M+1}^{(0)} + z_{M+2}^{(0)} + \dots + z_{n+1}^{(0)}.$$

Возможны и другие критерии.

Таблица 1 — Степень загруженности проезда

№ п/п	Соотношение N_1 и N_2	Состояние перекрестка
1	$N_1 < N_2$	Свободный проезд
2	$N_1 \approx N_2$	Проезд с затруднением
3	$N_1 > N_2$	Затор

В рамках рассматриваемой модели были изучены зависимости показателей работы системы от интенсивности входного потока λ и интенсивности проезда μ .

При анализе работы перекрестка важно различать качественные состояния системы. Можно выделить три основных случая.

1. Проезд в заданном направлении происходит достаточно свободно. Такой режим характеризуется высокими вероятностями состояний S_0 и S_1 в конце зеленой фазы и малой (менее 0,01) вероятностью состояния S_{n+1} в конце запрещающего сигнала, наиболее вероятными в этот момент являются состояния с небольшой длиной очереди. Характерный график распределения вероятностей состояний для этого случая представлен на рис. 5.

2. Проезд в заданном направлении происходит с затруднением. Такой режим характеризуется малой вероятностью состояния S_{n+1} в начале запрещающего сигнала, наиболее вероятными в этот момент являются состояния с невысокой длиной очереди ($r_0 \leq n/2$). Но в конце запрещающего сигнала вероятность состояния S_{n+1} становится значительной, т. е. квартал заполняется автотранспортом.

3. Состояние затора. Такой режим характеризуется значительной вероятностью состояния S_{n+1} в начале запрещающего сигнала (более 0,01), наиболее вероятными даже в этот момент являются состояния с высокой длиной очереди ($r_0 \geq n/2$). Тем более что в конце запрещающего сигнала квартал полностью заполняется автотранспортом.

Для определения степени загруженности проезда по направлению полезно проанализировать соотношение N_1 (среднее число подъезжающих машин за весь полный цикл) и N_2 (среднее количество машин, которые успевают проехать на зеленый сигнал).

Очевидно, что

$$N_1 = \lambda \cdot T, N_2 = \mu \cdot \tau = \mu \cdot T/2.$$

Соответствие между параметрами N_1 и N_2 и состоянием перекрестка отражено в табл. 1.

Отметим, что такой анализ носит качественный характер и не позволяет сделать количественные расчеты, в частности проанализировать зависимость эффективности работы системы от продолжительности цикла светофора, так как соотношение между N_1 и N_2 не изменяется при изменении продолжительности периода.

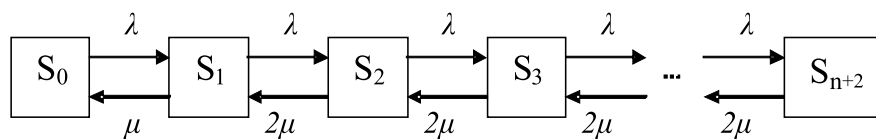


Рисунок 6 — Граф состояний двухканальной системы

4. Многополосное движение

Случай, когда движение по перекрестку осуществляется одновременно по 2 или более полосам, моделируется с помощью 2- или 3-канальной системы. При этом можно считать, что очередь перед светофором общая для всех автомобилей, а количество мест в очереди увеличивается пропорционально числу полос движения.

Схема СМО для случая двухполосного движения приведена на рис. 6.

В состоянии S_0 автомашин на перекрестке нет, в состоянии S_1 — одна машина совершает проезд, в состоянии S_2 — две машины совершают проезд, в состоянии S_3 — две машины совершают проезд и одна находится в очереди и т. д., в состоянии S_{n+2} все места в очереди и перекресток заняты. Через $p_i(t)$ обозначена вероятность того, что в момент t система находится в состоянии S_i . Естественно, выполняется условие нормировки $p_0(t) + p_1(t) + \dots + p_{n+2}(t) = 1$.

В соответствии с теорией марковских цепей с непрерывным временем необходимо составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\begin{cases} \dot{p}_0 = -\lambda p_0 + \mu(t) p_1 \\ \dot{p}_1 = -\lambda p_1 - \mu(t) p_1 + \lambda p_0 + 2\mu(t) p_2 \\ \dot{p}_2 = -\lambda p_2 - 2\mu(t) p_2 + \lambda p_1 + 2\mu(t) p_3 \\ \dots \\ \dot{p}_{n+2} = \lambda p_{n+1} - 2\mu(t) p_{n+2} \end{cases} \quad (15)$$

Решение системы (15) можно получить аналогично решению системы (3).

5. Выбор оптимального режима работы

Основная исследовательская цель данной работы была поставлена следующим образом: для заданных значений интенсивности входного потока λ и интенсивности проезда μ выбрать оптимальную продолжительность цикла светофора T при условии, что зеленая фаза составляет половину цикла, т. е. $\tau = T/2$.

Проведенные численные расчеты показали, что в рассмотренной модели с кусочно-постоянной средней интенсивностью проезда (1) для значений периода $T \in [30; 120]$ секунд все основные показатели эффективности работы монотонно зависят от длины цикла T . Так, средняя длина очереди монотонно убывает с уменьшением длины цикла светофора для значений интенсивностей входного потока, таких, что $N_1 < N_2$, т. е. в случае, когда проезд происходит достаточно

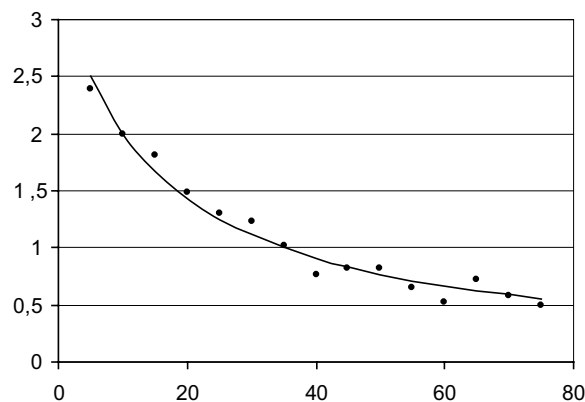


Рисунок 7 — Зависимость времени пересечения перекрестка от времени, прошедшего от начала включения разрешающего сигнала

свободно. При $N_1 \approx N_2$ средняя длина очереди практически не изменяется при изменении T . В случае перегруженности перекрестка $N_1 > N_2$ средняя длина очереди убывает при увеличении длины цикла. Таким образом, получается, что при малых интенсивностях входного потока чем выше частота переключения красного и зеленого сигналов, тем лучше.

Однако в реальной ситуации этого не происходит: при слишком частом переключении светофора проезд через перекресток автомобилей происходит медленнее. Это обусловлено тем, что в начале зеленой фазы автомашин, трогаясь с места, нужно больше времени для проезда перекрестка, чем автомобилям, подъезжающим к перекрестку в конце зеленой фазы с некоторой скоростью. Таким образом, при моделировании интенсивности проезда перекрестка необходимо учитывать, что среднее время пересечения перекрестка неодинаково в начале и в конце зеленой фазы светофора. Кроме того, если длина цикла переключений стремится к нулю, то стоящие автомобили просто не успевают тронуться, а имеющие ненулевую скорость в принципе могут проскочить, но здесь возникает вопрос о вероятности наступления двух независимых событий в малый промежуток времени.

Для описания интенсивности проезда перекрестка были проведены статистические наблюдения за распределением времени пересечения перекрестка отдельными автомашинами в зависимости от времени t , прошедшего от начала включения разрешающего сигнала. График $\bar{t}$ — средних значений времени пересечения перекрестка, полученный по результатам обработки 15 серий наблюдений, представлен на рис. 7.





Зависимость $\bar{\vartheta}$ от времени, прошедшего от начала включения разрешающего сигнала, достаточно хорошо описывается функцией вида

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{a + bt},$$

где параметры a и b подбираются на основании статистических наблюдений. Значения a и b зависят от длины перекрестка и условий проезда, а в целом варьируются незначительно.

Так как интенсивность проезда равна $\mu(t) = 1/\bar{\vartheta}$, то можно считать, что интенсивность проезда светофора изменяется по следующему закону:

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu_0 + b\theta, & \theta < \tau \\ 0, & \theta > \tau \end{cases}, \quad (16)$$

где $\theta = t - N_i \cdot T$, $N_i = \left\lfloor \frac{t}{T} \right\rfloor$ — количество целых цик-

лов, прошедших от начала отчета. Например, для приведенных выше статистических данных уравнение для интенсивности проезда имеет вид: $\mu(t) = 0,3 + 0,02 \cdot \theta$.

Изменение описания интенсивности проезда с заменой уравнения (1) на (16) не изменяет общего подхода к решению системы дифференциальных уравнений (2)-(3) и нахождению стационарных распределений вероятностей.

Составлена программа вычисления стационарных распределений вероятностей на начало и на момент окончания зеленого сигнала для системы на основе решения систем уравнений (11) и (13), где матрицы $G = \Phi_0(T - \tau) \Phi_\mu(\tau)$ и $G_1 = \Phi_\mu(\tau) \Phi_0(T - \tau)$, фундаментальная матрица зависит от вида функции $\mu(t)$. В качестве характеристики работы системы выбрана средняя длина очереди перед включением зеленого сигнала

$$r_0 = \sum_{i=1}^n k \cdot z_{i+1}^{(0)}.$$

Литература

1. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 11. — С.3-46.
2. Prigogine I. A Boltzman-like approach to the statistical theory of traffic flow // Theory of Traffic Flow. — Amsterdam: Elsevier, 1961.
3. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. A Theory of Traffic Flow on Crowded Roads // Proc. of the Royal Society Ser. A. — 1995. — Vol. 229. — No. 1178. — P. 317-345.
4. Chandler R.E., Herman R., Monrtoll E.W. Traffic Dynamics: Studies in Car Following // Oper. Res. — 1958. — Vol. 6. — P. 165-184.
5. Смирнов Н.Н. Математическое моделирование автотранспортных потоков. — М.: МГУ, 1999.
6. Узем Д. Линейные и нелинейные волны. — М.: Мир, 1977.
7. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
8. Беллман Р. Введение в теорию матриц. — М.: Наука, 1969. — 368 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. — М.: Радио и связь, 1972. — 416 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Автомобильная отрасль в настоящее время относится к одной из самых динамично развивающихся в экономике России. Растет уровень автомобилизации, появляются новые предприятия — как производящие автомобильную технику, так и оказывающие сервисные услуги. Однако бурное развитие отрасли создало ряд проблем, в решении которых заинтересованы не только производители, но и потребители автомобильной техники. «Нарастающая автомобилизация страны требует системных мер, направленных на ограничение ее негативных последствий для общества при максимально возможной реализации ее преимуществ и выгод» [1].

