

4 (15) / 2007

ISSN 1815-9400

ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛА



ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИИ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВЕДЕНИИ ПОЕЗДА
И РАБОТЕ С УСТРОЙСТВАМИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ
И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ



ТЕМА НОМЕРА:

КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СОГЛАСОВАННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ

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

Выпускающий редактор Неверова Людмила Васильевна.

Контактные телефоны:

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

lneverova@nis.usurt.ru

В НОМЕРЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

- Ларин О. Н. / КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОГЛАСОВАННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ.....2
- Филипенко А. В. / ВЛИЯНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ.....9
- Алексиков С.В. / ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....16
- Бакиров А. Р. / ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ.....20
- Туранов Х. Т., Тимухина Е.Н., Волков Д.В. / НАГРУЗОЧНЫЕ СПОСОБНОСТИ ГИБКИХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ГРУЗА СО СМЕЩЕНИЕМ ЦЕНТРА МАСС ВДОЛЬ ВАГОНА.....25
- Годлев А. И., Любомский С.А. / ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВЕДЕНИЕМ ПОЕЗДА И РАБОТЕ С УСТРОЙСТВАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....36
- Крюков А.Ю. / СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СИМУЛЯТОРОВ ФИРМЫ MICROSOFT.....42
- Леонтьев Р.Г., Комарова В.В., Каликина Т.Н. / ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ.....48
- Глушко М.И., Антропов А.Н. / СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТРАНЗИТНЫМ ГРУЗОВЫМ ПОЕЗДАМ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ.....54
- Козлова В.П. / ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ.....58
- Якушев Д.С. / СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....61

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Смолянинов А. В., Пранов В.А. / АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ.....65
- Сакало В.И., Титарев Д.В. / НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В ДИСКАХ ТОРМОЗОВ СКОРОСТНЫХ ВАГОНОВ.....70

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА Ж. Д. ТРАНСПОРТЕ

- Сидоров О.А., Павлов В.М., Смердин А.Н., Голубков А.С., Заренков С.В. / ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА.....76
- Неугодников Ю.П., Неугодников А.Ю. / ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ 12 И 24 ПУЛЬСОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ 6,6 И 13,2 КВ.....80
- Никитин А.Б., Шатохин В.А. / К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ.....86
- Ларин А.Н. / МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ИСКАЖЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....90

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ

- Мухомад Ю.Ф., Пашков Н.Н., Комков А.З. / СИСТЕМНЫЕ ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПНЕВМОСТРУКТУР.....95

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Резник Л.Г., Анисимов И.А., Барков В.Н. / КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕВОДА ТРАНСПОРТА НА КОМПРИМИРОВАННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В УСЛОВИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....101
- Баных В.С., Ковалев Р.Н. / О РАСПОЛОЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ПРАВИЛАМ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ.....106
- Боровских А.М., Покачалов В.В., Орлов С.А. / ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОРШНЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.....108
- Трояновская И.П. / МОДЕЛИ АКТИВНОГО ПОВОРОТА КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН.....112
- Бондарь В.Н., Малозёмов А.А. / СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ Д-180.....115

КОНЦЕПТУАЛЬНОМЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОГЛАСОВАННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ

Существенный вклад функционального подхода в теорию и практику организации транспортных систем заключается в том, что его применение позволяет наиболее полно раскрыть и использовать системные ресурсы транспортной системы страны [1].

Традиционно считается, что взаимодействие различных видов транспорта является основным источником дополнительного эффекта в транспортных системах. Характеристика условий и механизма взаимодействия видов транспорта приведена, например, в [2]. При этом многие отечественные ученые обращают внимание на целесообразность исследования взаимодействия различных видов транспорта в более широком аспекте, не ограничиваясь только проблемами, возникающими при непосредственном контакте транспортных средств в узловых центрах. Другими словами, ставятся задачи исследования условий и механизмов образования системного эффекта в процессе взаимодействия транспортных систем различных уровней, входящих в состав единой транспортной системы страны. Взаимодействие транспортных систем всех уровней обеспечивает выполнение общесистемной функции – реализации транспортных связей. Поэтому эффективность такого взаимодействия зависит от того, насколько согласованно функционируют все уровни транспортной системы страны.

При построении многоуровневых типовых моделей транспортной системы страны используются различные подходы: территориальный, административно-политический, экономический и т.д. Особенности функционирования различных уровней транспортной системы страны отражает функциональная модель, методологической основой которой является функциональный подход. С позиций функционального подхода структура объектов любой природы организуется с учетом выполняемых ими функций. Поэтому структура функциональной модели транспортной системы страны должна соответствовать структуре транспортных связей, для аналитического описания которой используются положения топологии [3].

Транспортная связь X предполагает существование пространственного разрыва и необходимость его преодоления посредством транспортировки грузов или пассажиров между какойлибо парой объектов h_1 и h_2 , принадлежащих множеству H . Мощностью F_{ij} транспортной связи x_{ij} между отправителем h_i и получателем h_j ($i, j = 1, \dots, n$) измеряется количество

перемещаемых единиц груза или пассажиров q_{ij} (объем перевозок) за определенный период времени t . Возможное количество транспортных связей w_{ij} между объектами множества H с учетом i и j составляет $w_{ij} = i \times j$, однако реальное их количество, как правило, меньше, так как не каждый отправитель является одновременно и получателем, и наоборот, то есть некоторые q_{ij} могут быть равны нулю.

Для реализации транспортной связи x_{ij} организуется транспортное сообщение g_{ij} по транспортному пути r_{ij} на расстояние l_{ij} . Параметры транспортных сообщений определяются мощностью соответствующих транспортных связей F_{ij} и параметрами, которые учитывают влияние транспортных факторов a_k ($k = 1, K$): используемый подвижной состав, способы организации транспортировки и т.п. – и переводят объемные показатели в число единиц подвижного состава:

$$g_{ij} = (F_{ij}, a_1, a_2, \dots, a_K).$$

Выбор параметров a_k осуществляется в ходе калибровки модели по эмпирическим данным. Содержательная интерпретация понятия транспортного сообщения связана с основной характеристикой транспортного потока – интенсивностью движения u_{ij} транспортных средств на участке r_{ij} транспортной сети R : $u_{ij} \approx g_{ij}$.

Гипотетически для каждого сообщения g_{ij} предоставляется обособленный транспортный путь (дорога) r_{ij} . Однако если транспортные связи осуществляются между большим количеством h с малым значением F_{ij} при большой вариации w_{ij} , становится очевидной нерациональность создания выделенных транспортных путей для реализации каждой транспортной связи в отдельности. Невозможно строить дороги в том же темпе, в каком происходит возрастание транспортных связей. Согласно данным [4], объем транспортных связей примерно равен квадрату выпускаемой продукции. Поэтому в целях рационального использования ресурсов на строительство и содержание



путей сообщения объекты h группируются в транспортные районы обслуживания.

В теоретико-множественной трактовке транспортный район образуется на основе объединения некоторых объектов h в подмножество A , если они отвечают определенному признаку k ,

$$A^s = \{ h^k \}, \quad A^s \in T, \quad h^k \in H,$$

где s – ранг системы T множества транспортных районов A ($s = 1, \dots, n$).

Все транспортные связи x_{ij} объектов h , вошедших в состав транспортного района A^s , приписываются транспортному району в совокупности. При этом транспортные связи разделяются на две группы: внутрирайонные и межрайонные. Для реализации внутрирайонных транспортных связей организуются внутрирайонные (местные) транспортные сообщения g^s , которые осуществляются по внутрирайонной (местной) транспортной сети R^s . Для реализации межрайонных транспортных связей организуются межрайонные сообщения g^{mn} между корреспондирующими транспортными районами A^m и A^n . Сообщения G^{mn} осуществляются по межрайонной транспортной системе, в состав которой входит межрайонная транспортная сеть R^y , состоящая из сетевых узлов и путей сообщения r^y . Сетевые узлы являются местом соединения межрайонной и местной транспортных сетей. Выделяется два типа сетевых узлов: дорожный узел b^y – место пересечения межрайонных и местных транспортных путей сообщения (перекресток дорог); транспортный узел (терминал) B^y – место, где происходит смена вида транспорта или подвижного состава. Узлы B^y могут выполнять функции дорожных узлов b^y .

Межрайонные транспортные сообщения g^{mn} ($g^{mn} \in G^{mn}$) могут быть представлены в виде цепочки сообщений: $g^{mn} = g_y^m + g_{mn}^y + g_y^n$. Сообщения g_y^m ($g_y^m \in G_y^m$) и g_y^n ($g_y^n \in G_y^n$) выполняются соответственно по местным сетям R^m и R^n , а сообщения G_{mn}^y – по межрайонной сети R^y . Сообщения G_y^m и G_y^n концентрируются в так называемых предельных точках ϕ транспортных районов, в которых соединяются местные R^m , R^n и межрайонная R^y сети. Предельные точки ϕ_y^z ($i = 1, \dots, z; z \geq s$) размещаются в сетевых узлах. В отличие от узла b^y , при прохождении которого параметры транспортных сообщений не изменяются ($G_y^m \sim G_{mn}^y \sim G_y^n$ – эквивалентные множества; $\Sigma g_y^m = \Sigma g_{mn}^y = \Sigma g_y^n$), в узле B^y осуществляются грузоперерабатывающие операции и смена подвижного состава, вследствие чего параметры транспортных сообщений преобразуются (как правило, $\Sigma g_y^m > \Sigma g_{mn}^y; \Sigma g_{mn}^y < \Sigma g_y^n$).

Функциональное назначение межрайонной сети R^y состоит в интеграции транспортных сообщений G^{mn} между A^m и A^n множества T . Функцию межрай-

онной транспортной сети $J(R^y)$ в теоретико-множественной трактовке можно определить как отображение

$$J(R^y): (G_y^m, G_y^n) \times R^y \rightarrow G_{mn}^y.$$

На рис. 1 показан пример образования двух транспортных районов A^m и A^n с разделением транспортных связей на внутрирайонные x_{ij} и межрайонные X_{ij} . Для реализации X_{ij} организуются транспортные сообщения G^s и G^{mn} (рис. 2). Сообщения g^{mn} осуществляются по межрайонной транспортной сети (показана двойной линией), включающей сетевые узлы и пути сообщения.

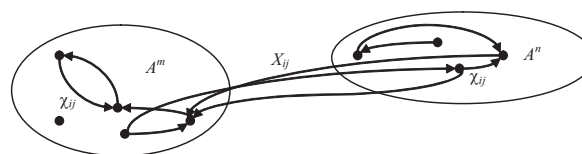


Рисунок 1 – Пример образования транспортных районов с разделением связей

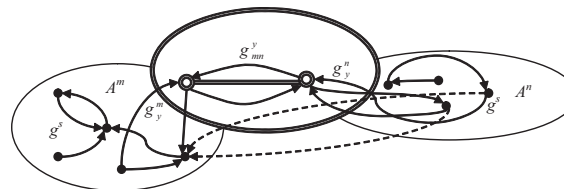


Рисунок 2 – Пример организации межрайонных транспортных сообщений

Если в результате транспортного районирования по заданному критерию образовано достаточно большое количество топологических множеств A^s либо по другим причинам представляется сложной или нерациональной организация транспортного сообщения между всеми районами по сети R^y , то процесс концентрации транспортных сообщений может быть продолжен путем группирования теперь уже транспортных районов с образованием дополнительных районов (субрайонов) более высокого уровня.

Методология транспортного районирования применяется при маршрутизации грузовых и пассажирских перевозок, организации системы терминальных комплексов и т.д. Отечественными и зарубежными учеными разработано большое число аналитических методов формирования транспортных районов: процедура клеточного разбиения, метод треугольника, векторный метод, метод агрегатов и др. (см., например, [1]). Использование



аналитических методов требует больших вычислений в связи с большой размерностью моделей. Поэтому при транспортном районировании рекомендуется применять эвристические процедуры [5, 6 и др.].

Структурирование транспортных связей, формирование транспортных районов и организация межрайонных сетей для интеграции транспортных сообщений приводят к дифференцированному выполнению функции транспортной системы по функциональным уровням и, как следствие, к образованию многоуровневой структуры транспортной системы. Основная задача межрайонных транспортных систем состоит в интеграции межрайонных транспортных сообщений. Средствами интеграции являются элементы транспортной сети (транспортные пути и транспортные узлы).

Интегрированная модель транспортной системы страны включает три функциональных уровня (федеральный, региональный, местный). Каждый функциональный уровень обеспечивает интеграцию транспортных сообщений: на федеральном уровне N^f – межрегиональных и международных; на региональном N^p – межмуниципальных в границах одного региона (субъекта РФ); на местном N^m – внутримunicipальных.

На степень интеграции транспортных сообщений влияет конфигурация путей сообщения и расположение сетевых узлов. Конфигурация местных и региональных сетей должна обеспечивать концентрацию транспортных сообщений G_p^m и G_p^p в предельных точках Φ^p и Φ^f . Сетевые узлы должны располагаться на функциональных границах транспортных систем смежных уровней, как правило, на стыке местных и межрайонных сетей. Если в отношении дорожных узлов b^y это требование, обычно соблюдается, то транспортные узлы V^y в некоторых случаях размещаются внутри функциональных границ транспортных систем местного уровня. Например, если автотранспортный терминал располагается внутри города, то межтерминальные сообщения будут создавать транзитную нагрузку на городские дороги. Обслуживание транзитных потоков (выполнение транзитной функции) в общем случае рассматривается как нерациональное использование ресурсов транспортных систем, необходимых для эффективного выполнения интеграционной функции. Сущность транзитной функции состоит в устранении разрывов в транспортной сети.

Идентификация интеграционной и транзитной функций необходима в целях повыше-

ния эффективности функционирования транспортных систем. Транзитная нагрузка всегда рассматривается в качестве дополнительной, которая может быть снижена или полностью исключена путем развития инфраструктуры транспортных систем, являющихся источником транзитных потоков.

В зависимости от типа используемых сетевых узлов при интегрировании транспортных сообщений выделяют два способа выполнения интеграционной функции: интеграция в дорожных узлах и интеграция в транспортных узлах.

Физический смысл интеграции в дорожных узлах заключается в соединении транспортных потоков с дорог муниципальных образований на дороге регионального значения, по которой осуществляются сообщения между населенными пунктами региона, расположенными вдоль этой магистрали. Это позволяет сокращать затраты на строительство сети дорог – вместо нескольких дорог между всеми муниципальными образованиями строится одна межмуниципальная магистраль, на которую организуются выходы местных дорог. Если магистраль проходит через населенный пункт, то его транспортная система будет выполнять транзитную функцию.

Во втором случае транспортные сообщения дважды преобразуются в транспортных узлах: на выходе из населенных пунктов и на входе с региональной магистрали. В узлах осуществляются накопительно-распределительные операции, происходит смена подвижного состава: на выходе груз переходит с нескольких автомобилей малой грузоподъемности на один большегрузный, на входе – с одного большегрузного на несколько автомобилей малой грузоподъемности, поэтому $\Sigma g_p^m > \Sigma g_p^p$. Возможно использование смешанной интеграции, сочетающей интеграцию в дорожных и в транспортных узлах.

В табл. 1 на примере транспортной системы регионального уровня показаны схема транспортных сообщений, структура связей и используемые при этом ресурсы, характерные для двух способов выполнения региональной транспортной системой интеграционной функции. Одинарной линией обозначены местные транспортные пути, двойной – региональные; кругами – транспортные узлы; одинарной стрелкой – движение транспортного потока по местной сети; двойной стрелкой – движение транспортного потока по региональной сети; прямоугольниками – транспортные системы соответствующего уровня в иерархии (с



Таблица 1 – Способы выполнения интеграционной функции транспортной системой регионального уровня

	Способы интеграции транспортных сообщений	
	Интеграция в дорожных узлах	Интеграция в транспортных узлах
Схема транспортных сообщений		
Структура связей транспортных систем		
Используемые ресурсы	Транспортные пути местного и регионального значения	1) транспортные пути местного и регионального значения; 2) транспортные узлы и терминально-логистические комплексы как элементы транспортной системы регионального уровня

двойной линией – региональный уровень, с одинарной – местный уровень).

Транзитная функция выполняется при разрывах путей сообщения одного уровня либо при отсутствии взаимодействия видов транспорта в единых транспортных узлах. Поэтому можно выделить две разновидности транзитной функции. Первая разновидность транзитной функции предполагает *стыковку транспортных путей*. Например, региональные или федеральные автотранспортные системы стыкуются транспортной системой местного уровня (городской), если не организованы обходы вокруг населенных пунктов. В этом случае транзитный транспорт идет по городским дорогам.

Вторая разновидность транзитной функции обеспечивает *стыковку транспортных узлов*.

Как правило, городской транспорт обслуживает транзитные потоки между обособленно расположенными транспортными узлами отдельных видов транспорта (аэропортом, железнодорожным, речным, морским или автомобильным вокзалами), так как указанные объекты в редких случаях совмещены либо располагаются на отдаленном расстоянии от городской черты.