Как отмечается в докладе А. В. Колика, директора Департамента государственной политики в области автомобильного транспорта, дорожного хозяйства и городского пассажирского транспорта, на семинаре по транспортной стратегии «Россия-ЕС», «главная задача — сократить разрыв между темпами автомобилизации России и ее дорожной сетью».

Парк автотранспортных средств ежегодно возрастает на 7-10%. К 2020 г. общая его численность увеличится более чем в 2 раза и превысит 60 млн.

В перевозках грузов доля автомобильного транспорта сейчас не превышает 12% внутреннего грузооборота. Но в европейской части страны этот показатель достигает 40%. В сфере внешней торговли автотранспортом перевозится свыше 60% всех товаров по их стоимости.

Хорошо известные в Европе негативные последствия автомобилизации все более явственно проявляются и в России. Это и растущий уровень дорожной аварийности, и нагрузка на окружающую среду, и угроза коллапса отдельных узлов и участков транспортной сети [2].

Анализ рынка продаж автомобилей свидетельствует о ежегодном приросте его объемов. Эти тенденции характерны для всех сегментов, хотя и в разной степени. Растущая конкуренция на рынке продаж диктует политику фирм-производителей в области сервиса как одного из факторов повышения конкурентоспособности продукции: более сильные позиции занимают те компании, политика которых в области сервиса направлена на создание системы фирменного обслуживания с целью обеспечения покупателю ее сопровождения в течение всего периода эксплуатации. Такие системы призваны обеспечить наивысшее качество выполнения работ по обслуживанию в кратчайшие сроки и с минимальными затратами (девиз фирмы Toyota Motor: «Мы занимаемся обслуживанием, так как считаем, что сервис продает автомобили»).

Переход к рыночной экономике привел к структурным изменениям в деятельности предприятий, связанных с производством, эксплуатацией и обслуживанием автомобильной техники. Плановая система хозяйствования, существовавшая во времена СССР, предполагала наличие крупных автотранспортных предприятий (АТП) с собственной сервисной базой в каждом из них.

АТП как главный элемент отрасли грузового автотранспорта фактически представляли собой натуральное хозяйство, включающее не только службу перевозок, но и стоянку, ремонтную зону и даже склад ГСМ. Основным нормативный документ, регламентировавший работу АТП, — Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта — охватывал практически все аспекты технической эксплуатации отечественных грузовых автомобилей (ограниченного модельного ряда) и освобождал автопроизводителей от создания фирменных сетей сервиса. Для капитального и агрегатного ремонта существовала сеть авторемонтных заводов.

Среди особенностей переходного периода Е. С. Кузнецов [3] выделяет следующие:

- увеличение хозяйственной и экономической самостоятельности предприятий в условиях фактической ликвидации вертикальных связей;
 - разукрупнение и диверсификацию транспортных предприятий;
 - сокращение объемов перевозок и рост конкуренции;
 - сокращение доходов и рост расходов, необходимость жесткого контроля величины и источников всех доходов и расходов;
 - нехватку инвестиций и старение основных фондов.
- Разукрупнение предприятий и рост числа небольших АТП привели к появлению предприятий, специализирующихся на основном виде деятельности — организации процесса перевозок, поскольку в



этих условиях по экономическим и организационным причинам обеспечить удовлетворительный уровень технического обслуживания и ремонта практически невозможно. Хотя по уровню оснащенности многие АТП в свое время были в числе лучших, однако даже они в рыночных условиях не выдержали конкуренции. Их место на рынке и их территорию захватили специализированные компании — автотранспортные и занимающиеся продажей и сервисом грузовых автомобилей. Исключения из этого правила немногочисленны и лишь подтверждают общее правило.

Необходимость в качественных сервисных услугах осознается владельцами как легковой, так и грузовой автомобильной техники, причем с ростом продаж ситуация на рынке сервисных услуг обостряется.

Для легковых автомобилей актуальность проблемы качественного сервиса обусловлена изменением структуры рынка продаж: российский автопром уже несколько лет назад фактически отдал местный рынок на откуп иностранным автоконцернам, причем рост продаж иномарок опережает прогнозируемые темпы. Так, в 2007 г. российский автомобильный рынок показал рекордные темпы роста: по данным агентства «Автостат» [4], они составили 35,5% в количественном выражении и 57,3% в денежном. По данным РwC, с 2002 по 2007 г. объем продаж иномарок в России вырос более чем в 14 раз (с 2,8 млрд долл. до 40,8 млрд долл.), а доля российского рынка (в денежном выражении), занимаемая новыми иномарками, увеличилась за указанный период с 26 до 76%. В прогнозах развития рынка ставки делаются на «отечественные» иномарки. Влиять на спрос будут создаваемые в России автопроизводства, расширение региональных сетей автодилеров и приход в страну крупнейших мировых авторитейлеров. В то же время для организации качественного сервиса требуется, чтобы объем продаж вышел на такой уровень, когда создание фирменного сервисного центра будет рентабельным и экономически целесообразным, поэтому очевидно, что существует определенное «запаздывание» данного процесса.

По данным комитета автопроизводителей Ассоциации европейского бизнеса [5], в Западной Европе на одну мастерскую приходится 750 машин, в то время как в Москве — по 1 500 автомобилей на мастерскую, в регионах эта цифра ниже, но количество сервисных предприятий также растет более низкими темпами, чем требуется. Такое положение на рынке сервисных услуг не может положительно сказываться на их качестве. Выходом из сложившейся ситуации может стать такая организация сервисного обслуживания, при которой принятие управленческих решений будет научно обоснованным и оптимальным при конкретном сочетании внешних факторов.

Сегмент грузовых автомобилей во многом повторяет траекторию развития рынка легковушек. В 2006 г. в

России было продано 83 тыс. тяжелых грузовиков, из них около половины — импортные: 30 тыс. из дальнего зарубежья и 12 тыс. — из стран СНГ (МАЗ и КрАЗ). Правда, из-за более высокой цены на эти машины 80% импорта составляют подержанные авто [6].

Появление фирменных сервисных центров грузовой автомобильной техники свидетельствует о переходе отечественных производителей грузовиков на корпоративные стандарты обслуживания, что лишает сервисы многих автотранспортных компаний перспектив развития. Слабооснащенным ремонтным подразделениям транспортных предприятий уже не под силу обеспечить необходимое качество технической эксплуатации современных грузовых автомобилей. К тому же в период гарантийного срока поставщики грузовиков требуют, чтобы обслуживание осуществлялось только в авторизованных сервисных центрах, работающих под контролем производителей. Все эти обстоятельства породили спрос на специализированный сервис грузовых авто и формирование рынка соответствующих услуг (нового для России) [7].

Изменилось и само понятие «предприятие фирменного сервиса автомобильной техники». Как правило, система фирменного обслуживания представляет собой дилерско-сервисную сеть, предприятия которой — современные сервисные центры, создаваемые и функционирующие в тесном взаимодействии с фирмой-производителем (рис. 1).

Основной вид деятельности этих предприятий — реализация и сервисное сопровождение автомобильной техники. Такое предприятие строится по принципу «трех S»: собственный автосалон (Showroom), современная сервисная станция (Service Shop), а также склад запасных частей (Spare Parts Shop). Это сложные организационно-технические системы, эффективность и надежность функционирования которых обеспечивается стабильностью работы подсистем и качеством организации их взаимодействия и взаимовлияния.

Актуальной задачей для центра фирменного обслуживания автомобильной техники становится организация оперативного реагирования на возрастающий поток заявок, т. е. деятельность такого предприятия необходимо осуществлять на основе долгосрочного планирования и прогнозирования, базирующегося на результатах анализа внутренних процессов, а также маркетингового анализа конкурентного окружения. Поскольку решение вышеперечисленных задач невозможно без организации доступа к одному из важнейших ресурсов предприятия — достоверной и своевременной информации, то проектирование и создание систем сбора, хранения и движения информации становится одним из главных факторов успешной организации фирменного обслуживания автомобильной техники.

Существующие на настоящий момент системы автоматизации работы автосервисных предприятий поз-



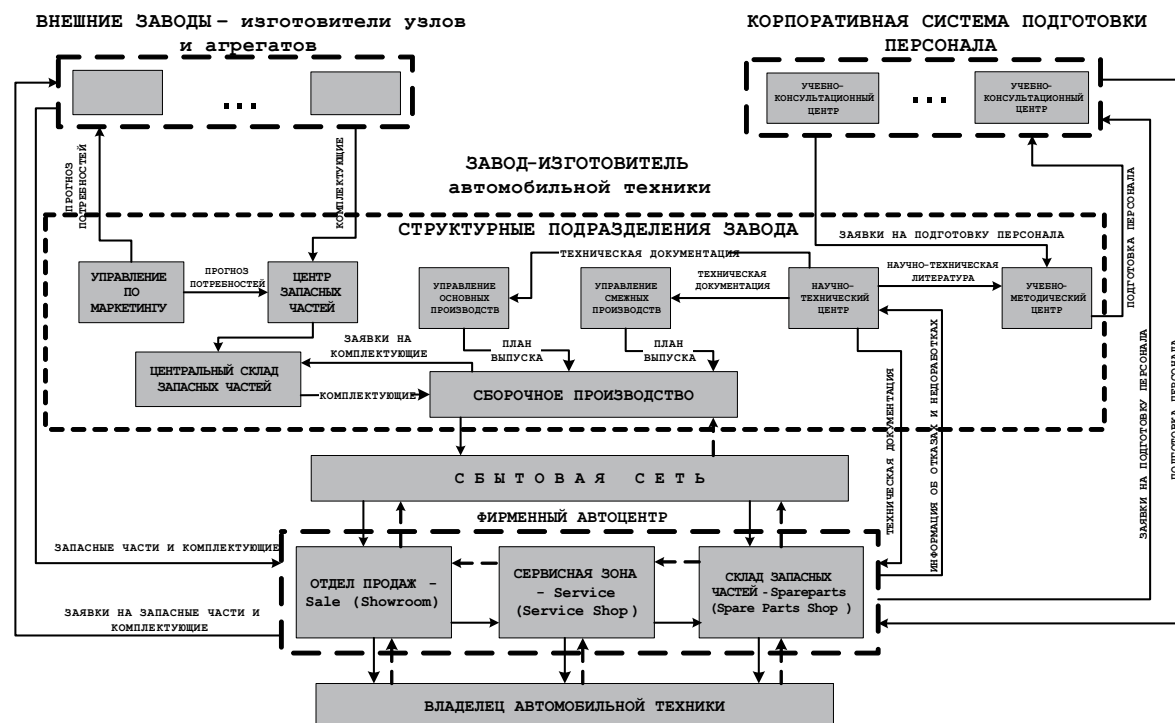


Рисунок 1 — Схема взаимодействия фирмы — производителя автомобильной техники и предприятия дилерско-сервисной сети

воляют вести учет информации о клиентах, автомобилях и регистрировать обращения в автоцентр, но цель такого учета — лишь сбор информации и ее хранение. Анализ информации в лучшем случае выполняется по финансовым показателям, которые не дают возможность оптимизировать деятельность такой сложной организационно-технической системы, поскольку не учитывается специфика производственного процесса.

Обоснованность и качество управленческих решений определяется полнотой информации и качеством модели, построенной на основе ее анализа. Кроме того, анализ причин обращений владельцев автомобильной техники в сервисный центр в течение гарантийного периода эксплуатации позволяет выработать рекомендации по ее надежной и безотказной работе, что повышает конкурентоспособность и доверие покупателя к определенному бренду.

Полнота и качество прогнозных оценок в значительной степени зависят от качества исходной информации — от того, насколько она структурирована и формализована. До настоящего времени практически не существует таких информационных систем, которые учитывали бы потребность специалистов, организующих деятельность сервисной зоны. Расширение модельного ряда автомобильной техники создает проблемы на начальных этапах обслуживания — при установлении причин выхода из строя узла или агрегата, поиске неисправности. Так, если у некоторых зарубежных автопроизводителей есть опыт создания

единого информационного пространства, когда все сведения об автомобиле, которые могут потребоваться при оказании сервисных услуг, формируются заводом-производителем, а предприятия дилерско-сервисной сети имеют доступ к единой информационной базе, то у большинства отечественных фирм таких систем пока нет.

Как правило, существуют информационные базы для решения внутренних задач, реализующие функции учета в каждом из производственных процессов. Поскольку современный рынок вынуждает производителей к расширению модельного ряда автомобильной техники, то сервисные предприятия испытывают сложности из-за недостаточной информации о комплектации конкретного автомобиля и вынуждены затрачивать длительное время в случае возникновения отказов, особенно в гарантийный период эксплуатации автомобильной техники. Ситуация усугубляется тем, что нет такого классификатора отказов, который позволил бы ускорить процесс оформления заявки, а в дальнейшем осуществить анализ причин обращений в автоцентр. Кроме того, возникают проблемы с прогнозированием потребностей в тех или иных комплектующих и при решении задач обеспечения запасными частями ремонтной зоны.

Цель данного исследования — формирование интегрированной информационной системы предприятия фирменного обслуживания автомобилей для сбора, анализа информации и определения оптимальных



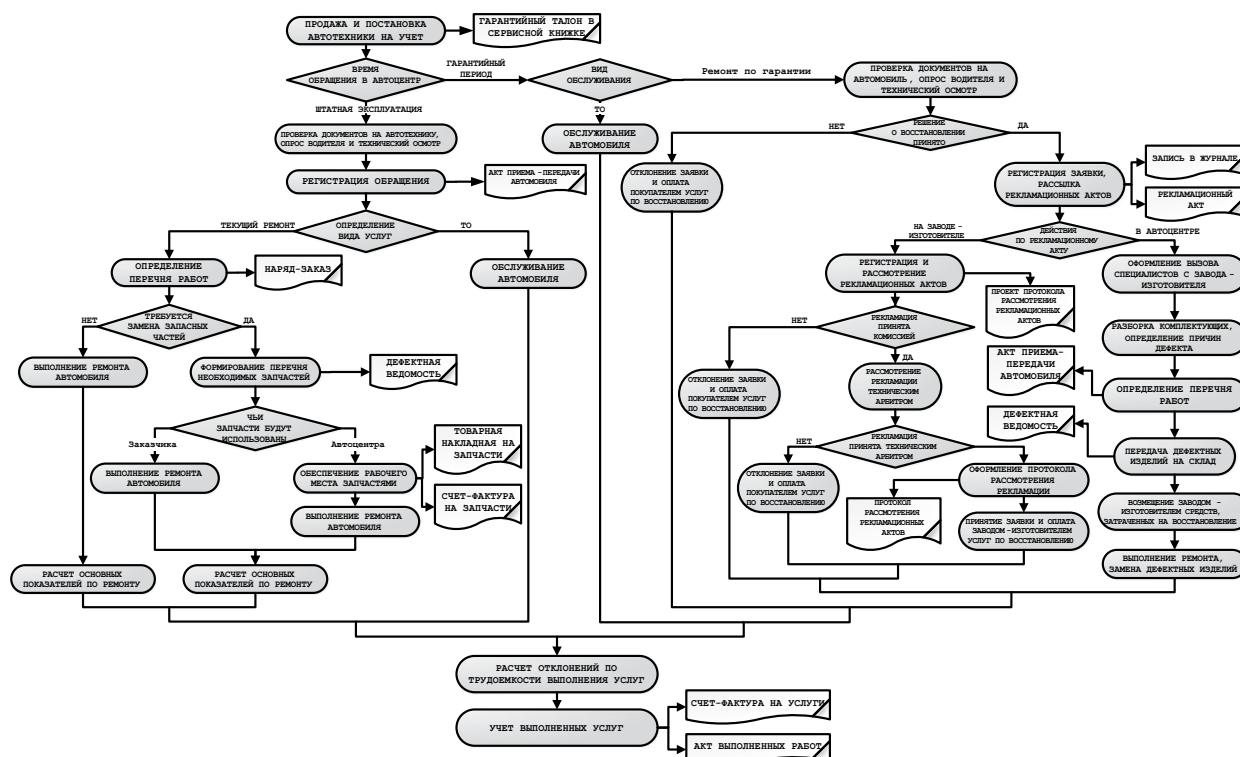


Рисунок 2 — Алгоритм функционирования системы фирменного обслуживания автомобилей

параметров функционирования системы фирменного сервиса предприятия. Выявление точных количественных закономерностей, свойственных процессам, происходящим при эксплуатации автотранспортных средств, на основе статистики отказов различных узлов автомобильной техники позволяет вырабатывать рекомендации по ее надежной и безотказной эксплуатации, а также оптимизировать систему фирменного обслуживания автомобилей.

КАМАЗ с самого начала своего существования был единственным из отечественных производителей грузовых автомобилей, создавшим и развивающим свою сервисную сеть. Сервисная сеть ОАО «КАМАЗ» сегодня — это более 200 предприятий в РФ и странах СНГ. Предприятие имеет и расширяет дилерско-сервисную сеть не только в России, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Однако, несмотря на усилия, которые делаются для решения вопросов качественного и оперативного обслуживания клиентов, и на клиентоориентированную политику в области сервиса, предприятия сервисной сети испытывают все указанные выше трудности, связанные с отсутствием единой информационной базы.

В качестве объекта исследования было выбрано предприятие ООО «Набережночелнинский автоцентр КАМАЗ», осуществляющее продажи и все виды сервисного обслуживания автомобильной техники. На рис. 2 представлен алгоритм функционирования

системы фирменного обслуживания автомобилей. В блок-схеме алгоритма отражены процедуры регистрации заявок и выполнения работ по фирменному обслуживанию, которые сопряжены с заполнением соответствующих выходных документов (отчетных форм).

Для учета обращений клиентов по сервисному обслуживанию автомобилей на данном предприятии на платформе «1С:Предприятие 8.0» разработана конфигурация «Техническое обслуживание и ремонт автомобилей». Выбор данной программы был обусловлен тем, что в настоящее время ОАО «КАМАЗ» переходит к ее использованию. Конфигурация представляет собой совокупность документов, отображающих табличную и запросную информацию базы данных. Пользовательский интерфейс исполнен в стандартном оформлении «1С:Предприятие 8.0». При запуске программы автоматически настраиваются элементы управления, находящиеся на главном окне, а также при запуске дочерних окон. Окно работы с приложением имеет вид, представленный на рис. 3.

Для оптимизации процесса оформления дефектной ведомости нами был разработан классификатор дефектов, который позволяет формализовать учетную информацию, выполнять прогноз обращений в последующие периоды и вырабатывать рекомендации по надежности. Вид окна формирования документа «Дефектная ведомость» приведен на рис. 4.

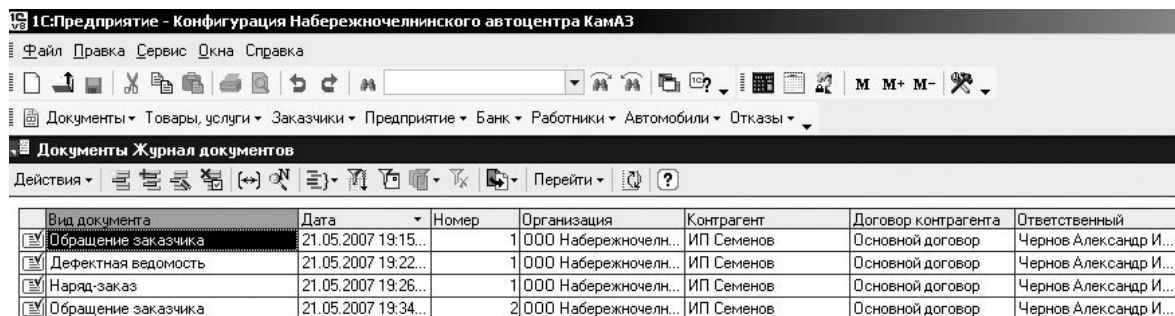


Рисунок 3 — Общий вид конфигурации



Рисунок 4 — Формирование документа «Дефектная ведомость»

Таким образом, информационная база разработанной конфигурации служит источником данных для статистического анализа работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобильной техники.