В табл. 2 охарактеризованы способы выполнения транзитной функции местной транспортной системой. Одинарной стрелкой показано движение транспортного потока в направлении транспортных связей по региональной (федеральной) сети; штриховой стрелкой – транзитный поток; одинарной линией – транспортные пути местного значения, двойной линией – транспортные пути регионального (федерального) значения; кругами – транспортные

Таблица 2 – Способы выполнения транзитной функции транспортной системой местного уровня

	Способы стыковки транспортных систем	
	Стыкование путей	Стыкование узлов
Схема транспортных сообщений		
Структура связей транспортных систем		
Используемые ресурсы	Транспортные пути местного значения	Транспортные пути местного значения

узлы. Транзитная функция «связывает» транспортные системы не функционально, а территориально. При транзите для стыкования используются ресурсы транспортных систем с учетом их территориального расположения между «разрывами» транспортной сети, являющейся источником транзитного потока.

Целостность транспортной системы страны будет возрастать при четком разграничении и согласованном выполнении интеграционных функций транспортными системами федерального, регионального и местного уровней. Это позволяет говорить о научной концепции согласованного функционирования транспортных систем различных уровней. Основу концепции составляют следующие методологические принципы:

1) функциональная структура транспортных систем должна быть ориентирована на обслуживание транспортных связей;

2) транспортные системы различных уровней должны быть функционально разграничены и интегрированы;

3) ресурсы транспортных систем должны использоваться в соответствии с их функциональным назначением;

4) конфигурация транспортных сетей должна исключать транзитную нагрузку.

Потенциал транспортных систем естественным образом распределяется на выполнение интеграционной и транзитной функций. Транзитная нагрузка

приводит к увеличению интенсивности движения и по дорогам, связывающим сетевые узлы транспортных систем. Основной характеристикой автомобильных дорог является пропускная способность p . Соответствие пропускной способности дорог потребности движения по ним (u – интенсивности движения, g – числу транспортных сообщений) оценивается коэффициентом загрузки автодорог $z_u = u / p$ [7]. С ростом z_u снижается средняя скорость движения транспорта v по дорожной сети, как следствие, возрастает себестоимость транспортной работы $C_{т \times км}$, руб./т $\times$ км и снижается эффективность работы транспортной системы $\mathcal{E}$. Применяются различные подходы к оценке эффективности $\mathcal{E}$. Достаточно простым в использовании является затратный подход, согласно которому эффективность оценивается по изменению суммы затрат Z на выполненную работу:

$$Z = C_{т \times км} \times q_{ij} \times l_{ij}$$

при изменении загрузки дорог с z_{u1} до z_{u2} :

$$\mathcal{E} = \frac{Z_1 - Z_2}{z_{u1} - z_{u2}}$$

Положительное значение $\mathcal{E}$ свидетельствует о повышении эффективности работы системы, отрицательное – о снижении. Эффективность $\mathcal{E}$ рассматривается как детерминированная (убывающая) функция от степени загрузки автодорог $\mathcal{E} = \mathcal{E}(z_u)$. При чем интенсивное снижение



Э отмечается после некоторого уровня z_u , как правило при $z_u > 0,5$. Это означает, что зависимость скорости движения v от загрузки z_u нелинейная. При $p = \text{const}$ функция эффективности принимает вид $\mathcal{E} = \mathcal{E}(g)$, где g – количество сообщений по дорожной сети.

Рассмотрим в аналитическом виде влияние транзитной нагрузки на эффективность функционирования транспортных систем муниципальных образований (городов) и возможные варианты ее снижения для каждого из рассмотренных выше способов выполнения транзитной функции.

При «стыковании региональных путей» местной сетью величина транзитного потока по ней G_{mp}^p составит

$$G_{mp}^p = G_m^p - G_p^m,$$

где G_m^p – входящий транспортный поток с региональных дорог на местную сеть; G_p^m – исходящий транспортный поток с местной сети на региональные дороги, обслуживающий транспортные связи муниципального образования.

Общая величина сообщений по местным дорогам r_{mn}^m , соединяющим предельные точки Φ_m и Φ_n , расположенные в дорожных узлах b_m^p и b_n^p (на стыке местных и региональных магистралей), составит: $G_b^m = G_{mp}^p + G_{nm}^m$, а коэффициент загрузки этих дорог равен $z_b^m = G_b^m / r_{mn}^m$. При известной r_{mn}^m эффективность сообщений по местным дорогам r_{mn}^m с учетом транзитной нагрузки G_{mp}^p может быть представлена как убывающая функция

$$\mathcal{E}_{mn}^m = \mathcal{E}_{mn}^m(z_b^m) = \mathcal{E}_{mn}^m(G_b^m).$$

Одним из способов повышения эффективности работы как местной, так и региональной транспортных систем за счет снижения транзитной нагрузки является строительство обхода r_{ob}^p региональной дороги вокруг населенного пункта. Повышение эффективности работы местной транспортной системы $\mathcal{E}_{mn}^m$ обеспечивается за счет увеличения скорости движения $v_{mn}^m(G_b^m) > v_{mn}^m(G_b^m)$, так как перераспределение транзитного потока G_{mp}^p на обход r_{ob}^p снизит загрузку z_b^m местных дорог r_{mn}^m в связи с уменьшением G_b^m на величину G_{ob}^p . Эффективность работы региональной транспортной системы $\mathcal{E}_{ob}^p$, в части движения по обходу r_{ob}^p , обеспечивается за счет увеличения скорости движения транзитного потока G_{ob}^p по обходу r_{ob}^p , но только в том случае, если уровень загрузки z_{ob}^p будет ниже, чем z_b^m . При $z_{ob}^p > z_b^m$ скорость движения по местной сети r_{mn}^m будет выше, чем по обходу r_{ob}^p , следовательно, транзитный поток через населенный пункт сохранится в прежнем объеме G_{mp}^p . Уровень z_{ob}^p зависит от проектной величины пропускной способности r_{ob}^p обхода и величины перераспределенного транзитного потока G_{ob}^p , при $G_{ob}^p \leq G_{mp}^p$.

Предел перераспределения транзитного потока ($G_{ob}^p \rightarrow G_{mp}^p$) определяется из условия максимальной суммы эффективностей систем $\mathcal{E}_{ob}^p(z_{ob}^p)$ и $\mathcal{E}_{mn}^m(z_b^m)$. Уровень загрузки z_b^m снижается при увеличении G_{ob}^p . Поэтому эф-

фективность $\mathcal{E}_{mn}^m(G_{ob}^p)$ является возрастающей функцией. Уровень загрузки z_{ob}^p зависит как от G_{ob}^p , так и r_{ob}^p . При $p = \text{const}$ эффективность $\mathcal{E}_{ob}^p(G_{ob}^p, r_{ob}^p)$ является убывающей функцией. При начальных условиях $r_{ob}^p = 0, G_{ob}^p = 0$ эффективность $\mathcal{E}_{ob}^p(G_{ob}^p, r_{ob}^p) = 0$. Экстремальное значение функция суммарной эффективности $\mathcal{E}(G_{ob}^p)$ достигает в точке G_{ob}^p , которая может быть определена из условия:

$$\frac{\partial \mathcal{E}_{ob}^p(G_{ob}^p, r_{ob}^p)}{\partial G_{ob}^p} + \frac{\partial \mathcal{E}_{mn}^m(G_{ob}^p)}{\partial G_{ob}^p} = 0,$$

$$\text{при } G_{ob}^p \leq G_{mp}^p, G_{ob}^p \leq r_{ob}^p.$$

Для больших значений r_{ob}^p эффективность $\mathcal{E}(G_{ob}^p)$ при $G_{ob}^p = G_{mp}^m$ будет одинаковой. Поэтому величина пропускной способности проектируемого обхода ограничивается величиной возможных расходов на его строительство $3_{ob}^p = 3_{ob}^p(r_{ob}^p)$, которые должны быть компенсированы за счет превышения суммарной эффективности $\mathcal{E}(G_{ob}^p)$ над прежней эффективностью системы G_{mn}^m (G_b^m), при $r_{ob}^p = 0, G_{ob}^p = 0$

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}(G_{ob}^p) - \mathcal{E}_{mn}^m(G_b^m).$$

Для сравнения $\Delta \mathcal{E}$ с затратами 3_{ob}^p величина последних должна быть приведена к сопоставимому периоду с учетом планируемого срока окупаемости проекта и отнесена к ожидаемому объему транспортной работы за соответствующий период. Если $\Delta \mathcal{E} < 3_{ob}^p$, следует рассмотреть варианты уменьшения пропускной способности обхода. Возможно, что найденное решение покажет нецелесообразность строительства обхода. Такие случаи бывают на практике, когда величина транзитного потока не оказывает существенного влияния на скорость движения по местной сети дорог.

Не менее актуальна для крупнейших городов страны проблема транзитной загрузки городских дорог вследствие «стыкования транспортных узлов» (второй способ выполнения транзитной функции). Местные дорожные сети обслуживают сообщения между транспортными узлами B_m^p и B_n^p (вокзалами, портами и т.д.), расположенными в городской черте, а также между этими узлами B_m^p (терминалами, распределительными центрами) и дорожными узлами b_n^p , обеспечивающими «выход» на магистрали регионального (федерального) значения. В первом случае совокупный поток на участке местной сети дорог r_{mn}^m между узлами B_m^p и B_n^p составит: $G_b^m = G_{mp}^p + G_{np}^p$, а эффективность сообщений по местным дорогам r_{mn}^m является убывающей функцией $\mathcal{E}_{mn}^m = \mathcal{E}_{mn}^m(z_b^m) = \mathcal{E}_{mn}^m(G_b^m)$. Во втором случае транзитный поток G_{mp}^p использует местную сеть по направлению от B_m^p к b_n^p , поэтому совокупная загрузка местных дорог всеми видами сообщений составит: $G_{bb}^m = G_{mp}^p + G_{np}^p$, функция эффективности сообщений – $\mathcal{E}_{bb}^m = \mathcal{E}_{mn}^m(z_{bb}^m) = \mathcal{E}_{mn}^m(G_{bb}^m)$.

Основными способами снижения транзитной нагрузки местной сети дорог являются:





– соединение транспортных узлов B_m^p и B_n^p различных видов транспорта в единый транспортно-технологический комплекс (для первого случая);

– выведение транспортных узлов за функциональные границы местной транспортной системы (для первого и второго случаев). $\Theta_{mn}^M(z_{mn}^M) > \Theta_{mn}^M(z_{Bb}^M)$.

При каждом способе транзитный поток не перераспределяется (как при строительстве обходов), а полностью исключается – $G_{mp}^p \rightarrow 0$. Поэтому загрузка местных дорог G_m^p в направлении B_n^p при выведении B_n^p будет снижена на величину G_{mp}^p , что, как правило, повышает эффективность сообщений:

Однако если транспортный узел B_m^p кроме транзитных сообщений обслуживает и транспортные связи населенного пункта (например, снабжение розничной торговой сети), то выведение узла B_m^p за границы местной сети может привести к возрастанию G_m^p на подходе к B_n^p . При $G_m^p > G_{Bb}^p$ и существенном снижении Θ_{mn}^M следует рассмотреть варианты увеличения пропускной способности r_m^p местных дорог r в направлении соответствующих «выходов» к сетевым узлам.

Попытка решения подобных задач была предпринята в отношении транзитной загрузки транспортной системы Москвы, которая одной из первых в стране ощутила негативные последствия несогласованного функционирования транспортных систем различных уровней в условиях интенсивной автомобилизации, промышленного роста и расширения международных торговых связей. Долгое время Московский транспортный узел (МТУ) совмещал функции по обслуживанию транспортных потребностей населения и экономики города с функциями транзитного звена и распределительного центра. По некоторым данным, в 90-е гг. около 80% всех импортных товаров повседневного спроса (FMCG) проходило распределение через МТУ. Большинство транспортно-складских объектов столицы выполняли функции перераспределения товаров из Европы в регионы страны, в результате чего транзитные потоки буквально перегрузили транспортную систему мегаполиса. Когда проблема была осоз-

нана и выявлены ее причины, была разработана программа строительства вокруг столицы сети терминальных логистических комплексов, направленных на разгрузку транспортной системы Москвы от большегрузного и транзитного транспорта.

Комплексная программа развития транспортно-логистической инфраструктуры Московского региона включает развитие кольцевой железной дороги, строительство центральной кольцевой автодороги (ЦКАД), которая пройдет в 50 км от МКАД. Для интегрирования транспортных потоков вдоль ЦКАД планируется построить около 15 автомобильно-железнодорожных логистических центров.

По функциональному назначению объекты транспортно-логистической инфраструктуры могут быть двух типов:

- межрегиональные терминально-логистические распределительные центры (МТЛРЦ);
- региональные терминально-логистические комплексы (РТЛК).

Объекты каждого типа разделяются на три вида в зависимости от мощности грузопереработки [8]. МТЛРЦ создаются с целью концентрации и перераспределения грузопотоков по различным направлениям транспортных коридоров, располагаются в транспортных узлах и структурно входят в состав транспортной системы федерального уровня. РТЛК создаются с целью концентрации и распределения грузопотоков по регионам (субъектам РФ), входят в состав транспортной системы регионального уровня. РТЛК могут располагаться в транспортных узлах, в местах соединения транспортных сетей федерального и регионального уровней. В целях исключения транзитной загрузки местных транспортных систем рекомендуется МТЛРЦ и РТЛК располагать за пределами границ населенных пунктов.

Таким образом, согласованное функционирование транспортных систем различных уровней обеспечивается согласованием конфигурации и пропускной способности транспортных путей, мест расположения и перерабатывающей мощности транспортных узлов. При оценке соответствующих решений следует руководствоваться результатами аналитических расчетов, которые могут быть получены в том числе с использованием приведенных выше зависимостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин О.Н. *Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: Монография* / Под ред. Л.Б. Миротина. – Челябинск: Издво ЮУрГУ, 2007. – 205 с.
2. Ларин О.Н. *Методологические аспекты интеграции различных видов транспорта в единую систему* // *Вестник транспорта*. – 2007. – №.7 – С. 10–13.
3. Александров П.С. *Введение в теорию множеств и общую топологию: Учеб. пособие*. – М.: Наука, 1977. – 367 с.
4. Бугроменко В.Н. *Транспорт в территориальных системах*. – М.: Наука, 1987. – 112 с.
5. Стенбринк П.А. *Оптимизация транспортных сетей* / Под ред. В.Н. Лившица; Пер. с англ. Е.М. Васильевой, В.В. Космина. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
6. Xu Yiwen. *A model for land use and freight transportation coordination in Shanghai, China* / Y. Xu. – Montreal: University of Montreal, 1999. – 167 p.
7. Сильянов В.В. *Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения* / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
8. Миротин Л.Б., Ларин О.Н. *Глобальные задачи развития и интеграции транспортных систем* // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2007. – № 5 – С. 20–21.



ВЛИЯНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ



Основной тенденцией развития современных международных экономических отношений является их глобализация. Это явление трансформирует мировое хозяйство под сетевую модель мировой экономики и в своем развитии затрагивает многие сферы и системы государства, в том числе одну из наиболее значимых и стратегически важных в экономике – транспортную систему.

Переход к современным методам управления транспортной системой связан с совершенствованием сетевых организационных структур. В современных условиях успех приносит не только экономия на этапах производства, но и постоянно поддерживаемые связи между потребностями и принимаемыми для их удовлетворения решениями.

Место России в структуре глобальной экономики по созданию «долгосрочной «колеи» олигополизированной торговли» может и должно стать в числе главных. В этой связи транспорту, особенно железнодорожному, в России отводится приоритетная роль. На сегодняшний день перед трансформирующимся транспортным комплексом России стоит довольно сложная задача по формированию стратегии вхождения в мировую экономику. В этом направлении наиболее эффективными путями являются: повышение конкурентоспособности продукции и услуг, формирование национальных конкурентных преимуществ и их реализация на мировом рынке транспортных услуг.

Объективная оценка факторов, действующих на развитие российского транспортного комплекса, позволяет говорить о наличии в России благоприятных условий в виде возрастающей потребности транспортных услуг для реализации свободной от монополизма внешнеэкономической стратегии. Это прежде всего полная сырьевая самообеспеченность страны, достаточно высокий уровень российской транспортной науки и техники, высококвалифицированный кадровый состав, потенциально крупные масштабы внутреннего рынка.

Транспорт выступает в качестве одной из базовых отраслей национального хозяйства страны. От степени развития и эффективности его работы зависит бесперебойность взаимодействия всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, а также каждого предприятия в отдельности.

Глобализация экономики и сопровождающие ее процессы развития внешнеэкономических связей требуют, таким образом, нового подхода к развитию транспорта и перераспределению грузовых и пассажирских потоков.

По мере роста объемов внешней торговли становится необходимым качественный пересмотр всей транспортной составляющей, экономики государства.

В условиях формирования новой модели развития мировой экономики транспорт является одним из главных инструментов реализации национальных интересов России, обеспечения достойного места государства в мировой хозяйственной системе. Развитие экспорта транспортных услуг необходимо рассматривать в качестве важнейшей составляющей национального продукта России, как и экспорт товаров.

Экспорт транспортных услуг должен развиваться по таким основным направлениям, как увеличение доли участия российских транспортных организаций в поставке отечественных экспортных грузов на мировые рынки; повышение доли российских транспортных организаций в доставке импортных грузов и перевозках грузов третьих стран; развитие использования транзитного потенциала российской транспортной системы.