Нами были проанализированы заявки по всем видам сервисного обслуживания. Выборка производилась на основании запросной информации по трем

видам сервисных услуг (ТО, текущий ремонт и гарантийное обслуживание) ООО «Набережночелнинский автоцентр КАМАЗ» с декабря 2005 г. по сентябрь 2007 г. Статистические данные обрабатывались в среде Statistica 6.0, что позволило выявить закономерности поступления заявок и выработать рекомендации для предприятия.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации (одобрена на заседании Госсовета Российской Федерации 29 октября 2003 г.).
2. Колик А.В. Доклад на семинаре по транспортной стратегии «Россия-ЕС».
3. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами: Учебное пособие / МАДИ (ТУ). — М., 1997. — 202 с.
4. Рынок легковых автомобилей в России — итоги, тенденции, перспективы: Маркетинговый отчет / Агентство «Автостат», 2007. — <http://www.autostat.ru>
5. Карасюк Е. Бессрочная гарантия // SmartMoney. — 2007. — № 11.
6. Столяров Г. Плохие новости для «КАМАЗа». Volvo будет собирать грузовики в России // Ведомости. — 20 апр. 2007.
7. Демидов Н. Бес простоя // Эксперт Северо-Запад. — 2006. — № 31.



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН ПО УРОВНЮ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Проблеме влияния шин на расход топлива автомобилем посвящено большое количество работ, выполненных в НИИАТ, МАДИ, ТюмГНГУ, а также в ряде других НИИ, вузов и организаций. Однако эта проблема применительно к низкотемпературным условиям эксплуатации автомобиля разработана недостаточно.

Расход топлива существенно зависит от внешнего сопротивления движению автомобиля. Опыты показывают, что в общем балансе сопротивления движению (выбега) автомобиля потери на качение шин составляют значительную долю. В зимних условиях эта зависимость проявляется особенно значительно. В то же время степень изменения расхода топлива при этих условиях эксплуатации различна для разных автомобильных шин и определяется степенью приспособленности к условиям эксплуатации [1].

Потери на качение шин принято оценивать коэффициентом сопротивления качению. Анализ этого показателя по степени влияния на расход топлива автомобилем показал, что установление путем совместных аналитических и экспериментальных исследований закономерности изменения коэффициента сопротивления качению шин при понижении температуры окружающего воздуха представляет научный интерес.

В настоящее время необходима разработка методов надежного предсказания степени приспособленности шин различных конструкций к низкотемпературным условиям эксплуатации. Решение данной проблемы возможно путем использования математических методов распознавания образов, в результате чего должно быть получено решающее правило отнесения автомобильной шины к одному из классов приспособленности на основании вектора ее признаков. Под вектором признаков понимается совокупность признаков, относящихся к одной шине. Признак — это количественное измерение автомобильной шины.

Для практической разработки системы классификации автомобильных шин необходимо решить ряд задач [2]:

выбор тех признаков, которые с достаточной полнотой описывают шину;

отбор наиболее информативных признаков для классификации;

выбор решающего правила, по которому будет осуществляться отнесение автомобильных шин к тому или иному классу приспособленности;

оценка качества построенной системы классификации.

Проведен анализ факторов, влияющих на сопротивление качению шин. К числу основных внутренних факторов большинство исследователей относят каркас, протектор, боковины. Внешними считают скорость, давление воздуха, нагрузку на колесо, ширину и диаметр обода. На сопротивление качению оказывают влияние также температура, возрастание рабочего давления воздуха, пробег, износ протектора, углы установки колеса. С точки зрения решения задачи исследования оптимально разбиение факторов на 2 группы: конструктивные и связанные с условиями эксплуатации.

Согласно ГОСТ 4754-97 (Правила ЕЭК ООН № 30) основные особенности конструкции автомобильной шины: X₁ — камерные или бескамерные; X₂ — радиальные или диагональные; X₃ — дорожные, универсальные, повышенной проходимости, зимние, все-сезонные; X₄ — ошипованные или неошипованные; X₅ — индекс несущей способности; X₆ — индекс категории скорости; X₇ — усиленные или неусиленные; X₈ — индекс давления; X₉ — направленный или ненаправленный рисунок протектора; X₁₀ — применяемые материалы в каркасе или брекре; X₁₁ — толщина (слоистость) протектора.

Определение информативных признаков преследует следующие цели [3]: 1) уменьшение до минимума количества необходимых для описания классов признаков без существенного увеличения вероятности ошибки идентификации; 2) возможность использования относительно простых алгоритмов идентификации; 3) снижение вероятности ошибки идентификации. Необходимо уменьшить размерность признакового пространства, так как это сокращает количество измерений и упрощает вычисления, формирующие и реализующие решающие правила, повышает статистическую устойчивость результатов распознавания. Однако это уменьшение увеличивает риск ошибки при распознавании. Поэтому формирование признакового пространства — компромиссная задача, которую можно разделить на 2 части: формирование исходного признакового пространства и минимизация размерности этого пространства. Создание исходного пространства основывается на опыте, интуиции, а иногда и на везении. Теоретически обоснованные



Таблица 1 – Матрица априорных вероятностей для уровней приспособленности шин

Уровень приспособленности	Частота P (D)	Наличие шипов		Конструкция шины		Назначение и условия эксплуатации			...		
		P (SID)		P (SID)		P (SID)			P (SID)		
		ошипованная	неошипованная	радиальная	диагональная	дорожные	зимние	всесезонные	...	...	...
Высокий											
Средний											
Низкий											

подходы к решению этой задачи в литературе не встречаются. Отбор наиболее информативных признаков осуществляется в том числе методом факторного анализа с использованием универсального статистического пакета STADIA. Степень влияния конструктивных факторов (признаков) автомобильной шины на показатель приспособленности проявляется в величине дисперсии (диапазона изменения) этого показателя при изменении значений факторов. Изменение более мощного фактора приводит к большим изменениям показателя, на который он оказывает влияние. Для отбора числа значимых факторов используется график «каменистая осыпь», представляющий собой график распределения собственных значений факторов (по оси Y) в порядке убывания их величины. Малозначимыми будут факторы, суммарно отражающие менее 5-30% общей дисперсии.

Классификация автомобильных шин по уровню их приспособленности осуществляется на основе байесовской теории решений, позволяющей при помощи субъективной меры условных вероятностей совместно использовать наблюдаемые данные и известную ранее информацию.

Математическое определение условной вероятности отнесения к данному классу

Цель состоит в разработке такого классификатора, который будет правильно определять наиболее вероятный класс для пробной автомобильной шины. Тогда задача состоит в определении «наиболее вероятного» класса.

Задано M классов $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_M$, а также $P(\Omega_i | x)$, $i = 1, 2, \dots, M$ — вероятность того, что данная автомобиль-

ная шина, описываемая вектором признаков x , принадлежит классу Ω_i . $P(\Omega_i | x)$ называется апостериорной вероятностью, поскольку задает распределение индекса класса после эксперимента (*a posteriori* — т. е. после того, как значение вектора признаков x было получено).

Таким образом, используя байесовское решающее правило классификации по максимуму апостериорной вероятности, можно заключить следующее: автомобильная шина принадлежит к тому классу, для которого апостериорная вероятность выше. Апостериорные вероятности $P(\Omega_i | x)$ находятся из формулы Т. Байеса [2].

Пусть $A_1, A_2, \dots, A_n$ — полная группа несовместных событий. $\bigcup_{i=1}^n A_i = \Omega$, $A_i \cap A_j = \emptyset$ при $i \neq j$. Тогда апостериорная вероятность имеет вид

$$P(A_i | B) = \frac{P(A_i)P(B|A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B|A_i)},$$

где $P(A_i)$ — априорная вероятность события A_i ; $P(B|A_i)$ — условная вероятность события B при условии, что произошло событие A_i .

Заполнение матрицы «классы — признаки» (табл. 1) является ключом к использованию формулы Байеса [4].

Для контроля прогностической способности построенных моделей применяется подход, основанный на разделении исходной базы данных на обучающую выборку, используемую при построении моделей, и контрольную выборку, необходимую непосредственно для контроля.

Литература

1. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха: Учебное пособие. — Тюмень: Изд-во ТГУ, 1985. — 105 с.
2. www.ccas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf.
3. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высшая школа, 1983. — 295 с.
4. Ластед Л. Введение в проблему принятия решений в медицине: Пер с англ. — М.: Мир, 1971.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В АВТОМОБИЛЬНОМ ДИЗЕЛЕ

Дизельные двигатели — наиболее широко распространенный источник механической энергии во многих отраслях экономики и особенно в тягово-транспортных системах. Они преобладают на водном и железнодорожном транспорте, в тракторах и автомобилях большой и средней грузоподъемности. Расширяется их применение и в автомобилях других категорий.

Основные направления развития дизелей в настоящее время — повышение удельной мощности, экономичности, моторесурса и улучшение экологических показателей [1]. Для повышения литровой мощности за счет увеличения частоты вращения и среднего эффективного давления в рабочем объеме двигателя в единицу времени сжигается все большее количество топлива, что обеспечивается применением газотурбинного наддува, который используется в 60-80% выпускаемых дизелей.

В связи с этим происходит повышение тепловой напряженности деталей, которые образуют камеру сгорания, и в первую очередь поршня и крышки цилиндра.

Дизели типа ДМ-21, устанавливаемые на большегрузные карьерные самосвалы и промышленные тракторы, имеют высокие давления наддува — 0,23-0,25 МПа, среднее эффективное давление до 1,3-1,4 МПа и литровую мощность 16-18 кВт/л, что обуславливает повышенную теплонапряженность деталей. Для обеспечения их работоспособности и поддержания приемлемого уровня температур используется комплекс конструктивных мер. Крышка цилиндра имеет направленное омывание горячих зон охлаждающей жидкостью, поршень охлаждается маслом, которое подводится через шатун в специальные полости под днищем и в зоне колец; в верхней части цилиндра предусмотрены охлаждающие каналы в виде 34 аксиальных сверлений диаметром 9,5 мм. Поршень выполнен составным, т. е. днище и уплотнительная часть — из специальной жаростойкой стали, а направляющая часть — из алюминиевого сплава. Внутреннему охлаждению поверхностей камеры сгорания способствуют широкие фазы газораспределения, в результате продувка продолжается 125° п.к.в. (поворота коленчатого вала), что составляет 44,5% времени открытого состояния впускного клапана.

Снижение теплонапряженности двигателя обеспечивается и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха на 85-95°С, что приводит к увеличению плотности свежего заряда и уменьшению уровня температур газов во всех процессах рабочего цикла.

Но масляное охлаждение поршня и охлаждение наддувочного воздуха повышают нагрузку на систему отвода тепла, так как через три радиатора рассеивается до 30-32% тепла сгоревшего топлива. На привод жидкостных насосов и вентилятора затрачивается значительная мощность. Масса относящихся к этой сфере агрегатов существенно увеличивает материалоемкость силовой установки.

Поэтому одна из важнейших проблем в совершенствовании двигателя — снижение тепловых потерь, отдачи тепла в стенки и, как следствие, уменьшение тепловой напряженности и повышение показателей мощности и экономичности.

Снижение теплонапряженности двигателя возможно за счет использования тепловых барьеров, т. е. защитных покрытий огневых поверхностей камеры сгорания (поршня, головки, клапанов). Этому посвящен ряд исследований на различных двигателях.



Рисунок 1 — Головка поршня с теплозащитным покрытием днища

Представляет интерес выявление их эффективности на конкретной машине типа ДМ-21 (рис. 1), имеющей довольно высокий уровень форсирования (p_e до 1,3-1,4 МПа). Из большого разнообразия теплоизолирующих материалов наиболее результативна и приемлема двуокись циркония (ZrO_2), обладающая очень низкой теплопроводностью и достаточно высокой жаропрочностью.

Теоретическое исследование позволяет с меньшими затратами получить практически значимые результаты, выявить воздействие большого числа факторов, определить конкретные зависимости температур деталей от отдельных параметров.

Для проведения расчетов была разработана программа комплексного моделирования рабочего процесса и теплового состояния деталей. Моделирование рабочего процесса осуществлялось по методике ЦНИДИ [2], а для определения теплового состояния использовались одномерные двухузловые конечные элементы с линейным распределением температуры вдоль элемента и квадратичной зависимостью по нормали к нему. Данная методика позволяет рассчитать рабочий цикл в цилиндре дизеля и температуры всех деталей с учетом их взаимодействия друг с другом [3].

Исходные условия выбирались из литературных материалов, получались расчетом или по результатам стендовых испытаний. Из индикаторной диаграммы определялись текущие давления и вычислялись температуры газов, а по ним — коэффициент теплоотдачи от газов в стенки и средняя температура газов. Коэффициент теплоотдачи находили по уравнению Г. Вошни [4]. В деталях учитывался коэффициент теплопроводности материалов, а также толщина масляного слоя или газа в зазорах между деталями.

Условия теплообмена на границах с охлаждающими агентами оценивались следующим образом: температура охлаждающей жидкости и масла — по их величинам на входе в двигатель, коэффициенты теплоотдачи — по литературным данным.

Проведенное с помощью комплексной математической модели исследование позволило получить тепловые поля деталей в серийном исполнении и с покрытиями, выявить влияние давления наддувочного воздуха, угла опережения впрыска топлива и толщины покрытий на показатели рабочего цикла двигателя и теплонапряженность деталей.

У поршня без покрытий максимальная температура была на кромке камеры сгорания — 350°C, на кромке днища — 270°C, в центре камеры сгорания — 265°C, а в зоне верхнего поршневого кольца — около 150°C (рис. 2). То есть в целом температуры для стального поршня являются приемлемыми и не представляют угрозы его прочности и особенно работоспособности поршневых колец. Но все это обес-

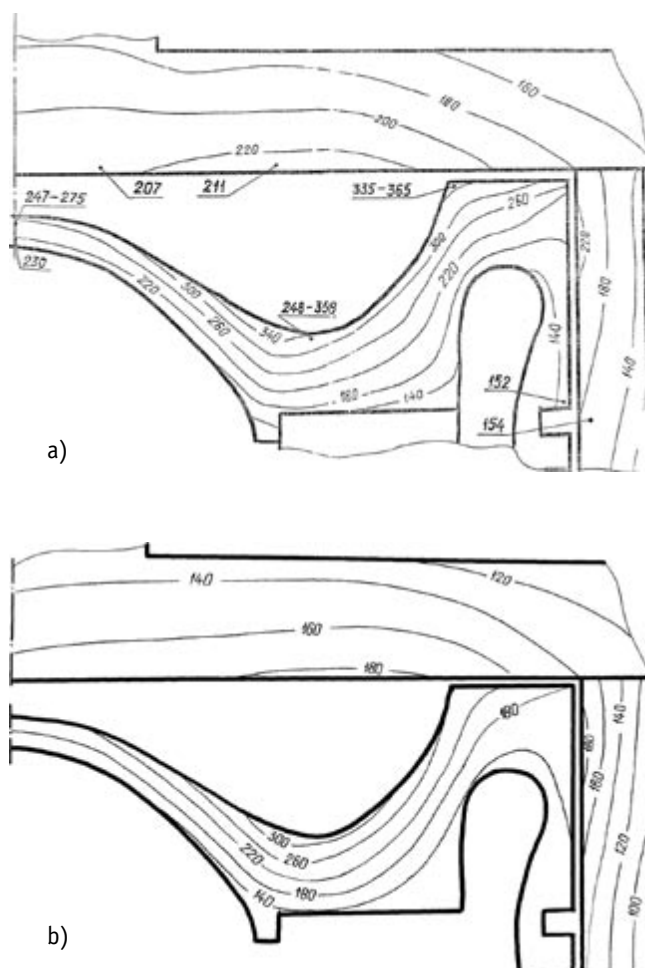


Рисунок 2 — Температурные поля (изотермы) головки поршня: а) без покрытий (изолинии расчетные, точки экспериментальные); б) с покрытиями днища

печивается интенсивным масляным охлаждением поршня и другими мерами, на что затрачивается дополнительная мощность на привод масляного насоса и других агрегатов. Продолжительный контакт масла с днищем поршня при его температуре 140-200°C, естественно, ускоряет процессы старения масла, снижает его качество, укорачивает срок службы и требует более частой замены.

Поэтому представляют интерес поиски иных путей снижения тепловой напряженности поршня. Так, уменьшение угла опережения впрыска с 20 до 16° п.к.в. при работе двигателя без теплоизолирующих покрытий привело к снижению теплового потока в поршень на 7,5%, но к некоторому повышению теплоотдачи в цилиндр дизеля. Температура кромки поршня упала с 350 до 338°C, т. е. на 12°C, однако увеличился, хотя и незначительно (на 0,4-0,5%), удельный расход топлива. Снизилось максимальное давление газов на



6%. Другие углы в расчетах не рассматривались, так как они существенно ухудшают экономичность и мощность.

Увеличение давления наддува с 0,24 до 0,27 МПа при неизменной цикловой подаче топлива приводит к пропорциональному росту интенсивности продувки и повышению коэффициента избытка воздуха на 12-13%. Это обеспечивает более полное сгорание топлива и уменьшение его удельного расхода на 1,0-1,5%, а максимальное давление газов возрастает на 8,7% и приближается к 14 МПа. Температура кромки поршня снизилась от воздействия этого фактора всего на 2-3°C, т. е. очень незначительно.

Применение покрытий дает более существенное уменьшение температуры деталей. При различных углах опережения впрыска топлива и давления наддува получено снижение температуры поршня в большинстве точек на 25-30°C (см. рис. 2), причем наибольшее снижение, в среднем 6°C на каждые 0,1 мм покрытия, зафиксировано при толщине 0,3 мм. При толщине

покрытия 0,6 мм — 2,7°C на 0,1 мм и при толщине 0,9 мм — всего около 1°C на 0,1 мм. Таким образом, наибольший эффект дают первые 0,3 мм толщины покрытия, а с наращиванием толщины происходит затухание результата (см. рис. 2).

Экономичность с применением покрытий улучшается на 1,0-1,5%, максимальное давление газов практически не изменилось.

Таким образом, теплоизолирующие покрытия на поршне и других деталях позволяют существенно снизить тепловую напряженность двигателя без использования или со значительным уменьшением других средств. При этом сокращение продолжительности продувки приведет к увеличению коэффициента наполнения. Снижение интенсивности или полное исключение масляного охлаждения поршня уменьшит расход масла, увеличит срок его службы, механический и эффективный КПД и вместе с коэффициентом наполнения повысит мощность и улучшит экономичность двигателя.

Литература

1. Озимов П.Л. Основные направления развития дизелестроения в России // *Двигателестроение*. — 2004. — № 1. — С. 3-6.
2. Иващенко Н.А., Петрухин Н.В. Методика совместного моделирования рабочего процесса и теплового состояния ЦПГ «адиабатного двигателя» // *Известия вузов. Машиностроение*. — 1987. — № 4. — С. 61-65.
3. Павличенко А.М., Жуков В.П. Моделирование индикаторного процесса дизелей: Учебное пособие. — Николаев: Изд-во Николаевского кораблестроительного института. — 1979. — 46 с.
4. Woschni G., Koleza K., Spindler W. Isolerung der Brennraumwände — Ein lohnendes Entwicklungsziel bei Verbrennungsmotoren? // *MTZ*. — 1986. — № 12. — С. 496-500.

ИНТЕНСИВНОСТЬ РАСХОДА ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ДОРОГАХ

Приведены расчеты и график интенсивности расхода воздуха на автомобильном транспорте в зависимости от крутизны подъемов на дорогах, вида дорожных покрытий и интенсивности движения.

В двигателях автомобилей при сжигании топлива расходуется большое количество воздуха.