Железнодорожный транспорт составляет основу транспортного комплекса страны и имеет большое экономическое, оборонное и политическое значение, принимает на себя основную часть потоков массовых грузов и в условиях России с ее большими расстояниями, массовым и непрерывным производством наилучшим образом отвечает потребностям как в перевозках внутри страны, так и в связях с государствами дальнего и ближнего зарубежья.

Железнодорожный транспорт общего пользования остается ведущим звеном транспортной системы России. В долгосрочной перспективе железнодорожные перевозки останутся самым экономически эффективным способом транспортировки значительных по объемам стабильных потоков массовых грузов, доставляемых на средние и дальние расстояния.

При выполнении грузовых перевозок на средние расстояния железнодорожный транспорт конкурирует с автомобильным и речным транспортом. Перевозка нефтеналивных грузов является сферой конкуренции с трубопроводным, морским и речным транспортом (табл. 1, рис. 1)





Таблица 1 – Перевозки грузов по видам транспорта общего пользования Российской Федерации *

№	Вид транспорта	1992	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	Транспорт всего, в том числе по видам:	4849,4	3457,6	2559,8	2609,9	2612,9	2755,8	2867,9	3058,8	3220,9
2	железнодорожный	1640	1028	1047	1058	1084	1161	1221	1273	1311
3	автомобильный	1862	1441	550	561	503	490	493	612	714
4	трубопроводный	947	783	829	853	899	976	1024	1048	1070
5	морской	91	65	27	24	26	24	18	17	16
6	внутренний водный	308	140	106	113	100	104	111	108	109
7	воздушный	1,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9

* По данным Госкомстата России

Железнодорожный транспорт наиболее эффективен при перевозках массовых грузов на большие расстояния с большой концентрацией потоков. Статистика показывает, что при отправлении всеми видами транспорта угля, кокса, руды, черных металлов, удобрений и хлебных грузов наибольшие объемы перевозок приходятся на долю железнодорожного транспорта (в зависимости от рода груза).

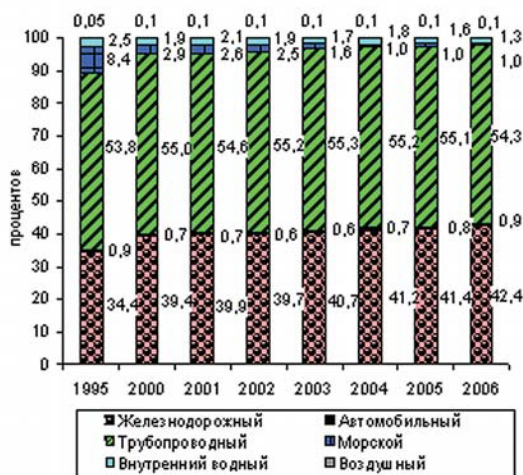


Рисунок 1 – Структура грузооборота по видам транспорта общего пользования

Анализ показывает, что при отправлении дорогостоящих видов грузов:

- лесных грузов, на долю железнодорожного транспорта приходилось более 75%, а на водный (морской и речной) менее 25% с преобладанием перевозок по внутренним водным путям (до 16%);

- нефти и нефтепродуктов, в последние годы более 60% осваивается трубопроводным транспортом и только около 30% железнодорожным;

- строительных грузов, перевозимых на относительно небольшие расстояния, на долю железных дорог приходится не более 68%, а на речной транспорт свыше 30%.

При перевозках прочих грузов (тарноупаковочные грузы в ящиках, коробках, бочках и т.п.; грузы в контейнерах, рефрижераторах, трейлерах, пакеты на поддонах; грузы без тары и упаковки: металлоконструкции, подвижной состав, техника) в междугородном сообщении с железнодорожным транспортом успешно конкурирует магистральный автотранспорт. На долю прочих грузов в общем отправлении железнодорожным транспортом приходится не более 11-12%; на автотранспорте по отправлению они составляют до 96%.

Если не учитывать интенсивность развития трубопроводного транспорта, то железнодорожный транспорт на протяжении всего прошедшего века сохранял доминирующее значение в транспортной системе страны, и даже в начале нынешнего века его доля составляла более 80% общего грузооборота.

Аналогичная ситуация сохраняется и в текущем году. В январе-июле 2007 г. грузооборот транспорта, по оценке, составил 2830,6 млрд тхкм, в том числе железнодорожного - 1198,8 млрд, автомобильного - 113,4 млрд, морского - 30,3 млрд, внутреннего водного - 43,8 млрд, воздушного - 1,7 млрд, трубопроводного - 1442,6 млрд тхкм (табл. 2).

Как видно из приведенных данных, при учете работ всех видов транспорта доля железных дорог в грузообороте достигла своего наибольшего значения за последние 14 лет в 1992 г. и в 2006 г.





Таблица 2 – Объем погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте Российской Федерации на период январь-июль 2006-2007 гг. **

Вид транспорта	Июль 2007г., млрд тхкм	В % к		Январь-июль 2007 г. в % к январю-июлю 2006г.	Справочно		
		июлю 2006г.	июню 2007г.		июль 2006г. в % к		январь-июль 2006г. в % к январю-июлю 2005г.
					июлю 2005г.	июню 2006г.	
Грузооборот транспорта	408,0	101,4	102,8	102,9	104,9	103,3	102,5
в том числе: железнодорожного	170,0	104,0	99,8	108,4	108,8	104,2	104,7
автомобильного	18,8	100,1	109,9	100,6	100,8	108,6	103,2
морского	7,2	132,7	199,5	94,5	110,9	115,5	93,5
внутреннего водного	15,1	135,3	133,5	115,0	85,2	104,0	80,6
воздушного (транспортная авиация)	0,3	100,4	94,4	109,8	119,2	111,4	100,8
трубопроводного	196,6	96,9	101,2	98,8	103,4	101,9	101,0

** По данным Госкомстата России

Можно утверждать, что в условиях возрастающего потока международных перевозок наиболее перспективным направлением развития транспорта является железнодорожный.

При выполнении пассажирских перевозок на дальние расстояния железно-

рожный транспорт общего пользования конкурирует с авиационным транспортом, при осуществлении пригородных и межобластных перевозок - с автомобильным и в некоторых случаях - с речным транспортом (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3 – Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования, млн. человек *

Вид транспорта \ Год	1992	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Транспорт всего	47885	44941	43884	42419	40322	37083	34649	25046	21171
в том числе по видам:									
железнодорожный	2372	1833	1419	1306	1271	1304	1335	1339	1337
автобусный	24874	22817	22033	20883	19620	17898	16552	11297	9087
таксомоторный	266	66	16	13	12	10	10	6	7
трамвайный	8071	7540	7421	7354	6982	6321	5804	4123	3267
троллейбусный	8619	8475	8759	8604	8181	7291	6680	4653	3775
метрополитен	3567	4150	4186	4205	4200	4205	4211	3574	3644
морской	9	3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,2
внутренний водный	44	25	26	27	27	22	21	16	14
воздушный	63	32	23	26	28	31	35	37	40

* По данным Госкомстата России



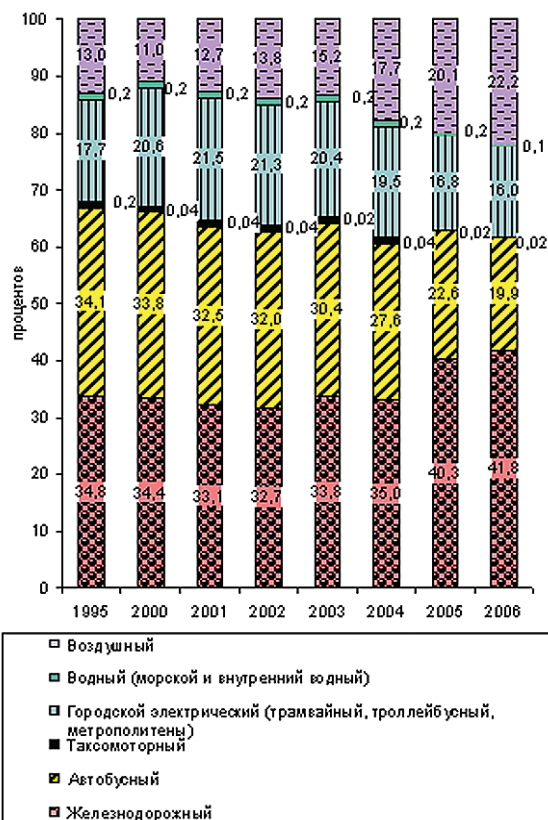


Рисунок 2 – Структура пассажирооборота по транспорту общего пользования

Эффективность железнодорожного транспорта определяется динамикой обновления основных производственных фондов отрасли, темпами роста спроса на железнодорожные перевозки, результатами реализации структурной реформы отрасли, эффективностью тарифной политики в регулируемых государством естественных монополиях секторах деятельности, интенсивностью использования российских участков международных транспортных коридоров.

Высокие темпы развития внешней торговли усиливают воздействие транспортного фактора на эффективность внешнеэкономической деятельности. Транспортные услуги в цене отдельных видов товаров во внешней торговле достигают 40% и более (рис. 3). Поэтому рациональное использование транспортной системы страны, внедрение прогрессивных видов перевозок способствуют сокращению транспортных затрат и повышению экономической эффективности внешней торговли.

Экономическая эффективность транспортного обслуживания внешнеэкономических связей, как правило, рассчитывается при выборе направлений перевозок, видов транспорта, способа перевозки, определении наиболее эффективных вариантов развития международных сообщений, при оценке эффективности деятельности транспортных и внешнеторговых организаций.

При оценке эффективности перевозчикам необходимо исходить прежде всего из интересов клиента и получать дополнительную прибыль за счет предложения гибких схем обслуживания и снижения затрат в собственной деятельности.

В условиях рыночной экономики эффективность того или иного варианта перевозки является важнейшим

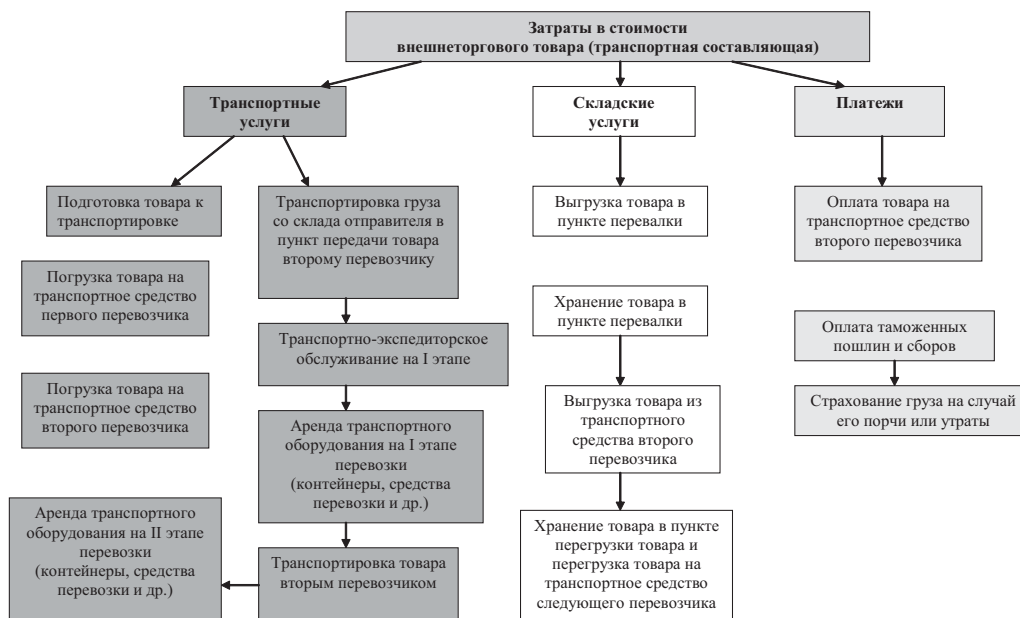


Рисунок 3 – Затраты в стоимости внешнеторгового оборота товара (транспортная составляющая)



принципом выбора основного перевозчика. При выборе варианта доставки недостаточно сравнивать только затраты на перевозку, необходимо учитывать также качество транспортного обслуживания (срочность доставки, надежность, сохранность, доставка «точно в срок», комплексность транспортного обслуживания по схеме «от двери до двери»), уровень безопасности и экологичности транспорта и т.п.

В современных условиях требуется разработка и реализация скоординированной и взаимоувязанной системы мер на коммуникациях всех видов транспорта, обслуживающих направления международных перевозок пассажиров и грузов, по обеспечению нормальных условий функционирования рынков транспортных услуг, укреплению производственно-технической базы транспорта и объектов инфраструктуры на основе активизации инвестиционной деятельности и проведения эффективной инновационной политики, разработке законодательно-правовой и нормативной базы, соответствующей современным технологиям товародвижения на логистических принципах.

Предлагаемая система мер должна сочетать в рациональных пропорциях усилия органов федерального центра, администраций регионов и предприятий, а также инициативу транспортных предприятий и экспедиторов, отдельных предпринимателей - собственников подвижного состава, а также предусматривать полное и эффективное использование ресурсного, производственного и интеллектуального потенциала, транспортной инфраструктуры, геополитического положения страны и отдельных ее регионов.

Для расчета экономической эффективности (Э) доставки грузов в международном сообщении сопоставляют ее результаты и затраты на всем пути перевозки

$$\mathcal{E} = B_{\text{ч}} / \mathcal{Z}_3 K_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{ч}}$ — чистая выручка от экспорта товара;

$\mathcal{Z}_3$ — суммарные затраты на производство, транспортировку, выплату налогов, покрытие убытков от задержки исполнения контракта, а также затраты обратной связи;

$K_{\text{кв}}$ — коэффициент кредитного влияния, отражающий обесценивание валютной выручки.

Для получения более точного значения расчетов показателя можно применить следующую методику (с дополнениями автора).

Величина чистой выручки от экспорта товара определяется по зависимости

$$B_{\text{ч}} = \mathcal{C} Q (\mathcal{Z}_{\text{п}} + \mathcal{Z}_{\text{н}} + \mathcal{Z}_{\text{т}}) Q, \quad (2)$$

где $\mathcal{C}$ — опуская цена производителя (за ед. тов.);

Q — количество товара, на которое заключен контракт (ед. тов.);

$\mathcal{Z}_{\text{п}}$ — затраты на производство (на ед. тов.);

$\mathcal{Z}_{\text{н}}$ — затраты на выплату налогов (на ед. тов.);

$\mathcal{Z}_{\text{т}}$ — затраты на транспортировку (на ед. тов.) с учетом страхования и различных услуг, например по отслеживанию продвижения вагонов на территории России.

Суммарные затраты рассчитывают с учетом зависимости

$$\mathcal{Z}_3 = \mathcal{Z}_{\text{п}} + \mathcal{Z}_{\text{н}} + \mathcal{Z}_{\text{т}} + \mathcal{Y} + \Delta \mathcal{Z}_{\text{потр}}, \quad (3)$$

где $\mathcal{Y}$ — убытки от задержки исполнения контракта;

$\Delta \mathcal{Z}_{\text{потр}}$ — затраты обратной связи, т.е. затраты, которые не учитываются в балансах, но возникают у потребителя транспортных услуг в зависимости от уровня качества транспортного обслуживания (образование сверхнормативных запасов, использование дополнительных посредников и др.).

Убытки от задержки исполнения контракта можно определить следующим образом

$$\mathcal{Y} = \mathcal{Z} \mathcal{C} Q t_{\text{дв}} / 365, \quad (4)$$

где $\mathcal{Z}$ — коэффициент, учитывающий оплату банковских краткосрочных кредитов под грузы в пути с учетом риска (10%);

$t_{\text{дв}}$ — срок доставки грузов;

365 — количество дней в году.

Аналогичный подход к рассматриваемой проблеме применен при разработке подпрограммы «Международные транспортные коридоры» Федеральной целевой программы (ФЦП) «Модернизация транспортной системы России» на 2002-2010 гг., которая является важной составной частью общей системы мер по нормализации положения на отечественном транспорте и созданию условий для освоения прироста объема перевозок, повышения их качества и безопасности, расширению межгосударственных связей, повышению требований к качеству работы транспорта, безопасности его функционирования, уменьшению вредного воздействия транспорта на окружающую среду.

В соответствии с международным разделением труда расширяется транснациональное сотрудничество в рамках транспортных коридоров, что способствует развитию инфраструктуры железных дорог, внедрению логистического обеспечения взаимодействия стран-участниц, а значит, повышению эффективности перевозок и улучшению финансовых результатов работы всех участников.

Это видно из структуры перевозок грузов железнодорожным транспортом по МТК «Север-Юг» (рис. 4).