Известно, что для сжигания 1 л горючего нужно 15 кг воздуха. Для того чтобы подчеркнуть важность экономии воздуха, отметим, что 15 кг воздуха достаточно одному человеку дышать в течение одного месяца. Один грузовой автомобиль сжигает в год примерно 12 т горючего, на что расходуется 240 000 кг воздуха.

Если учесть, что на автомобильном транспорте сжигается 50% от всего объема добываемой нефти, то можно представить, какое большое количество воздуха расходуется автомобилями.

Без воздуха невозможна жизнь на Земле.

В то же время в развитых индустриальных странах (например, в США) количество потребляемого кислорода более чем в 1,5 раза превышает его воспроизводство растениями. Нехватка «своего» кислорода приводит к тому, что эти страны живут за счет потребления кислорода соседних территорий. Такое же явление происходит в ряде наших промышленных областей.

Существует очень важная проблема: с целью сохранения и улучшения условий жизни на Земле следует уменьшать расход воздуха автомобильным транспортом при движении по дорогам.

Интенсивность расхода воздуха двигателем автомобиля помимо конструктивных особенностей и скорости движения последнего во многом определяется дорожными условиями.

Если совершенствованию конструкции двигателя внутреннего сгорания уделяется должное внимание, то влияние дорожных факторов на интенсивность расхода воздуха автомобильным двигателем изучено недостаточно.

Представляется актуальным установить влияние различных дорожных покрытий и крутизны подъемов на интенсивность расхода воздуха автомобильным транспортом.

Интенсивность потребления воздуха двигателями автомобилей можно рассчитать по формуле

$$q_s = Q_s \cdot N \cdot K_b, \quad (1)$$

где q_s — интенсивность расхода воздуха двигателями автомобилей, кг/км·ч;

Q_s — путевой расход топлива одним автомобилем, л/км;

N — интенсивность движения автомобилей по дороге, авт./ч;

K_b — коэффициент расхода воздуха двигателями автомобилей (для бензиновых $K_b = 17$, для дизельных $K_b = 24$ кг/л).

Расход топлива автомобилем (с учетом разной крутизны подъемов и различных дорожных покрытий) [1] определяется по формуле

$$Q_s = a \frac{F_k \cdot L}{\eta_{дв} \cdot \eta_{тр} \cdot H \cdot \gamma \cdot 10^3}, \text{ л/км}, \quad (2)$$

где F_k — касательная сила тяги, реализуемая на ведущих колесах автомобилей, Н;

L — длина участка дороги, м;

$\eta_{дв}$ — КПД двигателя (0,27-0,45);

$\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии (0,85);

H — удельная теплотворная способность топлива, кДж/кг (42 600 кДж/кг);

γ — плотность топлива, кг/л (для бензина — 0,740 кг/л, для дизельного топлива — 0,875 кг/л);

a — безразмерный коэффициент (для грузового транспорта $a = 0,5$, для легкового $a = 1,0$).

Расчет касательной силы тяги [2] выполняется по формуле

$$F_k = G(f_0 + i + \omega_b), \quad (3)$$

где G — вес автомобиля (автопоезда), Н;

f_0 — коэффициент сопротивления качению (характеризует вид и состояние дорожного покрытия, для асфальтобетона $f_0 = 0,020$, гравийной дороги $f_0 = 0,045$);

i — подъем на участке дороги, десятичная дробь;

ω_b — коэффициент удельного сопротивления воздушной среды (для грузовых автомобилей 0,003-0,005).

С учетом формулы (2) формула (1) запишется в следующем виде:

$$q_s = a \frac{F_k \cdot L}{\eta_{дв} \cdot \eta_{тр} \cdot H \cdot \gamma \cdot 10^3} N \cdot K_b. \quad (4)$$

Подставляя в формулу (4) значение F_k из формулы (3), имеем в окончательном виде формулу для расчета интенсивности расхода воздуха двигателями автомобилей

$$q_s = a \frac{G(f_0 + i + \omega_b) \cdot L}{\eta_{дв} \cdot \eta_{тр} \cdot H \cdot \gamma \cdot 10^3} N \cdot K_b. \quad (5)$$

В формуле (5) расчет интенсивности расхода воздуха автомобилями выполняется с учетом вида и со-

стояния дорожных покрытий, крутизны подъемов на дороге и интенсивности движения.

Формула (5) учитывает движение автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями. В формуле принимаются во внимание и более совершенные конструкции автомобилей за счет большей величины КПД их двигателей и трансмиссии.

В виде примера на рис. 1 приведен график интенсивности расхода воздуха дизельным автомобилем КрАЗ-6437 при различной интенсивности движения на подъемах разной крутизны, на дорогах с асфальтобетонным и гравийным покрытием. На графике видно, что изменение интенсивности движения автомобилей значительно влияет на расход воздуха их двигателями. Так, рост интенсивности движения в 2 раза, с 300 до 600 авт./ч, на подъеме 70‰ увеличивает интенсивность расхода воздуха с 7 000 до 14 300 кг/км·ч, т. е. более чем в 2 раза.

На интенсивность расхода воздуха двигателями оказывает существенное влияние крутизна подъемов на дороге. При интенсивности движения 300 авт./ч и увеличении крутизны подъемов с 10 до 70‰ наблюдается рост интенсивности потребления воздуха в 3 раза — с 2 400 до 7 000 кг/км·ч. На каждые 10‰ подъема интенсивность потребления воздуха составляет 770 кг/км·ч, а при росте интенсивности движения до 600 авт./ч она возрастает до 1 600 кг/км·ч.

На интенсивность расхода воздуха существенно влияет тип дорожного покрытия. Так, на гравийной дороге при интенсивности движения 300 авт./ч и подъеме 50‰ интенсивность расхода воздуха возрастает по сравнению с асфальтобетонным покрытием более чем в 2 раза — с 5 500 до 12 800 кг/км·ч (см. на рис. 1 линии 1 и 4).

Выполненные расчеты и анализ полученных данных показывают, что строительство автомобильных дорог более высоких категорий (классов) с совершенными дорожными покрытиями и подъемами меньшей крутизны позволяет существенно снизить интенсивность расхода воздуха автомобильным транспортом и значительно улучшить воздушное пространство на прилегающей к дороге территории.

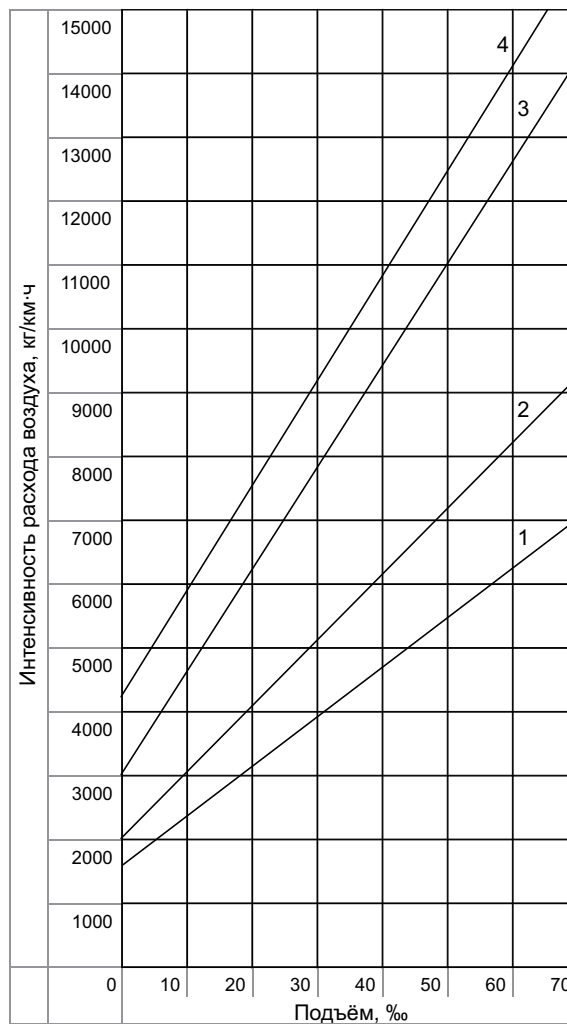


Рисунок 1 — Интенсивность расхода воздуха дизельным автомобилем КрАЗ-6437 в зависимости от крутизны подъемов, интенсивности движения и на дорогах с различным дорожным покрытием:
 1 — 300 авт./ч; 2 — 400 авт./ч; 3 — 600 авт./ч (асфальтобетонное покрытие); 4 — 300 авт./ч (гравийная дорога)

Литература

1. Силуков Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах. — Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. — С. 173.
2. Силуков Ю.Д. Эксплуатация автомобильных дорог. — Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. — С. 228.

ОЦЕНКА ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ К РЕЖИМАМ ПУСКА И ПРОГРЕВА ПО ПАРАМЕТРАМ СМАЗОЧНОГО ПРОЦЕССА В ПОДШИПНИКАХ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Работа автомобильного двигателя характеризуется разнообразием эксплуатационных режимов, которые в силу своих особенностей вносят различный вклад в расход топлива, выбросы вредных веществ с отработавшими газами, долговечность и т. п. Самым неблагоприятным считается режим пуска и прогрева в условиях эксплуатации при низких температурах, который обуславливает значительную долю (от 15 до 60%) общего износа пар трения [1]. Среди пар трения наиболее уязвимы с точки зрения изнашивания подшипники скольжения коленчатого вала в силу особенностей их смазывания и нагружения.

1. Актуальность

Интенсивность изнашивания подшипников скольжения коленчатого вала на режимах пуска и прогрева зависит от их приспособленности к этим режимам, прежде всего по условиям смазки. Работы по оценке приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации длительное время ведутся под руководством профессора Л.Г. Резника. В них рассмотрено влияние суровых климатических условий на такие показатели, как расход топлива, токсичность отработавших газов, темп прогрева двигателя; предлагаются мероприятия по снижению расхода топлива и токсичности отработавших газов в низкотемпературных условиях эксплуатации. Вместе с тем этот критерий с точки зрения минимизации изнашивания автомобильных двигателей не изучался.