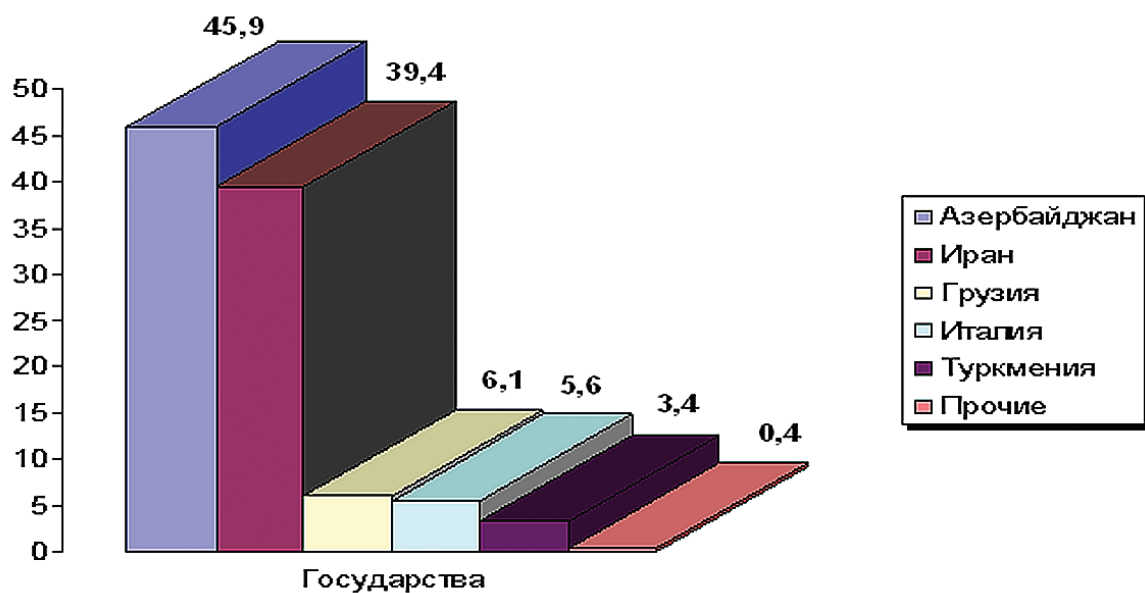


Рисунок 4 – Структура перевозок внешнеторговых грузов по МТК «Север-Юг»

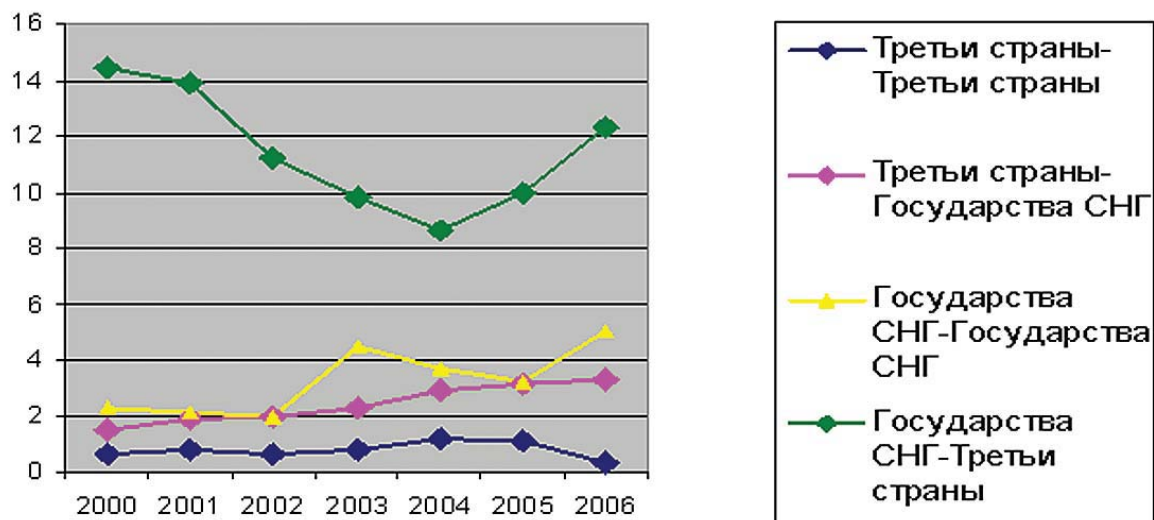


Рисунок 5 – Объем перевозок грузов транзитом через территорию России в 2000-2006 гг.





Перевозка транзитных и внешнеторговых грузов – одна из главных задач железных дорог России (рис. 5).

Основное место в транспортных системах будущего займут интермодальные и комбинированные перевозки — наиболее полно отвечающие требованиям охраны окружающей среды, эксплуатационной и общей безопасности и экономическим требованиям, предъявляемым к устойчивым транспортным системам.

В интермодальных перевозках по транспортным направлениям Запад-Восток и Север-Юг доминирующее положение занимают контейнеропригодные грузы. Это самый перспективный сектор транспортного рынка в мире. Общий объем контейнерных грузов в евроазиатской торговле по данным направлениям, согласно экспертной оценке, в настоящее время составляет 65 млн т, в том числе 29 млн т в азиатском направлении и 36 млн т в европейском.

С 2000 г. наблюдается тенденция ежегодного увеличения объемов перевозок экспортно-импортных и транзитных грузов по российским железным дорогам, которые выросли за последние пять лет на 52,4% (с 284,3 до 448,4 млн т), в т.ч. экспорт увеличился на 65,7%, импорт – на 48,4%.

По прогнозу, основанному на материалах Всероссийского научно-исследовательского конъюнктурного инсти-

тута (ВНИКИ), внешнеторговые перевозки между странами Европы и Азии к 2010 г. возрастут в 1,3 раза, а к 2015 г. более чем в 1,5 раза и составят, соответственно 400 и 460 млн т. Более высокими темпами будет расти экспорт товаров из европейских стран в государства Азии (68%). Прирост экспорта азиатских грузов в Европу составит 46%.

Стремительно развивающиеся международные экономические отношения и их глобализация заставляют по-новому оценить все составляющие мировой хозяйственной системы, в особенности транспортную систему. Анализ показывает, что среди всех видов транспорта именно железнодорожный оказывает наибольшее влияние на развитие внешнеэкономических связей и на международные экономические отношения, поскольку имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами транспорта. Таким образом, ключевым вопросом развития железнодорожного транспорта остается повышение его инвестиционной привлекательности и разработка принципиально новых механизмов привлечения средств для строительства и реконструкции объектов инфраструктуры общего пользования. Особое внимание должно быть уделено привлечению инвестиций для опережающего развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в азиатской части страны для обеспечения освоения ресурсной базы и активизации экономического роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов И.В. Экономика железнодорожного транспорта: Учебник для вузов ж.д. транспорта / Белов И.В., Терешина Н.П. и др. – М.: УМК МПС России, 2001.
2. Лукашевич В.И. Научно-технический прогресс и экономическая эффективность транспортного производства (макроэкономическая оценка). – М.: Интекст, 2003.
3. Орешкин В. Национальные интересы во внешней торговле // Мировая экономика и международные отношения. – 2004. – № 1. – С. 126 – 128.
4. Персианов В.А. Глобализация экономики и транспорт // Бюллетень транспортной информации. – 2001. – № 2 (68).
5. Россия в цифрах – 2005.
6. Российский статистический ежегодник, 2006.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Обеспечение строительных процессов производственными ресурсами является определяющим элементом организации строительства, напрямую зависит от уровня квалификации кадров, обоснованности принимаемых проектных решений, качества управления материально-техническим снабжением и реализации строительного проекта в целом. Разработка одного из основных проектных документов в составе ПОС и ППР — графика поставки материально-технических ресурсов — невозможна без всестороннего анализа изменения интенсивности потребления материалов и энергоносителей в ходе строительства.

Интенсивность и последовательность потребления производственных ресурсов определяется удельным нормативом расхода материалов, полуфабрикатов и энергоносителей на единицу строительной продукции и в основном зависит от эксплуатационной производительности дорожно-строительных отрядов, природно-климатических факторов в период производства ра-

бот, физико-механических свойств перерабатываемых материалов, конструктивных особенностей строительных объектов, организации и технологии производства работ (рис. 1). Выделенные группы производственных факторов взаимосвязаны между собой, формируют номенклатуру и интенсивность потребления ресурсов в ходе реализации строительного проекта.

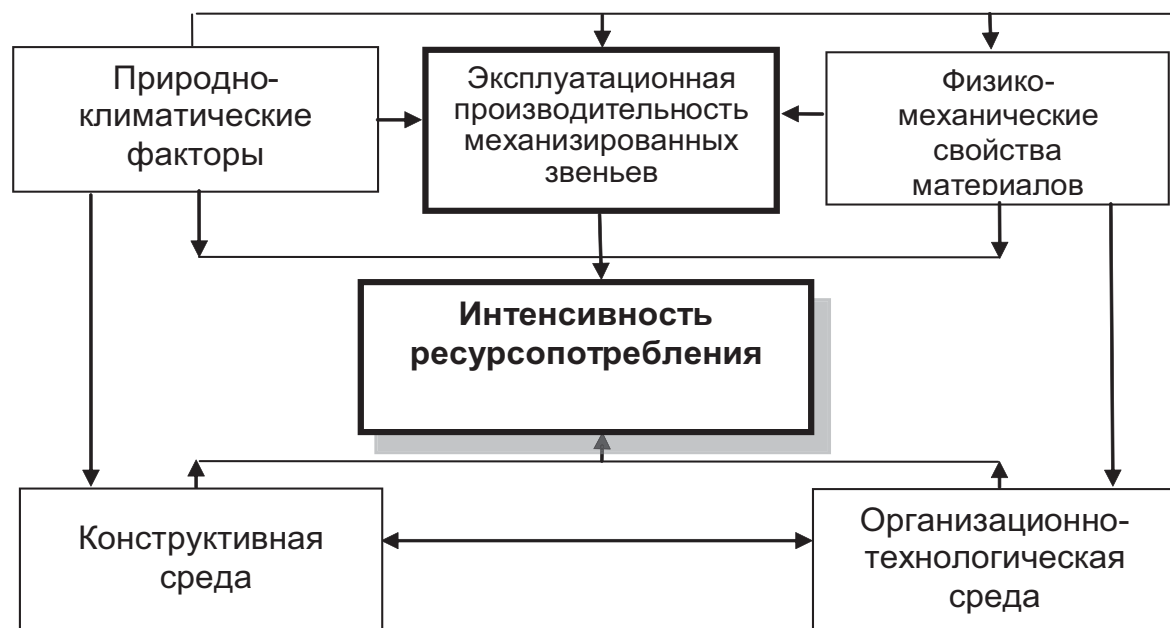


Рисунок 1— Структурная схема зависимости интенсивности потребления ресурсов от производственных факторов



Природно-климатические факторы — температура воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки, влажность воздуха, продолжительность светового дня — влияют на физико-механические свойства перерабатываемых материалов, определяют эксплуатационную производительность дорожно-строительных машин и механизмов в жаркое или холодное время года.

Физико-механические свойства материалов — тип и влажность грунта, температура асфальтобетонной или цементобетонной смеси, грунта — меняются в течение строительного сезона под воздействием природно-климатических факторов и оказывают влияние на производительность машин (налипание на рабочий орган, снижение проходимости землеройно-транспортных машин и автотранспорта и т. п.) и возможность использования материалов в дорожных конструкциях.

Конструктивная среда определяет номенклатуру и расход строительных материалов и полуфабрикатов, приоритетность в потреблении материалов, оказывает влияние на организацию и технологию производства работ.

Организационно-технологическая среда оценивается дальностью транспортировки материалов и видом транспорта, состоянием подъездных дорог, последовательностью, сроками и технологией производства работ, количеством и составом специализированных строительных отрядов. Это определяет сроки поставки ресурсов на объект, интенсивность потребления материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов.

Производительность механизированных звеньев в основном оценивается эксплуатационной производительностью ведущих машин и определяет суточную потребность строительного объекта в строительных материалах, полуфабрикатах и ГСМ. Исследования показали, что эксплуатационная производительность машин зачастую ниже нормативной, имеет вероятностный характер, зависит от физико-механических характеристик перерабатываемых дорожно-строительных материалов, полуфабрикатов или грунтов, организации и технологии строительства, погодноклиматических условий в период производства работ.

Интенсивность ресурсопотребления I_p в технологическом процессе определяется зависимостью

$$I_p = \frac{t_{cm} H_p \Pi_n K_{zp}}{K_n K_t K_o} \quad (1)$$

где H_p — нормативный удельный расход производственных ресурсов на единицу строительной продукции; t_{cm} — продолжительность рабочей смены, ч.; Π_n — нормативная производительность машин в час; K_n — коэффициент влияния погодных условий на производительность труда в теплый и холодный периоды года ($K_n=1,0-1,75$); K_t — коэффициент, учитывающий

влияние на производительность труда перерывов в зимний период при неблагоприятном сочетании климатических факторов ($K_t=1,0-1,4$); K_o — коэффициент влияния условий освещенности места работ на производительность труда ($K_o=1,0-1,6$); K_{zp} — коэффициент влияния физико-механических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов на техническую производительность машин.

В дорожном строительстве наиболее зависимы от физико-механических свойств материалов и природно-климатических факторов работы по сооружению земляного полотна и устройству дорожных покрытий.

При производстве земляных работ в засушливых районах техническая производительность землеройно-транспортных машин снижается до 15 %, т. е. $K_{zp} = 0,85$. При сооружении земляного полотна из грунтов повышенной влажности влияние степени переувлажнения грунта на техническую производительность K_{zp} землеройнотранспортных и уплотняющих машин описывается зависимостью [1]:

$$K_{zp} = aK_{ув}^2 + bK_{ув} + c, \quad (2)$$

где a, b, c , — коэффициенты уравнения, принимаются по табл. 1; $K_{ув}$ — расчетный коэффициент увлажнения грунта:

$$K_{ув} = W_{ер} / W_o,$$

где $W_{ер}$ — естественная влажность грунта в резерве или в карьере; W_o — оптимальная влажность грунта.

Исследования показывают, что при отрицательных температурах и скорости ветра более 10 м/с производительность землеройно-транспортных машин резко падает [2]. Сменная выработка машин из-за частых поломок узлов и деталей, а также затрат времени на заправку, пуск, подготовку к работе в зимний период может снижаться до 60—80%. Влияние отрицательной температуры воздуха T_v на эксплуатационную производительность K_{zp} землеройно-транспортных машин описывается

$$K_{zp} = aT_v^2 + bT_v + c, \quad (3)$$

где a, b, c , — коэффициенты уравнения, принимаются по табл. 2.

В качестве ведущей машины, определяющей интенсивность потребления ресурсов при строительстве асфальтобетонных покрытий, могут выступать: асфальтобетонный завод производительностью $\Pi_{абз}$, автомобильный транспорт производительностью $\Pi_{ат}$ или комплект асфальтоукладчиков производительностью $\Pi_{ау}$. В зависимости от сложившейся производственной ситуации интенсивность потребления ресурсов определяется [4]:





Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения (2)

Вид земляных работ	Дальность перемещения грунта, м	Тип машин	a	b	c
Срезка и перемещение растительного грунта	До 80	Бульдозер	–1,226	1,6775	0,5441
	До 300	Скрепер с ковшом 8—10 м³	0	–2,00	3,00
		Экскаватор с ковшом 0,5—1,0 м³ и самосвалы 8—12 т	–1,2473	1,5197	0,7299
Разработка грунта в боковых резервах и мелких выемках с перемещением в насыпь до 1,5 м.	До 80	Бульдозер	–0,0853	–1,1311	2,2181
	До 800	Скрепер с емкостью ковша 8—10 м³	2,5373	–8,2239	6,6937
Разработка грунта в выемках или при-трассовых карьерах с перемещением в насыпь или кавальер	До 300	Скрепер с емкостью с ковша 4,5—8 м³	–0,2132	–1,5778	2,8077
	600—1000	С ковшом 8—10 м³	1,3539	1,3539	4,8663
		Экскаватор с ковшом 0,5—1,0 м³ и самосвалы 10—12 т	–0,6375	–0,1677	1,797
	Более 1000		0,1066	–1,7111	2,5962
Разравнивание грунта в насыпи при послойной отсыпке		Автогрейдер	–3,8273	6,428	–1,5922
		Бульдозер	–1,226	1,6775	0,5441
Уплотнение грунта слоем	0,20—0,25	Пневмокаток 25 т	2,2814	–6,6173	5,3479
	0,35—0,40	Виброкаток	1,162	–3,6509	3,4882
Планировка поверхности земляного полотна и резервов		Автогрейдер	–3,8273	6,428	–1,5922

Таблица 2 – Значения коэффициентов уравнения (3)

Тип машины	a	b	c
Экскаватор с ковшом емкостью 0,65 м³	–0,0006	0,0138	1,00
Бульдозер на базе трактора Т100	–0,0012	0,0149	1,00
Скреперы с ковшом емкостью 6—8 м³	–0,0009	0,0289	1,00

Примечание. При температуре воздуха до –30 оС и скорости ветра до 15 м/с.

1) при достаточном количестве автотранспорта ($P_{ат} \geq P_{абз}$) и высокой производительности укладочных машин ($P_{ay} \geq P_{абз}$) — эксплуатационной производительностью асфальтобетонного завода;

2) при недостаточной провозной возможности транспортного комплекса ($P_{ат} \leq P_{абз}$ и $P_{ат} \leq P_{ay}$) — эксплуатационной производительностью автотранспорта;

3) при достаточной провозной возможности транспортного комплекса ($P_{ат} \geq P_{ay}$) и высокой производительности асфальтобетонного завода ($P_{абз} \geq P_{ay}$) — эксплуатационной производительностью укладочных машин (асфальтоукладчиков).

На эксплуатационную производительность смесителя АБЗ влияют влажность W_m минеральных мате-

риалов (песка и каменного материала) и температура битуминозной смеси $T_{см}$ на выходе из смесителя.

$$K_{зр} = 0,889 W_m^{-0,863} T_{см}^{0,235}, \quad (4)$$

Провозная возможность автосамосвалов $W_{ат}$ грузоподъемностью от 5,5 до 12 т в основном определяется грузоподъемностью автомобилей q , средней эксплуатационной скоростью автосамосвалов $V_{ср}$ и дальностью возки $L_{ег}$ материалов [2, 3]:

$$W_{ат} = \frac{0,5504 \cdot t_{см} \cdot q^{0,8427} \cdot V_{ср}^{0,7937}}{L_{ег}^{0,7366}} \quad (5)$$

При этом средняя скорость автомобилей переменна в течение года, зависит от погодных условий





и состояния проезжей части дорог [2]. Производительность транспортного звена $\Pi_{ат}$, характеризующая интенсивность потребления материальных ресурсов, определяется

$$\Pi_{ат} = \sum_{i=1}^M W_{ai} A_{ci} \quad (6)$$

где W_{ai} — провозная возможность автомобиля i -й марки;

A_{ci} — инвентарное число автомобилей i -й марки;

M — количество марок автомобилей в составе транспортного звена;

$\alpha_{и}$ — коэффициент использования парка машин.

При устройстве асфальтобетонного покрытия наиболее сложными и ответственными являются две операции — укладка смеси в покрытие и ее уплотнение, которые взаимосвязаны и определяют эксплуатационную производительность механизированного звена [4]. Устройство покрытия при температуре воздуха более +10 °С производится по традиционной технологии, интенсивность укладки смеси определяется технической производительностью асфальтоукладчика ($K_{зр}=1$). При одновременной работе на смежных полосах двух и более асфальтоукладчиков производительность работ $\Pi_{ау}$, т/смену, определяется по формуле:

$$\Pi_{ау} = 60NTK_b h B_{\gamma} V, \quad (7)$$

где N — количество асфальтоукладчиков;

T — продолжительность смены, ч;

K_b — коэффициент использования машины во времени ($K_b = 0,8-0,9$);

h — толщина укладываемого слоя;

B_{γ} — ширина укладываемой полосы, м;

γ — требуемая плотность асфальтобетонной смеси, т/м³;

V — скорость асфальтоукладчика, м/мин.

Интенсивность укладки и уплотнения определяются скоростью остывания асфальтобетонной смеси в покрытие. На характер и скорость остывания, а соответственно и на время T_o от момента укладки смеси в покрытие (как правило, при 130—140 °С после укладчика) и до момента завершения уплотнения (при температуре 60—70 °С) влияют в основном три фактора — толщина слоя h , температура воздуха t_b и скорость ветра V_b .

$$T_o = \frac{1,762 \cdot h^{1,183} \cdot t_b^{0,357}}{V_b^{0,079}}. \quad (8)$$

При работе с одним асфальтоукладчиком максимальная длина полосы укладки горячей смеси определяется условием хорошего сопряжения полос. Переход асфальтоукладчика с полосы на полосу увеличивает непроизводственные потери времени, снижает эксплуатационную производительность машины. При повышении интенсивности остывания и сокращении времени T_o число переходов на смежную полосу в течение смены увеличивается, что приводит к снижению производительности асфальтоукладчика

$$K_{зр} = 1 - 0,06n, \quad (9)$$

где n — количество переходов на смежную полосу за смену, зависит от времени остывания слоя смеси T_o до минимальной температуры [1].

Предлагаемый подход к прогнозированию интенсивности потребления производственных ресурсов технологическими процессами, основанный на расчете эксплуатационной производительности машин с учетом природно-климатических условий производства работ и физико-механических свойств перерабатываемых строительных материалов позволяет повысить обоснованность графиков поставки материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов на строительный объект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексиков С.В. Сооружение полотна автомобильных дорог из грунтов повышенной влажности с их естественным просушиванием. Дис. ... канд. техн. наук. — Омск, 1984. — 213 с.
2. Алексиков С.В. Ресурсное обеспечение технологических процессов в дорожном строительстве. Монография. — Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. — 208 с.
3. Вельможин А.В. Технология, организация и управление грузовыми автомобильными перевозками: учебник для вузов / А.В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин; ВГТУ. — Волгоград, 2000. — 304 с.
4. ВСН 1495. Инструкция по строительству дорожных асфальтобетонных покрытий. — М.: Департамент строительства, 1995. 48 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

В работе исследованы статистические модели основных параметров маршрутной системы города, влияющих на энергетические характеристики работы тяговых электродвигателей подвижного состава. Получены статистические законы распределения протяженности перегонов, среднеходовых скоростей движения подвижного состава на перегонах для маршрутных систем трамвайного транспорта различных городов.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ УЧАСТКОВ И МАРШРУТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Известные методы анализа расхода электроэнергии на тягу не позволяют сравнивать энергетические показатели подвижного состава (ПС) городского электрического транспорта (ГЭТ) различных городов и сделать вывод: «на каком предприятии электроэнергия используется эффективно; какие объективные причины того или иного уровня удельного расхода электроэнергии (УРЭ) на тягу ПС в данном городе; на что следует обратить внимание, прежде всего, для повышения эффективности электрической тяги; какие резервы экономии электроэнергии на тягу ПС».

В процессе работы транспортного предприятия возникает необходимость в анализе и адекватном сравнении эксплуатационных факторов, влияющих на характеристики режимов движения подвижного состава ГЭТ, самих этих характеристик с эксплуатационными факторами и характеристиками режимов движения транспортных предприятий других городов. Существует необходимость в проработке методики такого рода анализа и оценок характеристик режимов движения ПС различных по своим эксплуатационным условиям городов.

Энергопотребление ПС ГЭТ зависит от большого числа случайных факторов: плана и профиля трамвайных путей, состояния путевого хозяйства и контактной сети, напряжения на токоприемниках ПС, метеорологических условий, технического состояния ПС, профессионального уровня водителей и др. Поэтому сравнивать энергетические показатели электрического ПС различных городов, основываясь на параметрах, рассчитанных интегрально-дифференциальными методами, некорректно. Здесь необходима методика, разработанная на аппарате теории вероятностей и математической статистики.

Нормирование расхода электроэнергии на тягу, подобно оптимизации режимов ведения ПС на трамвайных маршрутах городов, требует повышенной точности в расчетах. При нормировании расчеты проводят либо

по принятому режиму ведения, либо по фактически осуществленному в ходе поездки режиму с учетом параметров данной тяговой единицы. Так как произвести расчет для всех вагонов, находящихся в обращении, вряд ли представляется возможным, производят их группировку и определяют нормы по каждой группе. Параметры системы «тяговая единица — пассажиропоток — маршрут» являются случайными функциями, нормативами же определены, как правило, детерминированные выражения этих функций. Поэтому для нужд нормирования энергоресурсов с заданной вероятностью можно выбрать интервал изменения этих параметров и определить интервал изменения нормы от минимальной при наиболее благоприятном стечении обстоятельств до максимальной при самых неблагоприятных условиях.

Вероятностный подход также необходим при изучении закономерностей изменения удельного расхода электроэнергии на токоприемнике тяговой единицы. Анализ предложенных для этой цели уравнений множественной регрессии показал, что они не в полной мере адекватны исследуемому процессу, факторы-признаки включаются в математическую модель на основании субъективного представления авторов об их влиянии на УРЭ. Характер и степень влияния факторов весьма различны, а иногда и противоречивы. Увеличение числа факторов не приводит, как правило, к существенному уточнению результата расчета по сравнению с однофакторной моделью.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Проанализирован статистический материал протяженности перегонов для городов Перми, Казани, Уфы, Волгограда, Самары, Новочеркасска. Под протяженностью перегонов понимаем расстояние между соседними остановками. В статистический ряд вошли абсолютно все перегоны. Каждый перегон включался в статистический ряд

ровно столько раз, сколько трамвайных маршрутов через него проходит.

Рассмотрим более подробно статистические ряды протяженности перегонов городов Уфы и Перми. Число значений n выборки составило: для Уфы – 698, для Перми – 468. Максимальные и минимальные значения протяженности перегонов для Уфы составляют 1850 и 150 м, для Перми – 1150 и 150 м соответственно.

Для Уфы математическое ожидание m_L случайной величины, длины перегона, составило 537 м, для Перми – 497 м. Для Уфы характерно наличие большей средней длины перегонов. Медиана рассматриваемой случайной величины для Уфы имеет значение $Me = 550$ м, для Перми – 455 м; среднее квадратическое отклонение σ_L для Уфы – 192 м, для Перми – 156 м. Для Перми характерен меньший разброс значений протяженности перегонов вокруг среднего значения.

Числовые характеристики случайной величины, протяженности перегонов, для городов Перми, Уфы, Волгограда, Самары и Новочеркасска приведены в табл. 1, теоретические и статистические частоты распределения длины перегонов – на рис. 1.

Для всех исследуемых городов протяженность перегонов, как случайная величина, подчинена нормальному закону распределения вероятности. Согласованность статистического и теоретического распределения рассматриваемой случайной величины проверялась по критерию согласия Пирсона, χ^2 где мера расхождения между теоретическими и статистическими распределениями.

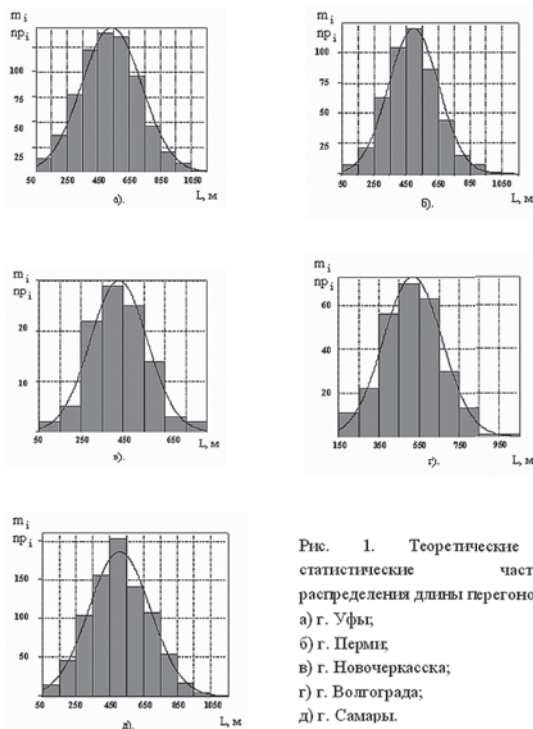


Рис. 1. Теоретические и статистические частоты распределения длины перегонов:
а) г. Уфы;
б) г. Перми;
в) г. Новочеркасска;
г) г. Волгограда;
д) г. Самары.

Параметр p (см. табл. 1) характеризует вероятность того, что расхождения между теоретическими и статистическими распределениями являются незначительными и относятся за счет случайных причин. Вероятности 0,55 для Уфы и 0,60 для Перми маленькими не являются. Поэтому гипотезу о том, что случайная величина, протяженность перегонов, распределена по нормальному закону, можно считать правдоподобной.

Таблица 1 – числовые характеристики протяженности перегонов

Параметры	Уфа	Пермь	Новочеркасск	Волгоград	Самара
m_L , м	537	497	430	519	509
σ_L	192	156	135	146	182
n	698	468	102	267	847
χ^2	6,87	6,42	3,40	3,88	7,14
p	0,55	0,60	0,64	0,69	0,52

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕХОДОВОЙ СКОРОСТИ НА ПЕРЕГОНАХ

Среднеходовая скорость движения ПС по перегонам в предложенной математической модели выражается уравнением множественной регрессии в виде линейной функции двух случайных величин: длины перегона L и эквивалентного ограничения скорости на перегоне $v_{огр,э}$ на участке для $v_{огр,э} \in [5; 15]$ км/ч и для $L \in [50; +\infty)$ м. Случайная величина, протяженность перегонов трамвайных маршрутов, распределена по нормальному закону. Случайная величина, эквивалентное ограничение скорости, как и длина перегонов, в первом приближении согласуется с нормальным законом распределения вероятности. Так как система случайных величин $(L, v_{огр,э})$ распределена по нормальному закону, то закон распределения среднеходовой скорости на перегонах также является нормальным.

Центры рассеивания величин L и $v_{огр,э}$ складываются алгебраически, и математическое ожидание функции определяется по следующей формуле:

$$m_{v_x} = a_1 m_{v_{огр,э}} + a_2 m_L + a_0, \quad (1)$$

где a_0, a_1, a_2 – постоянные коэффициенты.

Дисперсия для среднеходовой скорости определяется выражением

$$D_{v_x} = a_1^2 D_{v_{огр,э}} + a_2^2 D_L + 2a_1 a_2 K_{v_{огр,э}; L}, \quad (2)$$

где $K_{v_{огр,э}, L}$ корреляционный момент величин L и $v_{огр,э}$.

Из (2) получаем выражение для среднего квадратического отклонения функции

$$\sigma_{v_x} = \sqrt{a_1^2 \sigma_{v_{огр,э}}^2 + a_2^2 \sigma_L^2 + 2a_1 a_2 r \sigma_{v_{огр,э}} \sigma_L} \quad (3)$$

где r – коэффициент корреляции величин L и $v_{огр,э}$.

Таким образом, случайная величина, среднеходовая скорость движения ПС трамваев на перегонах, распределена по нормальному закону с числовыми характеристиками m_{v_x} и σ_{v_x} , определяемыми выражениями (1), (3), на участке для $v_{огр,э} \in [5; 15]$ км/ч, и для $L \in [50; +\infty)$ м.

При проведении статистического анализа принялась среднеходовая скорость движения на перегонах, рассчитанная для режимных карт трамвайных маршрутов Казани, Перми, Уфы, Самары, Волгограда, Новочеркасска. Каждый перегон и, следовательно, ходовая скорость движения по нему включались в статистический ряд столько раз, сколько трамвайных маршрутов проходит через этот перегон.

Рассмотрим более подробно статистические ряды среднеходовых скоростей движения на перегонах городов Уфы и Перми.

Максимальные и минимальные значения среднеходовых скоростей для Уфы и Перми составили 41 и 5 км/ч. Математическое ожидание m_{v_x} среднеходовой скорости на перегоне для Уфы составило 21,1 км/ч, для Перми – 16,8 км/ч. Ходовые скорости движения на трамвайных маршрутах города Уфы в среднем значительно превышают аналогичные скорости Перми. Среднее квадратическое отклонение σ_{v_x} для Уфы – 9,3 км/ч, для Перми – 9,1 км/ч. Разброс значений ходовой скорости перегонов данных городов вокруг среднего значения примерно одинаковый.

Статистическое распределение расчетных среднеходовых скоростей на перегонах г. Уфы согласуется с нормальным законом. Вероятность того, что расхождения между теоретическими и статистическими распределениями являются несущественными и относятся за счет случайных причин, составляет $p = 0,24$.

Случайная величина, расчетные среднеходовые скорости на перегонах г. Перми, не является нормально распределенной и имеет наиболее вероятные значения в области невысоких среднеходовых скоростей до 15 км/ч. Мода $M = 10,5$ км/ч. Характер приведенного распределения объясняется преобладанием в г. Перми перегонов с ограничениями скорости до 20 км/ч, в результате чего распределение ограничений скорости на перегонах не согласуется с нормальным законом распределения вероятности, и среднеходовая скорость на перегонах г. Перми снижается. Кроме того, математическое ожидание протяженности пере-

гонов г. Перми несколько ниже, чем для г. Уфы. Сравнительно невысокая протяженность перегонов также способствует снижению v_x .

Проведены экспериментальные исследования разработанных оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД трамваев в городах Казани, Уфы, Перми. Случайная величина, среднеходовая скорость движения ПС трамваев на перегонах, по данным экспериментальных исследований, имеет нормальный закон распределения плотности вероятности. Вероятность, что расхождения между теоретическими и статистическими распределениями являются несущественными и относятся за счет случайных причин, достаточно велика и составляет $p = 0,74$.

Таким образом, в результате аналитических исследований функции v_x , среднеходовой скорости движения трамваев на перегонах при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД, от системы случайных аргументов $(L, v_{огр,э})$, согласно предложенной математической модели расчета v_x , а также в результате статистического анализа среднеходовых скоростей движения ПС на перегонах, рассчитанных по предложенной математической модели для ряда городов и в результате экспериментальных исследований v_x на перегонах различных городов, приходим к одному выводу, что случайная величина – среднеходовая скорость движения трамваев на перегонах распределена по нормальному закону и предложенная математическая модель определения v_x адекватна реальным эксплуатационным условиям.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ТРАМВАЕВ

Удельный расход электроэнергии на тягу подвижного состава трамваев на перегонах является функцией множества случайных величин, характер и степень влияния которых различны. Учет всех факторов при определении УРЭ не представляется возможным из-за их многочисленности, а также из-за отсутствия данных о законах распределения большинства случайных аргументов со слабой степенью влияния на рассматриваемую функцию.