2. Теоретический подход к оценке приспособленности автомобильных двигателей к режимам пуска и прогрева

Приспособленность — это свойство автомобильного двигателя сохранять номинальные показатели качества (экономичность, экологичность, долговечность и т. д.) при изменении внешних воздействующих факторов. Применительно к пуску и прогреву это могут быть конструктивные особенности двигателя, например: применение утепления двигателя, устройств предпусковой подготовки, средств облегчения пуска; температура окружающей среды; частота вращения коленчатого вала при прогреве; свойства моторного масла. Оценка приспособленности автомобильного двигателя с учетом этих факторов возможна с использованием предложенного профессором Л.Г. Резником коэффициента приспособленности $K_{пр}$, представляющего собой отношение значения показателя качества при стандартных условиях к значению того же показателя при нестандартных условиях, на-

пример при низких температурах окружающей среды [2],

$$K_{пр} = \frac{\Pi_{баз}}{\Pi_{иссл}}, \quad (1)$$

где $\Pi_{баз}$ — значение параметра, полученное в стандартных условиях эксплуатации (считается базовым); $\Pi_{иссл}$ — значение параметра, полученное в нестандартных условиях эксплуатации.

Так, ГОСТ 14846-81 устанавливает следующие стандартные атмосферные условия: барометрическое давление 760 мм рт. ст., температура воздуха +20°C, относительная влажность воздуха 50% (давление водяных паров 9 мм рт. ст.). Стандартным является двигатель, прошедший обкатку, имеющий наработку не более 30-40% от ресурса, определенного заводом-изготовителем, заправленный рекомендуемыми техническими жидкостями, свечами зажигания, фильтрующими элементами.

В зависимости от степени приспособленности двигателя коэффициент $K_{пр}$ может принимать соответствующие значения. При $0 < K_{пр} < 1$ автомобильный двигатель имеет низкую приспособленность к нестандартным условиям по сравнению со стандартными, при $K_{пр} = 1$ приспособленность соответствует базовой и при $K_{пр} > 1$ — высокая приспособленность.

Цель настоящей работы — определить минимизацию изнашивания автомобильных двигателей при пуске и прогреве в нестандартных условиях на базе оценки приспособленности подвижных сопряжений, например подшипников коленчатого вала, к этим процессам.

Объект исследования — смазочный процесс в подшипниках скольжения коленчатого вала. Предмет исследований — закономерности смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатого вала при прогреве автомобильного двигателя.



Применение коэффициента приспособленности подшипников коленчатого вала при пуске и прогреве в нестандартных условиях базируется на закономерностях смазочного процесса в подшипниках при различных частотах вращения и температурах окружающей среды. Одной из функций полученных закономерностей служила величина средней протяженности контакта трущихся поверхностей за единицу времени (параметр L_k). Ее значение рассчитывают по зависимости

$$L_k = \frac{(1 - P_{\text{ж}}) \pi d n}{60}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ж}}$ — относительная продолжительность существования смазочного слоя за единицу времени в подшипнике скольжения;

d — диаметр подшипника коленчатого вала, мм;
 n — частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Параметр $P_{\text{ж}}$ представляет собой относительную продолжительность существования смазочного слоя, теоретическое и экспериментальное обоснование которого применительно к подшипникам коленчатого вала проведено в работах [3, 4]. Показатель $P_{\text{ж}}$ является безразмерным и принимает значение 0 при контактном взаимодействии, 1 — при бесконтактном и от 0 до 1 — при переходном смазочном процессе.

Переходный смазочный процесс — это общий случай взаимодействия смазываемых трущихся поверхностей в подвижных сопряжениях реальных машин. Интенсивность изнашивания $ih_{\text{псп}}$ подшипника скольжения при работе в условиях переходного смазочного процесса [4] зависит от параметра L_k

$$ih_{\text{псп}} = AB L_k^x, \quad (3)$$

где $A = \frac{60k}{\pi d (l d)^x}$ — комплексный постоянный коэф-

фициент, в котором l — опорная длина подшипника, k — коэффициент пропорциональности, x — показатель степени;

$B = \frac{R^x}{n}$ — переменный коэффициент, в котором R —

внешняя нагрузка на подшипник.

Накопление величины линейного износа $I_{\text{псп}}$ трущихся поверхностей подшипника скольжения со временем составит

$$I_{\text{псп}} = \sum_{i=1}^m I_{\text{псп}i} = AB \sum_{i=1}^m (L_{ki} \Delta T_i) = \frac{AB \pi d}{60} \sum_{i=1}^m (1 - P_{\text{ж}i}) n_i, \quad (4)$$

где ΔT_i — интервал времени, с;

m — количество интервалов времени.

Основываясь на полученной зависимости, расчетно-аналитическим путем определяют величину линейного износа трущихся поверхностей при различных эксплуатационных условиях. Введен новый параметр

$L_{k\Sigma}$ — суммарная протяженность контактов за определенный интервал времени ΔT_i :

$$L_{k\Sigma} = \sum_{i=1}^m L_{ki} \Delta T_i. \quad (5)$$

Известно, что изнашивание трущихся поверхностей происходит при их контактном взаимодействии, поэтому можно предположить, что значение $L_{k\Sigma}$ характеризует линейный износ трущихся поверхностей.

Следующим этапом теоретического исследования стало уточнение существующей математической модели [5] переходного смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатого вала автомобильных двигателей с учетом пуска и прогрева при низких температурах окружающей среды.

Результаты имитационного моделирования указывают на то, что на значения параметра $L_{k\Sigma}$ наибольшее влияние оказывают значения низкой температуры окружающей среды и частоты вращения коленчатого вала при прогреве. Эти результаты послужили основой последующих экспериментальных исследований.

3. Методика проведения экспериментальных исследований

Для проверки выдвинутых теоретических положений были проведены экспериментальные исследования на автомобильном двигателе ВАЗ-2103 с полусинтетическим моторным маслом вязкостью 10W40. Нарботка двигателя на момент проведения исследований составляла около 25% от предельного ресурса. План эксперимента предусматривал исследования при температурах окружающей среды t_{oc} от -20°C до $+20^\circ\text{C}$ на трех частотах вращения коленчатого вала: $n = 1\,500, 2\,000$ и $2\,500$ мин⁻¹. Двигатель находился не менее 24 ч в условиях окружающей среды. Во время прогрева замерялись: параметр $P_{\text{ж}}$ с помощью автоматизированной системы оценки смазочного процесса [4], давление моторного масла p_m в масляной магистрали, температура масла t_m в поддоне картера.

4. Результаты экспериментальных исследований

По полученным экспериментальным данным определялись зависимости параметров $P_{\text{ж}}$, $L_{k\Sigma}$, p_m и t_m от времени прогрева T . На рис. 1 приведена одна из таких зависимостей при температуре окружающей среды $t_{\text{oc}} = 0^\circ\text{C}$ и частоте вращения коленчатого вала $n = 2\,000$ мин⁻¹.

При пуске автомобильного двигателя происходит увеличение давления масла p_m , параметров $P_{\text{ж}}$ и $L_{k\Sigma}$ в первые 25-30 с прогрева, после чего значения параметра $P_{\text{ж}}$ продолжают увеличиваться, а параметра $L_{k\Sigma}$ уменьшаться. Это объясняется тем, что при увеличении частоты вращения коленчатого вала автомобильного двигателя после пуска масло только начинает поступать



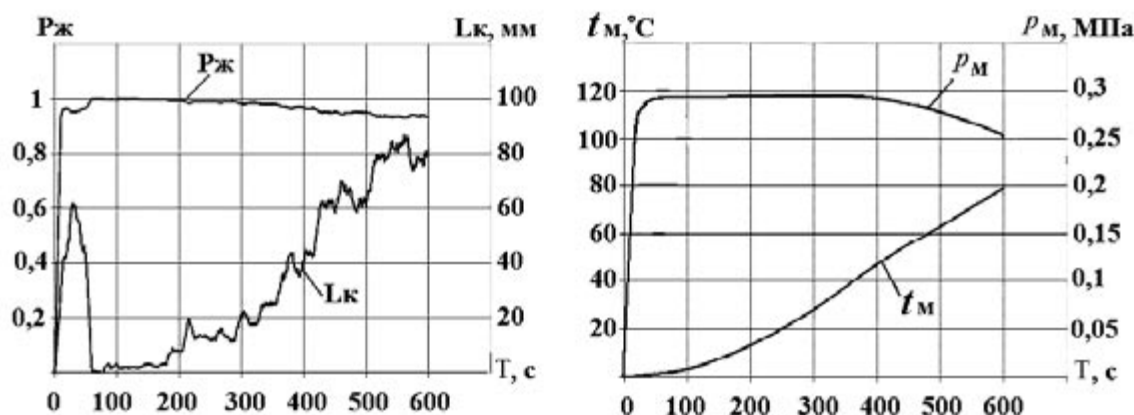


Рисунок 1 — Зависимости параметров смазочного процесса от времени прогрева двигателя

к парам трения, и в первые секунды из-за недостаточного его количества велика средняя продолжительность контакта. Но по мере увеличения расхода моторного масла в масляной магистрали значения $L_{\text{к}}$ уменьшаются, а значения параметра $P_{\text{ж}}$ продолжают расти. При стабилизации давления масла ($p_{\text{м}} = 0,29$ МПа) параметр $P_{\text{ж}}$ достигает своего максимума ($P_{\text{ж}} = 0,98$), а $L_{\text{к}}$ — минимума ($L_{\text{к}} = 0,1-1,5$ мм). При дальнейшем прогреве двигателя давление масла $p_{\text{м}}$ плавно уменьшается и стабилизируется при $p_{\text{м}} = 0,2$ МПа, значения $P_{\text{ж}}$ также снижаются и стабилизируются на уровне $P_{\text{ж}} = 0,93$, а значения $L_{\text{к}}$ увеличиваются до $L_{\text{к}} = 75-85$ мм.

Зависимость параметра $L_{\text{к}\Sigma}$ от времени прогрева представлена на рис. 2.

Для анализа зависимости, показанной на рис. 2, совместим диаграмму изменения интенсивности изнашивания на режиме пуска и прогрева $V_{\text{и}}$, представленную в работе [6], с диаграммой накопления суммарной протяженности контакта $L_{\text{к}\Sigma}$ (рис. 3).