В данной работе предложена однофакторная математическая модель определения УРЭ на тягу трамваев, при реализации оптимальных эксплуатационных режимов тяговых электродвигателей, в виде регрессионного уравнения, представляющего полином второй степени [1]. В качестве фактор-признака выбрана среднеходовая скорость движения трамваев на перегонах при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД.

УРЭ является функцией случайного аргумента v_x . Среднеходовая скорость v_x движения трамваев



на перегонах подчиняется нормальному закону распределения вероятности и, в свою очередь, является функцией случайных величин длины перегона L и эквивалентного ограничения скорости движения $v_{огр.э}$.

Функция УРЭ $a_{y0} = \varphi(v_x)$ является монотонно возрастающей на участке $(0; +\infty)$. Математическое ожидание УРЭ можно определить по формуле

$$M[\varphi(v_x)] = \int_a^b \varphi(v_x) f(v_x) dv_x \quad (4)$$

где $m_\varphi = M[\varphi(v_x)]$ – математическое ожидание функции $\varphi(v_x)$; $f(v_x)$ – плотность распределения величины v_x ; a и b – пределы изменения аргумента.

Аналогично для дисперсии функции

$$D[\varphi(v_x)] = \int_a^b [\varphi(v_x) - m_\varphi]^2 f(v_x) dv_x \quad (5)$$

Плотность $g(a_{y0})$ распределения функции $a_{y0} = \varphi(v_x)$ определяется следующим выражением:

$$g(a_{y0}) = \frac{1}{\sigma_{v_x} 2\pi (2b_2 \psi(a_{y0}) + b_1)} e^{-\frac{(\psi(a_{y0}) - m_{v_x})^2}{2\sigma_{v_x}^2}} \quad (6)$$

где b_1, b_2 – постоянные коэффициенты; Ψ – функция, обратная функции $\varphi(v_x)$.

Таким образом, случайная величина, УРЭ на тягу ПС трамваев при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД, имеет числовые характеристики $m_{a_{y0}}$ и $\sigma_{a_{y0}}$, определяемыми выражениями (4), (5), на участке изменения аргумента $v_x \in (0; +\infty)$ км/ч. Плотность распределения рассматриваемой случайной величины определяется формулой (6) на участке изменения аргумента $v_x \in (0; +\infty)$ км/ч и изображена на рисунке 2.

Из рис. 2 видно, что закон распределения УРЭ на тягу ПС трамваев обладает несимметрией. Вследствие этого математическое ожидание данной случайной величины не совпадает с условием максимальной вероятности рассматриваемых случайных величин. Из гистограмм распределения длин перегонов трамвайных маршрутов и установленных на них ограничений скорости для данного города можно определить математические ожидания длины перегона и эквивалентного ограничения скорости и по этим величинам прогнозировать с заданной степенью вероятности математические ожидания средне-

ходовой скорости движения по перегонам и в конечном счете УРЭ на тягу ПС при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД трамваев.

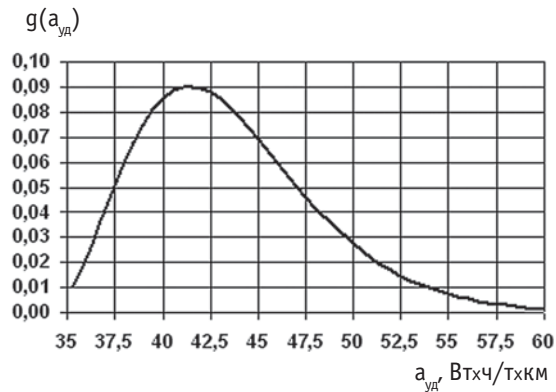


Рисунок 2— Плотность распределения УРЭ на тягу ПС трамваев при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД

Собраны статистические данные по УРЭ, рассчитанному при разработке оптимальных режимов движения трамваев, для перегонов трамвайных маршрутов городов Казани, Перми, Уфы, Волгограда, Самары и Новочеркасска [1]. Собран материал по расходу электроэнергии на тягу трамваев для фактически реализованных водителями режимов эксплуатации ТЭД (эксплуатационный УРЭ) на трамвайных маршрутах городов Казани и Перми за трехлетний период. Замеры величины расхода производились регистраторами РЭТТ-500. Данные по УРЭ ПС на трамвайных маршрутах в разрезе по вагонам представлены в [1].

Проведены экспериментальные исследования оптимальных режимов движения ТЭД трамваев. В результате собран статистический материал по экспериментальному УРЭ на тягу трамваев на перегонах в различных эксплуатационных условиях ряда городов. Максимальное и минимальное значения УРЭ на перегонах составили 70 Втхч/(тхкм) и 15 Втхч/(тхкм). Математическое ожидание $m_{a_{y0}}$ рассматриваемого статистического ряда экспериментальных значений УРЭ, полученных при реализации рассчитанных оптимальных режимов движения трамваев, составило $42 \pm 1,4$ Втхч/(тхкм) $\sigma_{a_{y0}}$; среднее квадратическое отклонение $\sigma_{a_{y0}} = 14$ Втхч/(тхкм). Данная случайная величина подчинена нормальному закону распределения вероятности. Вероятность, что расхожде-



ния между теоретическими и статистическими распределениями являются несущественными и относятся за счет случайных причин, достаточно велика и составляет $p = 0,76$.

Для тех же перегонов, на которых производились экспериментальные исследования по определению УРЭ при реализации оптимальных эксплуатационных режимов ТЭД трамваев, по предложенной в данной работе математической модели определен статистический ряд расчетных значений УРЭ. Математическое ожидание расчетных значений УРЭ составило $43,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{т} \cdot \text{км})$, среднее квадратическое отклонение $\sigma_{a_{\text{уд}}} = 5 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{т} \cdot \text{км})$.

Распределение частот расчетных значений УРЭ на тягу трамваев согласуется с законом распределения плотности вероятности $g(a_{\text{уд}})$, изображенным на рис. 2 и полученным в результате математического анализа функции $a_{\text{уд}}$ от случайного аргумента vx . Кривая плотности вероятности имеет вытянутую ветвь в сторону больших значений УРЭ. Следует отметить, что при увеличении числа значений статистиче-

ского ряда расчетных УРЭ кривая распределения вероятности приближается к нормальной кривой. Математические ожидания статистического ряда экспериментальных значений УРЭ и статистического ряда расчетных значений с учетом доверительного интервала практически совпадают друг с другом.

Таким образом, числовые характеристики случайных величин, расчетных и экспериментальных значений УРЭ, совпадают по величине, но имеются различия в характере распределения частот, что вызвано главным образом относительно небольшим размером выборки расчетных значений УРЭ.

Математическое ожидание УРЭ, полученного в реальных условиях эксплуатации для разных водителей, значительно превышает УРЭ, полученный при экспериментальной реализации рассчитанных режимных карт, что говорит о больших резервах снижения УРЭ на тягу трамваев [1]. Глубина экономии от реализации оптимальных эксплуатационных режимов силового привода составляет 12%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакиров А.Р. Снижение электропотребления силового привода электрического транспорта: Научное издание. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. — 256 с.



НАГРУЗОЧНЫЕ СПОСОБНОСТИ ГИБКИХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ГРУЗА СО СМЕЩЕНИЕМ ЦЕНТРА МАСС ВДОЛЬ ВАГОНА

В статье рассмотрены основные положения к обоснованию способа размещения груза вдоль вагона. Усовершенствована методика расчета определения натяжений в гибких упругих элементах креплений груза, размещенного со смещением центра масс вдоль вагона, как в статической неопределенной системе «вагон – крепление – груз», от воздействий продольных и вертикальных сил. Для решения задачи использован численный метод, который реализован в среде MathCAD.

Для исключения случаев угрозы безопасности движения грузовых поездов и сохранности перевозимых на открытом подвижном составе (платформы, полувагоны и транспортеры) различного рода грузов с плоским основанием (например, крупногабаритных и тяжеловесных) большое значение имеет их рациональное размещение и надежное крепление на этих средствах перевозки. Расстройства крепления груза происходят даже при незначительных расстояниях перевозок вследствие загрузки вагона сверх установленной нормы, неравномерной погрузки груза в вагоне и неправильной его подготовки к перевозке, из-за чего нередко происходят повреждения элементов креплений груза и подвижного состава под действием динамических нагрузок при транспортировке.

В действующих технических условиях размещения и креплений грузов (положения главы I ТУ) расчеты креплений груза, размещенного со смещением центра масс вдоль вагона, выполняются в упрощенном виде. Допустимое значение продольного смещения центра масс груза вдоль вагона принимается в зависимости от его веса по таблице 10 ТУ. В ТУ определение натяжений в такой системе сведено к решению статически определимой задачи. В результате натяжения во всех гибких упругих элементах креплений штучного груза, независимо от их расположения относительно пола вагона, получаются одинаковыми. Это не соответствует основным принципам решения статически неопределенной задачи в механике из-за того, что в механической системе «вагон – крепление – груз» для определения натяжений в элементах креплений груза использованы только уравнения равновесия плоской системы сил.

До сих пор не разработана методика непосредственного определения натяжений в элементах креплений груза, размещенного со смещением центра масс вдоль вагона, к которому и приложены продольные и вертикальные силы, как в статической неопределенной системе «вагон – крепление – груз».

Перевозка груза, размещенного со смещением центра масс вдоль вагона, может соответствовать движению поезда как на прямом участке пути, так и на спуск в режиме служебного торможения или отпуща, а также в процессе разгона и торможения, при соударении вагонов во время маневров и роспуске с сортировочных горок. Исходя из этого безопасная и сохранная перевозка грузов в пути следования могут быть достигнуты разработкой более точной методики расчета креплений, позволяющей учитывать действие на груз продольных и вертикальных сил при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона. Усовершенствованная методика расчета гибких элементов креплений груза с учетом топологии этих элементов дала бы возможность непосредственно определять натяжения в креплениях с использованием возможности вычислительной среды MathCAD.

Физическая модель размещения и крепления груза с несимметричным расположением центра масс вдоль вагона представлена на рис. 1.

Физическую модель размещения и крепления груза представим в удобном для построения динамической модели (рис. 2).

Рассмотрим случай, когда груз удерживается от перемещений основной связью [шероховатая (с трением) поверхность (пол вагона)] и дополнительными связями [гибкие упругие (растяжка и/или обвязка) и упорные (деревянные бруски) средства креплений].

При составлении динамической модели размещения и крепления груза с несимметричным расположением центра масс вдоль вагона (рис. 3) считаем для груза (объект) раму платформы основной связью, а гибкие упругие элементы креплений дополнительными (или избыточными) связями. Учитываем, что основная связь (рама платформы) односторонняя, она препятствует опусканию груза вниз, не препятствуя его удалению вверх. Реакция внешней связи $\bar{R}$ [шероховатая (с трением) поверхность] обычно представляется нормальной $\bar{N}$ и касательной $\bar{F}_\tau$ со-

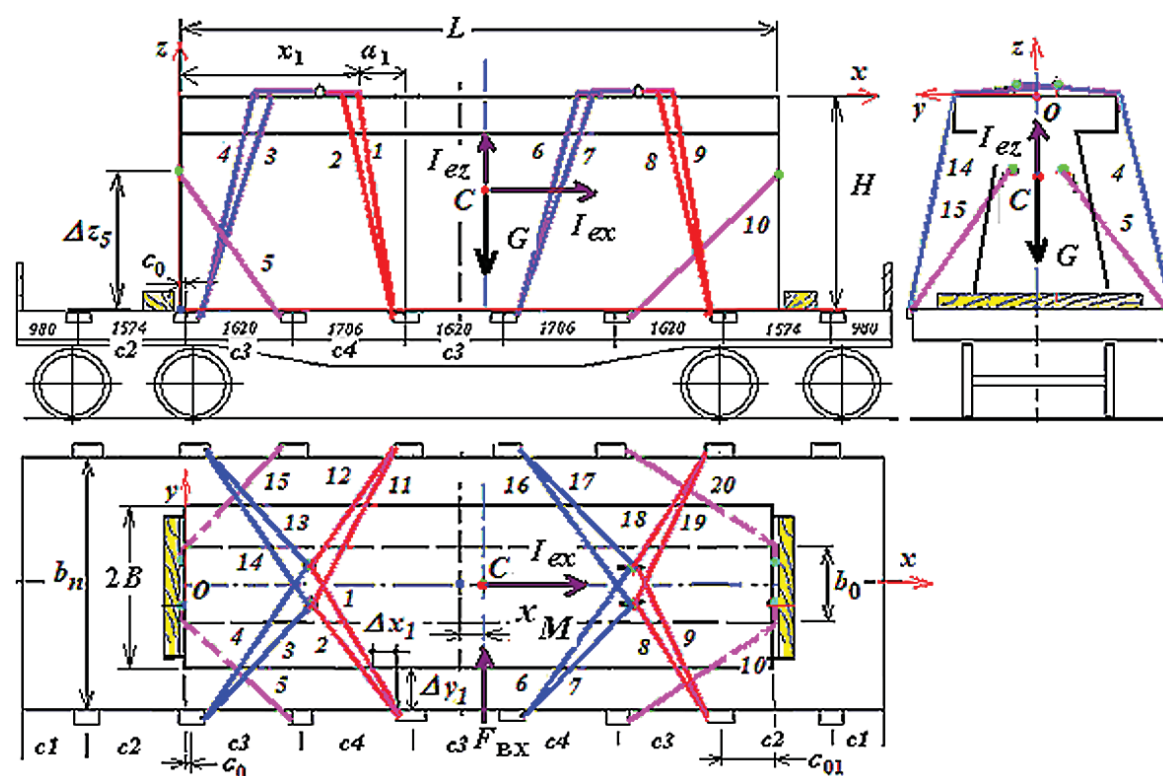


Рисунок 1 — Физическая модель размещения и крепления груза со смещенным центром масс вдоль вагона

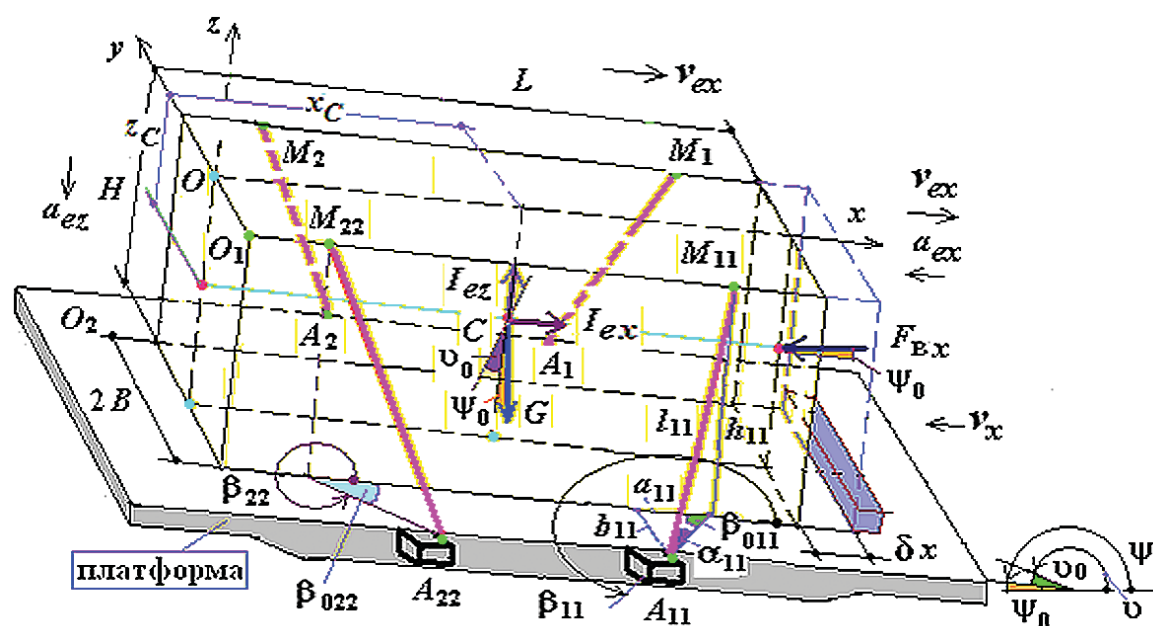


Рисунок 2 — Представление физической модели размещения и крепления груза в удобном для построения динамической модели

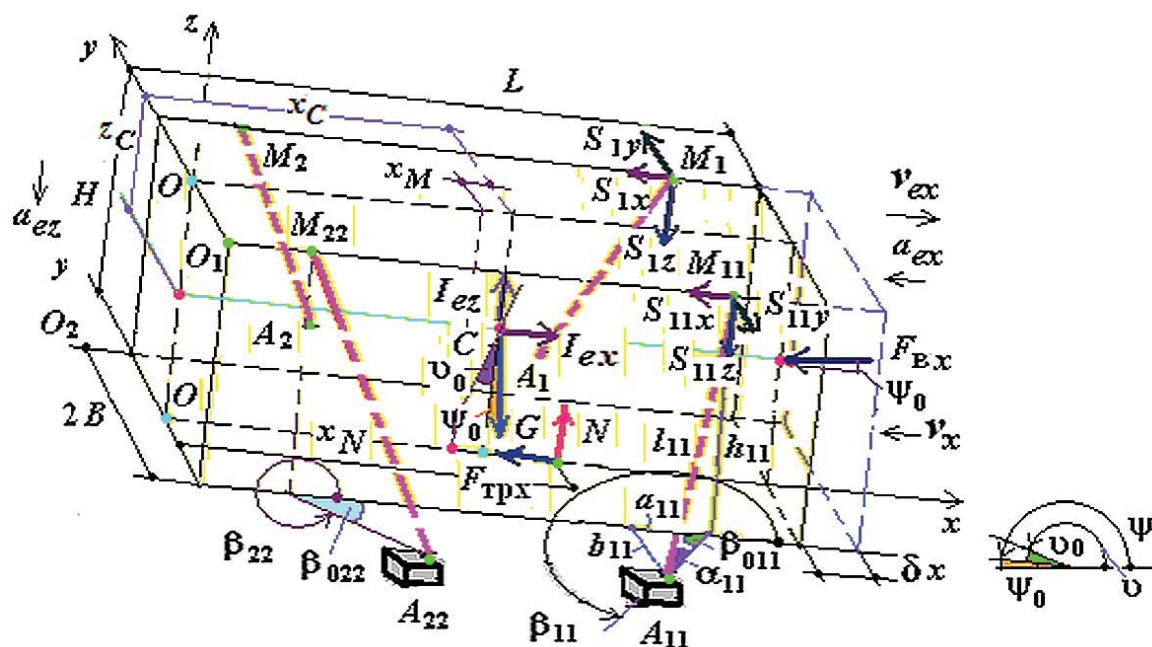


Рисунок 3 — Динамическая модель размещения и крепления груза со смещенным центром масс вдоль вагона

ставляющими, т. е. $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_\tau$. Касательную составляющую $\bar{F}_\tau$, направленную по поверхности пола платформы называют силой трения $\bar{F}_\tau = \bar{F}_m$, определяемой законом Кулона. Координата x_R (или x_N) точки приложения реакции внешней связи $\bar{R}$ неизвестна и подлежит определению.

Груз с плоским основанием совершает относительное продольное перемещение. Дополнительные связи (гибкие упругие элементы креплений) являются односторонними, они препятствуют удалению грузовых (и/или монтажных) петель груза от точек закрепления (стоечная или лесная скоба) этих элементов на раме платформы. Поэтому в таких связях возникают реакции, направленные вдоль гибких упругих элементов к точкам их закрепления (к стоечным скобам платформы). Данные связи не препятствуют приближению грузовых петель к точкам закрепления элементов креплений, т. е. к их провисанию.

Все активные силы — вес груза ($\bar{G}$), продольные ($\bar{I}_{ex} = \bar{I}_x$) и вертикальные ($\bar{I}_{ez} = \bar{I}_z$) переносные силы инерции **направляют от объекта**, поскольку их действия испытывают внешние связи; реактивную силу аэродинамического сопротивления $\bar{F}_a$, реакции $\bar{R}$ основной связи (пол платформы) **направляют к объекту** (груз), а реакции дополнительных связей

$\bar{R}_i, i=1,2$ (гибкие упругие элементы креплений) — **от объекта**, поскольку они предназначены для дополни-

тельного ограничения перемещения объекта в том или ином направлении [1].

Физика появления продольной переносной силы инерции $\bar{I}_{ex}$. Возникновение переносного ускорения вагона с грузом по продольной оси $\bar{a}_{ex}$ объясняется продольными колебаниями подвижного состава даже при движении поезда по прямому участку пути, поскольку поезд и в этом случае движется неравномерно по волнам неровностей пути. Причинами колебаний вагона являются, во-первых, наличие в конструкции тележек зазоров между боковыми рамами и челюстями букс колесных пар, во-вторых, наличие упругих элементов (пружин) и зазоров в конструкциях поглощающих аппаратов автосцепных устройств. По этим причинам, по-видимому, происходит продольный сдвиг груза.

Учет переносного ускорения вагона с грузом по продольной оси в математической модели будет имитировать движение поезда как по прямому, так и по кривому участкам пути и при его движении на спуск в режиме служебного торможения или отпуска.

Физика появления вертикальной переносной силы инерции $\bar{I}_{ez}$. Возникновение переносного ускорения вагона с грузом по вертикальной оси $\bar{a}_{ez}$ объясняется наличием упругих элементов (комплектов пружин) между боковыми рамами и наддрессорными балками и состоянием пути, по волнам неровностей которого движется поезд. По этим причинам и возникнет вертикаль-



ная переносная сила инерции $\bar{I}_{ez}$, воспринимаемая упругими элементами креплений груза.

Учет переносного ускорения вагона с грузом по вертикальной оси в математической модели будет имитировать явление «подпрыгивания вагона с грузом» из-за движения подвижного состава по волнам неровности пути, высота волны неровности которой зависит от соблюдения норм содержания пути. При этом будет учтено взаимодействие механической системы «путь — вагон — груз — крепление» в вертикальном направлении при любом отклонении от норм содержания пути.

При выполнении расчета по определению неизвестных внешних реакций связей продольную $\bar{I}_{ex}$ и вертикальную $\bar{I}_{ez}$ переносные силы инерции для грузоподъемных вагонов находят по максимальным нормированным значениям ускорений по продольной $\bar{a}_{ex}$ и вертикальной $\bar{a}_{ez}$ осям, появляющимся при движении вагона на перегоне: $a_{ex} = 0.3g$ и $a_{ez} = (0.4 - 0.66)g$ [2]. При несоблюдении нормы содержания пути величины ускорений могут значительно превысить их допустимое значение.

Продольные, поперечные и вертикальные переносные силы инерции (кН) равны

$$|\bar{I}_{ex}| = 10^{-3} M a_{ex}; \quad |\bar{I}_{ez}| = 10^{-3} M a_{ez},$$

где M — масса материальной системы (груза) (кг); $\bar{a}_{ex}$ и $\bar{a}_{ez}$ — продольное, поперечное и вертикальное максимальные нормативные значения переносных ускорений груза (m/s^2).

Переносные силы инерции также являются *активными* силами, поскольку, начав действовать на покоящееся тело, *могут* привести его в движение.

Силы $\bar{I}_{ex}$ и $\bar{I}_{ez}$ условно прикладывают к центру масс материальной системы (груза) C , однако их воздействия испытывают внешние связи — вагон, гибкие упругие (растяжка и обвязка) и упорные (деревянные бруски) средства креплений.

При определении направления переносных сил инерции следует учитывать неблагоприятные случаи.

Если учитывать направление силы инерции, то **неблагоприятным случаем** является случай **совпадения силы инерции по направлению с натяжением** (не реакцией связи), поскольку к объекту (грузу) приложены реакции связей, а не натяжения [3].

В неблагоприятном случае сила инерции должна быть направлена в сторону, противоположную реакции связей. Естественно, что ускорение в этом случае будет направлено в сторону реакции при условии, что они, как обычно, направляются от объекта. Это сохраняется и для вертикального ускорения (пол вагона — односторонняя связь, и в рассмотренном случае сила инерции направлена вверх

и нагружает в этом направлении вертикальные и наклонные растяжки).

При увеличении ускорения будут увеличиваться реакция и натяжение в гибких упругих элементах креплений груза.

Активные силы $\bar{G}$ и $\bar{I}_{ex}$, $\bar{I}_{ez}$ условно приложены к центру масс материальной системы (груза) C , а в действительности их испытывают внешние связи. Координаты $Y_{F_{ax}}, Z_{F_{ax}}$ (или $X_{F_{ay}}, Z_{F_{ay}}$) — точки приложения силы аэродинамического сопротивления

$\bar{F}_a$ — известны: они находятся в геометрическом центре площади торцевой (или боковой) поверхности груза.

При движении поезда на перегоне учтем, что при одновременном действии продольных ($\bar{I}_{ex} = \bar{I}_x$) и вертикальных ($\bar{I}_{ez} = \bar{I}_z$) переносных сил инерции, силы аэродинамического сопротивления $\bar{F}_a$ при преобладающем значении, например, продольных сил $\bar{I}_{ex}$, $\bar{I}_{ez}$ и $\bar{F}_a$ будут восприняты гибкими упругими средствами креплений, расположенными противоположно направлению действия продольных сил, а средства креплений, расположенные противоположно направлению их действия, провисают. Исключением является маневровое соударение отцепы, когда испытывают только продольную переносную силу инерции $\bar{I}_{ex}$ парные гибкие упругие средства креплений, расположенные противоположно направлению действия этой силы.

На динамической модели (рис. 3) приняты следующие обозначения:

$\bar{S}_i$ — усилия в гибких упругих элементах креплений груза;

x_M — смещение (сдвиг) центра масс груза вдоль вагона;

ψ — угол, характеризующий движение поезда на спуск;

γ — угол «рыскания» вагона с грузом;

x_C — расположение центра масс груза от принятого начала координат до поперечной оси симметрии вагона;

Z_C — расположение центра масс груза относительно оси абсцисс O_x ;

Z_{F_x} — координата точки приложения силы аэродинамического сопротивления;

X_i — координата точки приложения нормальной реакции связи $\bar{N}$ относительно начала координат; $O_i M_i$ ($i = 1, \dots, n$), где n — количество гибких элементов креплений (груза), — расстояние от принятого начала координат до монтажных петель груза; $H, 2B$ и L — высота, ширина и длина груза; a_{11}, b_{11} и h_{11} — проекции гибкого упругого элемента с длиной l_{11} соответственно на продольную, поперечную и вертикальную оси груза; α и β_{np} — углы наклона гибких элементов на плоскость Oxy и плоскости этих элементов на ось Ox .





Определение натяжений $\bar{S}_i$ в гибких упругих элементах креплений штучного груза при любом количестве n элементов креплений с учетом предварительных закруток $\bar{S}_{0i}$ является *статически неопределенной* задачей, а механическая система «вагон – крепление – груз» — статически неопределенной системой. В такой задаче степень статической неопределенности механической системы «вагон – крепление – груз» не может быть определена заранее, а может быть определена лишь при рассмотрении конкретного способа размещения и крепления груза. Например, гибкие упругие элементы креплений штучного груза относительно боковой стороны груза и пола вагона размещаются пространственно, и в ней число неизвестных реакций внешних связей и перемещений груза равно 8, число гибких элементов креплений в зависимости от массы перевозимого груза может достигать от 4 до 24 и более. Число уравнений равновесия, как известно, равно 6. Неизвестными являются:

натяжения в гибких упругих элементах креплений в зависимости от массы перевозимого груза, которые могут достигать от 4 до 20 и более $\bar{S}_i$;

касательная составляющая реакций связей в виде силы трения $\bar{F}_{\text{мрх}}$, направленная противоположно перемещениям груза по продольной оси вагона (1 неизвестный);

нормальная составляющая реакций связи $\bar{N}$ и координата точки ее приложения относительно продольной оси симметрии вагона x_n (2 неизвестных);

сдвиг груза вдоль вагона Δx (1 неизвестный).

Для решения такой задачи необходимо рассмотрение ее физической (закон Кулона) и геометрической (закон Гука) сторон.

Подготовка исходных данных в виде геометрических размеров гибких упругих элементов креплений и координаты точки их закрепления к стоечным скобам вагона и монтажным петлям груза (рис. 1) выполняется в следующем порядке:

координаты расположения центра масс груза и приложения силы аэродинамического сопротивления по оси Ox (м): x_c и z_c — расположения центра масс груза относительно координатных осей ($x_c = 0.5L = 4.55$ и $z_c = 0.914$); $x_m = xM$ — смещение центра масс груза вдоль вагона, которое выбирается в зависимости от массы груза по таблице 10 ТУ ($xM = 0.025L = 0.228$ м); x_{fx} и z_{fx} координаты приложения силы аэродинамического сопротивления F_{gx} по лобовой стороне груза ($x_{\text{fx}} = L$ и $z_{\text{fx}} = z_c$);

размеры груза и его крепежных элементов, а также внутренние размеры пола вагона (м): H — высота груза ($H=2.1$), $2B$ — ширина груза ($2B=2.0$), b_{0i} — расстояние монтажных петель крайних гибких элементов (растяжки с номерами $i = 5, 10, 15$ и 20 имеют $b_{0i} = 1.0$), L — длина груза (например, $L = 9.1$ м), b_n — поперечное расстояние между стоечными скобами,

или, что одно и то же, ширина вагона (для платформы $b_n = 2.87$ м); c_1, c_2, c_3, c_4 — пролеты стоечных скоб (увязочных устройств) вагона (для платформы $c_1 = 0.980$, $c_2 = 1.574$, $c_3 = 1.620$, $c_4 = 1.706$ м), c_0 — расстояние от края груза до первой стоечной скобы вагона ($c_0 = 0.5L (1.5c_3 + c_4) \times M = 4.55 \cdot 4.136 - 0.228 = 0.414 \cdot 0.091 = 0.186$ м);

координаты x верхних монтажных петель гибких элементов (м):

$$x_1 = c_0 + c_3 + c_4 - a_1, x_2 = c_0 + c_3 + c_4 - a_2, x_3 = c_0 + a_3, x_4 = c_0 + a_4, x_5 = 0,$$

$$x_6 = c_0 + c_3 + c_4 + a_6, x_7 = c_0 + c_3 + c_4 + a_7,$$

$$x_8 = c_0 + 3c_3 + 2c_4 - a_8, x_9 = c_0 + 3c_3 + 2c_4 - a_9, x_{10} = a_{10}, x_{11} = a_1,$$

$$x_{12} = a_2, x_{13} = a_3, x_{14} = a_4, x_{15} = a_5, x_{16} = a_6, x_{17} = a_7, x_{18} = a_8,$$

$$x_{19} = a_9, x_{20} = a_{10},$$

$$\text{где } a_1 = 0.395 - xM; a_2 = 0.695 - xM; a_3 = 0.345 + xM;$$

$$a_4 = 0.275 + xM; a_5 = a_{15} = 2.034 - xM; a_6 = 0.395 + xM;$$

$$a_7 = 0.695 + xM; a_8 = 0.345 - xM; a_9 = 0.275 - xM;$$

$$a_{10} = a_{20} = 2.034 + xM$$

– проекции гибких элементов крепления груза на продольную ось, взятые из схемы размещения и крепления груза в вагон (м);

проверка асимметрии крепления гибких элементов к верхним монтажным петлям (м):

$$x_1 \leq L - x_6, x_2 \leq L - x_7, x_3 \leq L - x_8, x_4 \leq L - x_9, x_5 \leq L - x_{10};$$

координаты y верхних монтажных петель гибких элементов (м): $y_i = B$ ($i = 1 \dots 9$) за исключением того, что;

$$y_5 = y_{10} = -0.5b_0; y_i = B \quad (j = 16 \dots 19) \text{ и } y_{15} = y_{20} = -0.5b_0;$$

координаты z верхних монтажных петель гибких элементов (м): $z_i = 0$ за исключением того, что

$$z_j = -h_j \quad (j = 5, 10, 15, 20) \text{ (например, } h_j = -0.56);$$

проекция гибких элементов на ось Ox (м): $\Delta x_1 = c_0 + c_3 + c_4 - x_1; \dots$

$$\Delta x_2 = c_0 + c_3 + c_4 - x_2, \Delta x_3 = c_0 - x_3, \Delta x_4 = c_0 - x_4, \Delta x_5 = c_0 + c_3 - x_5,$$

$$\Delta x_6 = c_0 + 2c_3 + c_4 - x_6, \Delta x_7 = c_0 + 2c_3 + c_4 - x_7,$$

$$\Delta x_8 = c_0 + 3c_3 + 2c_4 - x_8, \Delta x_9 = c_0 + 3c_3 + 2c_4 - x_9,$$

$$\Delta x_{10} = c_0 + 3c_3 + 2c_4 - x_{10}, \Delta x_{11} = \Delta x_1, \Delta x_{12} = \Delta x_2, \Delta x_{13} = \Delta x_3,$$

$$\Delta x_{14} = \Delta x_4, \Delta x_{15} = \Delta x_5, \Delta x_{16} = \Delta x_6, \Delta x_{17} = \Delta x_7, \Delta x_{18} = \Delta x_8, \Delta x_{19} = \Delta x_9,$$

$$\Delta x_{20} = \Delta x_{10};$$

или для контроля

$$\Delta x_1 = a_1, \Delta x_2 = a_2, \Delta x_3 = -a_3, \Delta x_4 = -a_4, \Delta x_5 = a_5, \Delta x_6 = -a_6, \Delta x_7 = -a_7,$$

$$\Delta x_8 = a_8, \Delta x_9 = a_9, \Delta x_{10} = -a_{10};$$





проекции гибких элементов крепления на ось Oy (м):

$$\Delta y_i = -0.5b_n - y_i \quad (i = 1 \dots 10), \quad \Delta y_j = 0.5b_n - y_j \quad (j = 11 \dots 20);$$

проверку симметрии постановки гибких элементов крепления по оси Oy (м):

$$\Delta y_1 = \Delta y_{11}, \Delta y_2 = \Delta y_{12}, \Delta y_3 = \Delta y_{13}, \Delta y_4 = \Delta y_{14}, \Delta y_5 = \Delta y_{15},$$

$$\Delta y_6 = \Delta y_{16}, \Delta y_7 = \Delta y_{17}, \Delta y_8 = \Delta y_{18}, \Delta y_9 = \Delta y_{19}, \Delta y_{10} = \Delta y_{20};$$

проекции гибких элементов креплений на ось Oz (м): $\Delta z_i = -h_i \quad (i = 1 \dots 20) \quad (h = 2.1)$ за исключением того, что

$$\Delta z_j = -h_j \quad (j = 5, 10, 15, 20) \quad (h_j = -1.54);$$

проекции длин гибких элементов на плоскость платформы (м):

$$\Delta s(\Delta x, \Delta y) = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad \text{и} \quad \Delta s_i = \Delta s(\Delta x_i, \Delta y_i);$$

длины гибких элементов (м):

$$l_i = \Delta s(\Delta s_i, \Delta z_i);$$

косинусы углов гибких элементов с плоскостью

$$Oxy: \cos \alpha_i = \frac{\Delta s_i}{l_i};$$

синусы углов гибких элементов с плоскостью

$$Oxy: \sin \alpha_i = \frac{\Delta z_i}{l_i};$$

косинусы и синусы углов плоскостей гибких элементов с осью

$$Ox: \cos \beta_{npi} = \frac{\Delta x_i}{\Delta s_i} \quad \text{и} \quad \sin \beta_{npi} = \frac{\Delta y_i}{\Delta s_i}.$$

Полученные исходные данные в виде геометрических размеров гибких упругих элементов креплений и координаты точки их закрепления к стоечным скобам вагона и монтажным петлям груза, являются *неотъемлемыми составляющими* при описании уравнения равновесия в статически неопределимой системе «вагон – крепление – груз», без которых *невозможно создать обобщенную математическую модель* груза.