Первую фазу диаграммы $V_{\text{и}}$ рассматривают как фазу наиболее интенсивного изнашивания в начальный период пуска, на диаграмме $L_{\text{к}\Sigma}$ первая фаза

— это высокая интенсивность увеличения суммарной протяженности контакта в начальный период режима пуска и прогрева, когда масло еще не поступает в достаточном количестве к трущимся поверхностям.

Вторая фаза — быстрое уменьшение интенсивности изнашивания для $V_{\text{и}}$ и быстрое уменьшение интенсивности накопления суммарной протяженности контакта $L_{\text{к}\Sigma}$ в связи с все более интенсивным поступлением масла к трущимся поверхностям.

Третья фаза — монотонное снижение интенсивности изнашивания и плавная стабилизация интенсивности увеличения суммарной протяженности контакта по мере прогрева двигателя, нормализации процесса смазки. Сравнение зависимостей $V_{\text{и}}$ и $L_{\text{к}\Sigma}$ экспериментально подтверждает рассмотренную выше теоретически связь между $L_{\text{к}}$ и износом пар трения при переходном смазочном процессе.

Получены зависимости суммарной протяженности контакта $L_{\text{к}\Sigma}$ от температуры окружающей среды t_{oc} при различных частотах вращения коленчатого вала n (рис. 4) при прогреве.

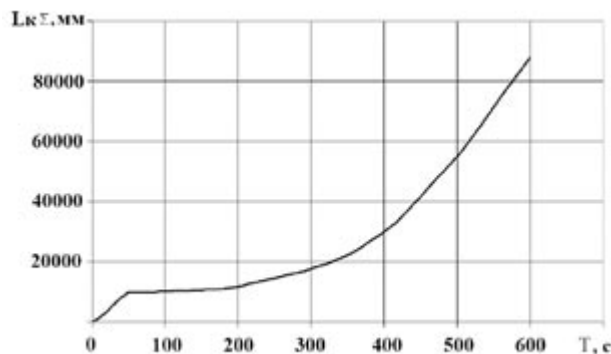


Рисунок 2 — Зависимость суммарной протяженности контакта в подшипниках коленчатого вала от времени прогрева

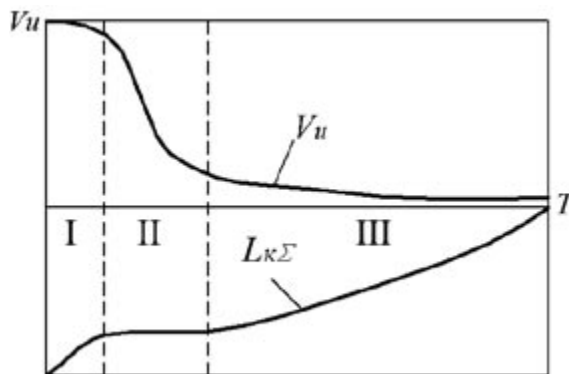


Рисунок 3 — Совмещение диаграмм изменения интенсивности изнашивания на режиме пуска и прогрева и суммарной протяженности контакта от времени прогрева

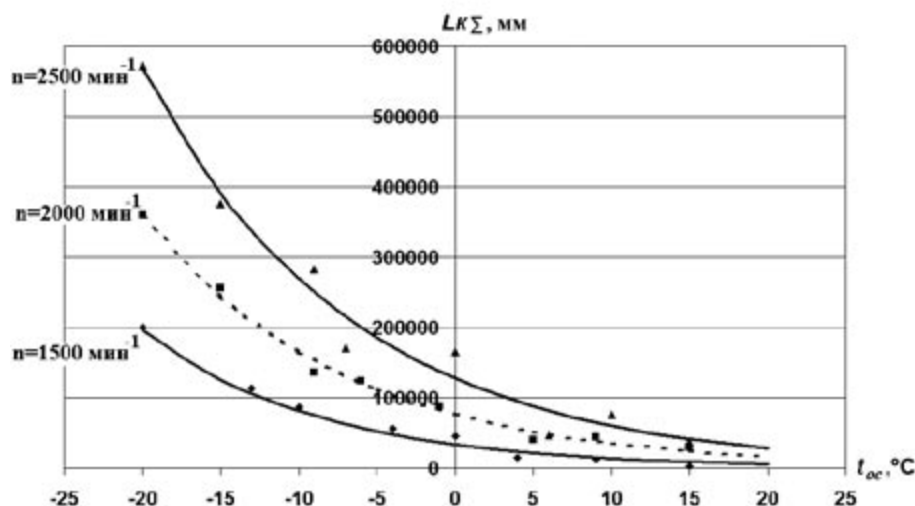


Рисунок 4 — Зависимости $L_{K\Sigma}$ от температуры окружающей среды t_{oc} при различных частотах вращения коленчатого вала n при прогреве

Аппроксимация экспериментальных точек позволила получить следующие зависимости для каждого из режимов:

$$\begin{aligned} L_{K\Sigma 1500} &= 33\,664 e^{-0,088 t_{oc}}, \\ L_{K\Sigma 2000} &= 76\,678 e^{-0,0772 t_{oc}}, \\ L_{K\Sigma 2500} &= 12\,7406 e^{-0,0747 t_{oc}}. \end{aligned}$$

Анализ полученных зависимостей позволяет утверждать, что режим прогрева при частоте $n = 1\,500 \text{ мин}^{-1}$ наиболее безопасен с точки зрения пусковых износов на всем рассмотренном температурном диапазоне. При $n = 2\,000 \text{ мин}^{-1}$ суммарная протяженность пути контакта в среднем в 2,0-2,1 раза, а на режиме $n = 2\,500 \text{ мин}^{-1}$ — в 3,2-3,3 раза выше, а соответственно и выше пусковые износы.

Принимая значения $L_{K\Sigma}$ для $n = 1\,500 \text{ мин}^{-1}$ базовыми при температуре окружающей среды $t_{oc, баз} = 20^\circ\text{C}$,

получена зависимость коэффициента приспособленности $K_{пр}$ двигателя к режимам пуска и прогрева от температуры окружающей среды. Результаты расчетов коэффициента приспособленности для каждого из рассматриваемых режимов представлены на рис. 5.

Для каждого из режимов коэффициент приспособленности $K_{пр}$ описан следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} K_{пр 1500} &= 0,1722 e^{0,088 t_{oc}}, \\ K_{пр 2000} &= 0,0756 e^{0,0772 t_{oc}}, \\ K_{пр 2500} &= 0,0455 e^{0,0747 t_{oc}}. \end{aligned}$$

Полученные зависимости указывают на нелинейное изменение приспособленности двигателя к режимам пуска и прогрева по параметрам смазочного процесса, носят экспоненциальный характер, с увеличением температуры окружающей среды приспособленность увеличивается более интенсивно.

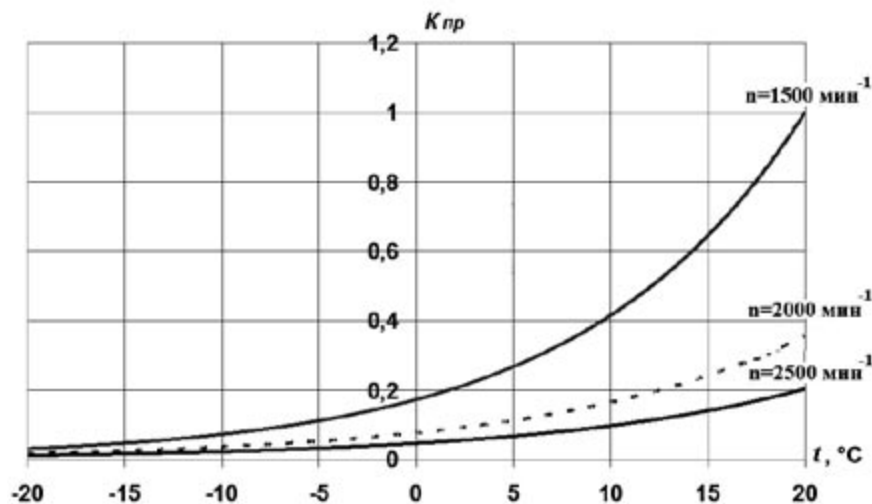


Рисунок 5 — Зависимость коэффициента приспособленности $K_{пр}$ от температуры окружающей среды на различных режимах прогрева



Выводы

1. Разработана расчетно-экспериментальная методика оценки приспособленности автомобильных двигателей к режимам пуска и прогрева по параметрам смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатого вала, позволяющая оперативно и достоверно оценивать на режимах пуска и прогрева работоспособность конструкций смазочных систем автомобильных двигателей, эффективность моторных масел с различными вязкостно-температурными и химическими свойствами, конструктивные особенности автомобильных двигателей, например устройства предпусковой подготовки.

2. Установлены закономерности протекания смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатого вала автомобильного двигателя при пуске и прогреве.

3. Определены значения режимов прогрева автомобильного двигателя ВАЗ-2103 в зависимости от температуры окружающей среды, дана оценка их влияния на изнашивание подшипников коленчатого вала.

4. Результаты данных исследований позволят минимизировать изнашивание подшипников скольжения коленчатого вала автомобильных двигателей за счет оценки приспособленности к режимам пуска и прогрева системы «подшипники скольжения — моторное масло». Дальнейшее развитие исследований обеспечит повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств путем совершенствования норм и нормативов эксплуатационного расходования ресурсов двигателя.

Литература

1. Ежов С.П. Эксплуатационные качества автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие / МАДИ. — М., 1985. — 72 с.
2. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чирков С.Т. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. — М.: Транспорт, 1989 — 128 с.
3. Калимуллин Р.Ф., Якунин Н.Н., Тюняев И.В. Метод оценки трибологического состояния подвижных сопряжений автомобильных двигателей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Приложение к Вестнику ОГУ. — Оренбург: ОГУ. — 2005. — № 12. — С. 50-55.
4. Повышение долговечности транспортных машин: Учебное пособие для вузов / В.А. Бондаренко, К.В. Щурин, Н.Н. Якунин и др. — М.: Машиностроение, 1999. — 144 с.
5. Калимуллин Р.Ф. Расчетно-экспериментальная методика оценки режимов нагружения автомобильных двигателей по переходному смазочному процессу в коренных подшипниках: Автореф. ... к.т.н. / Оренбург: ОГУ, 2002. — 19 с.
6. Костин А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1989. — 284 с.