Математическая модель механической системы «вагон – крепление – груз» с плоским основанием имеет вид, описанный в [4]:

сдвигающей силы по оси Ox :

$$\sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta x_i}{l_i} + I_{ex} + G \sin(\psi + \vartheta_0) - F_{ex} \cos(\psi + \vartheta_0) = T_x; \quad (1)$$

силы трения по оси Ox :

$$F_{\text{тр}x} = \text{if } (N > 0, \text{if } (T_x < fN, -T_x, -fN), 0); \quad (2)$$

суммы проекций сил на ось Ox :

$$T_x + F_{\text{тр}x} = 0; \quad (3)$$

сдвигающей силы по оси Oy :

$$\sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta y_i}{l_i} = T_y. \quad (4)$$

силы трения по оси Oy :

$$F_{\text{тр}y} = \text{if } (N > 0, \text{if } (T_y < fN, -T_y, -fN), 0); \quad (5)$$

суммы проекций сил на ось Oy :

$$T_y + F_{\text{тр}y} = 0; \quad (6)$$

суммы проекции сил на ось Oz :

$$\sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta z_i}{l_i} - (G \cos(\psi + \vartheta_0) + F_{ex} \sin(\psi + \vartheta_0)) + I_{ez} + N = 0; \quad (7)$$

суммы моментов сил вокруг оси Ox :

$$\sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta z_i}{l_i} y_i + \sum_{i=5,15,10,n} S_i \frac{\Delta y_i}{l_i} (-\Delta z_i) = 0; \quad (8)$$

суммы моментов сил вокруг оси Oy :

$$\begin{aligned} & - \left(\sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta z_i}{l_i} x_i \right) + \sum_{i=5,15,10,n} S_i \frac{\Delta x_i}{l_i} \Delta z_i + (G \cos(\psi + \vartheta_0) - I_{ex}) x_C - \\ & - (G \sin(\psi + \vartheta_0) + I_{ex}) z_C + F_{ex} \cos(\psi + \vartheta_0) \cdot z_{Fex} + F_{ex} \sin(\psi + \vartheta_0) \cdot x_{Fex} + \\ & + F_{\text{тр}x} H - N x_N = 0; \end{aligned} \quad (9)$$

суммы моментов сил вокруг оси Oz :

$$\sum_{i=1}^n S_i \left(\frac{\Delta y_i}{l_i} x_i - \frac{\Delta x_i}{l_i} y_i \right) = 0; \quad (10)$$

деформационных соотношений [3]:

$$[(\Delta x - \sum_{i=1}^n y_i \Delta \phi) \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{l_i} + (\Delta y + \sum_{i=1}^n x_i \Delta \phi) \sum_{i=1}^n \frac{\Delta y_i}{l_i}] = - \sum_{i=1}^n (S_i - S_{0i}) \frac{l_i}{EA}. \quad (11)$$

В полученных выражениях приняты следующие обозначения: EA – физико-геометрическая характеристика (жесткость на растяжение) гибкого упругого элемента (кН). Здесь E – модуль упругости гибкого элемента, скрученного из стальной отожженной проволоки (кН/м²) ($E = 1.10^7$ кПа), A_i – пло-



щадь поперечного сечения гибкого элемента (m^2):

$$A_i = n_i \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$
, с учетом того, что n_i – число нитей в i -ом гибком элементе (шт.); d_i – диаметр проволоки гибкого элемента (м).

Выражения (1) — (11) представляют собой систему алгебраических уравнений, которые могут быть решены численным способом в вычислительной среде MathCAD.

Получены макетдокументы, где в блок функций GivenFind введены системы уравнений (1) — (11), которые легли в основу разработки автоматизированной программы расчета креплений груза [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Груз размещен в вагоне со смещением центра тяжести вдоль вагона на заданную величину xM , допускаемое значение которого, согласно ТУ, определяется в зависимости от веса груза $\overline{G}$. На механическую систему «вагон – крепление – груз» действуют только продольные ($\overline{I}_{ex}$ и $\overline{F}_{ex}$) и вертикальные ($\overline{I}_{ez}$) силы. Описанное условие проведения исследований соответствует физической и динамической схеме, показанной на рис. 1 и 2.

1. Исследование влияния коэффициента трения (учет климатических условий) на смещения центра масс вдоль вагона и значения натяжений в гибких упругих элементах креплений груза. В результате этих исследований установлено, что натяжение в гибких элементах креплений возникает лишь тогда, когда происходит сдвиг груза. Иначе, причиной возникновения натяжений в гибких элементах креплений является сдвиг груза, величина которого зависит от коэффициента трения между соприкасающимися поверхностями груза и пола вагона [6]. В результате регрессионного анализа получены графические зависимости значения натяжений в остальных гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение, при различных заданных значениях коэффициента трения μ (рис. 4), данные которых можно использовать при разработке не предусмотренного ТУ способа размещения и крепления груза в вагоне.

Анализируя полученные результаты исследований по установлению зависимости $S_i = f(\mu)$, можно отметить, что при одном и том же значении продольных и вертикальных переносных сил инерции ($a_{ex} = 0.2g$ и $a_{ez} = 0.46g \text{ м/с}^2$) увеличение значений коэффициента трения μ приводит к снижению усилий в гибких упругих элементах креплений, что позволяет нагружать элементы креплений большими значениями продольных сил, нежели действовавшие. Это объясняется тем, что при перевозке груза при различных климатических условиях, учитываемых коэффициентом трения между соприкасающимися поверхностями гру-

за и пола вагона, при увеличении этого коэффициента (т. е. при большей сцепляемости поверхностей груза и пола вагона), для того чтобы груз сдвинулся с места, необходимо приложить значительные по величине продольные силы.

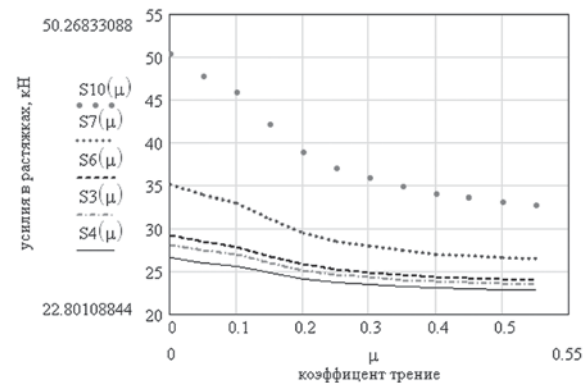


Рисунок 4 — Графические зависимости $S_i = f(\mu)$

В результате регрессионного анализа получены графические зависимости значения натяжений в остальных гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение, при различных заданных значениях продольного сдвига груза Δx (рис. 5), данные которых можно использовать при разработке не предусмотренного ТУ способа размещения и крепления груза в вагоне.

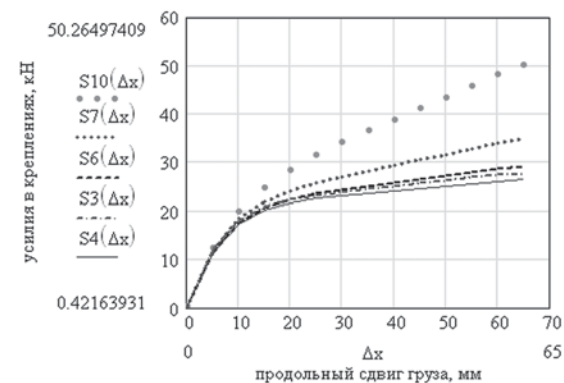


Рисунок 5 — Графические зависимости $S_i = f(\Delta x)$

Анализируя полученные результаты исследований по установлению зависимости $S_i = f(\Delta x)$, также можно отметить, что увеличение значений продольного сдвига груза Δx из-за снижения коэффициента трения, учитывающего климатические условия перевозок, приводит к увеличению натяжений в гибких упругих элементах креплений.



2. Исследование влияние смещений центра масс вдоль вагона на значения натяжений в гибких элементах креплений груза. В результате проведенных исследований по определению натяжений в креплениях груза при $x_m = xM = 228$ мм, когда значения продольного и вертикального переносных ускорений вагона с грузом были равны $a_{ex} = 0.2745g$ и $a_{ez} = 0.46g$, получены следующие данные: $N = 698.61$ — нормальная реакция связи, $F_{тр} = 384.24$ — полная сила трения; координаты точки приложения N в м - $x_c = 4.55$, $x_N = 4.312$ и $y_N = 0$ м; перемещения груза по продольной оси $\Delta x = 29$ мм, перемещение по поперечной оси вагона, а также поворот вокруг вертикальной оси, отсутствуют; натяжений в парных гибких элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси в кН: $-S_4 = S_{14} = 25,14$; $S_3 = S_{13} = 25,75$; $S_6 = S_{16} = 26,18$; $S_7 = S_{17} = 28,34$; $S_{10} = S_{20} = 33,27$.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

А). Результаты исследований показали, что при $xM = 228$ мм величина нормальной реакции связи превышает вес груза в 1.187 раза. В связи с этим больше сила трения между контактирующими поверхностями груза и пола вагона сравнительно с симметричным расположением груза. Из-за этого по идее от действия продольной силы груз должен перемещаться на меньшую величину, чем 41 мм (симметричное расположение груза). В действительности так и происходит - сдвиг груза равен 29 мм. При этом нет поперечного сдвига

Δy и поворота груза вокруг вертикальной оси $\Delta \varphi$, что также соответствует действительности. По этим результатам можно отметить адекватность построенной математической модели.

Б). Результаты исследований также показали, что при $xM = 228$ мм натяжения в парных гибких элементах креплений груза имеют меньшие значения (33,27 кН), чем допустимые (39,2 кН). Это означает, что в этом случае можно повысить нагрузочные способности элементов креплений груза, т. е. они могут воспринимать большие значения продольных сил. Так, например, чтобы натяжения в гибких упругих элементах креплений достигли допустимых значений (39,2 кН) необходимо, чтобы значения продольного ускорения были равны $a_x = 0.329g = 3.227$ м/с², чему соответствует продольная сила $I_{ex} = 193.65$ кН. При этом нормальная реакция связи превышает вес груза в 1.208 раза, а значение продольного сдвига груза достигло 42 мм. Тогда усилия в парных креплениях (в кН) имеют следующие значения: $S_4 = S_{14} = 27,39$; $S_3 = S_{13} = 28,28$; $S_6 = S_{16} = 28,88$; $S_7 = S_{17} = 28,34$; $S_{10} = S_{20} = 39,14$. Значения усилий в гибких элементах креплений 10 и 20 достигли допустимого значения.

В). Рассмотрен случай, когда $xM = 455$ мм (т. е. в 2 раза больше, чем в первом случае) и $a_{ex} = 0.2745g$

м/с². Величина нормальной реакции связи превышает вес груза в 1.2 раза, груз сместился на такую же величину $\Delta x = 21$ мм. Значения натяжений в гибких элементах креплений 10 и 20 оказались равными $S_{10} = S_{20} = 29,56$. Во всех гибких упругих элементах креплений произошло перераспределение натяжений между собой. Смещение центра масс груза вдоль вагона способствует повышению их нагрузочных способностей. В случае, когда $xM = 683$ мм (т. е. в 3 раза больше, чем в первом случае), величина нормальной реакции связи превышает вес груза, так же, как и во втором случае, в 1.181 раза, груз смещен вдоль вагона на $\Delta x = 13$ мм. Значения натяжений в гибких элементах креплений 10 и 20 оказались равными $S_{10} = S_{20} = 25,7$. В случае, когда $xM = 864$ мм (т. е. в 4 раза больше, чем в первом случае), величина нормальной реакции связи превышает вес груза в 1.154 раза, груз смещен вдоль вагона на $\Delta x = 7$ мм, значения усилий в гибких элементах креплений 10 и 20 оказались равными $S_{10} = S_{20} = 23,45$ кН. Полученные результаты исследований подтверждают положительное влияние смещения центра масс вдоль вагона на нагрузочные способности гибких упругих элементов креплений груза.

В результате проведенных исследований установлено, что, размещая груз в вагоне со смещением центра масс вдоль вагона, можно добиться повышения нагрузочной способности гибких упругих элементов креплений. Это объясняется тем, что при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона элементы крепления станут еще более длинными (длинными).

С использованием возможности инструментальной среды MathCAD выполнен регрессионный анализ вычисленных значений натяжений в гибких упругих элементах креплений в зависимости от значений смещения центра масс груза вдоль вагона xM (рис. 6), данные которых можно использовать при разработке не предусмотренного ТУ способа размещения и крепления груза в вагоне.

Анализируя полученные результаты исследований по установлению зависимости $S_i = f(xM)$, можно отметить, что, при одном и том же значений продольных сил ($a_{ex} = 0.2745g$), действующих на механическую систему «вагон – крепление – груз», вариация значений смещения центра масс груза вдоль вагона приводит к снижению усилий в гибких элементах креплений, что позволяет нагружать элементы креплений большими значениями продольных сил, нежели действовавшие. Объясняется это тем, что при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона элементы крепления станут еще более длинными.

Аналогично приведенным выше результатам исследований построены графические зависимости сдвига груза вдоль вагона от значений xM (рис. 7).



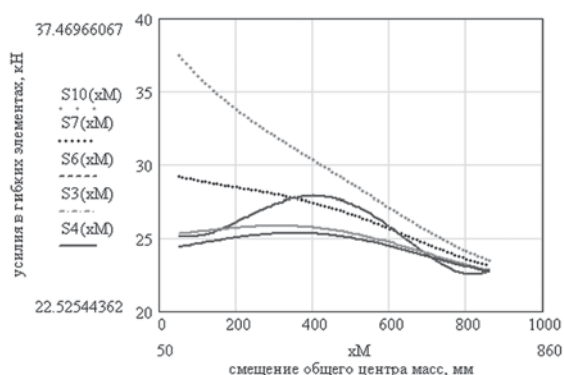


Рисунок 6 — Графические зависимости $S_i = f(xM)$

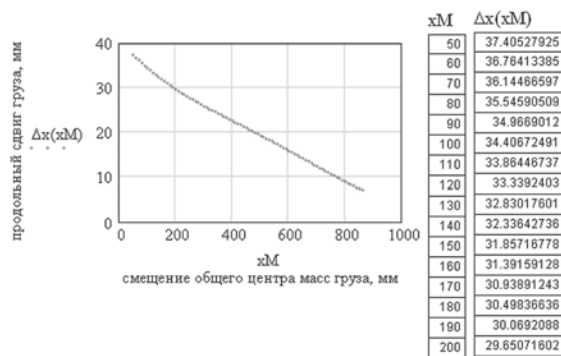


Рисунок 7 — Графические зависимости $\Delta x = f(xM)$

Анализируя полученные результаты исследований по установлению зависимости $\Delta x = f(xM)$, можно отметить, что при одном и том же значении продольной и вертикальной переносных сил инерции (при $a_{ex} = 0.2745g$ и $a_{ez} = 0.46g$), действующих на механическую систему «вагон – крепление – груз», веса груза 60 тс и коэффициента трения сцепления $\mu = 0.55$, увеличение смещения центра масс груза xM приводит к уменьшению сдвига груза вдоль вагона Δx .

Обобщая результаты проведенных исследований, можно отметить, что смещение центра масс груза вдоль вагона приводит к уменьшению сдвига груза вдоль вагона и, как результат, к повышению нагрузочных способностей гибких элементов креплений.

3. Исследование влияния предварительных закруток S_{0i} на значения натяжений в гибких упругих элементах креплений груза. В результате проведенных исследований по определению натяжений в креплениях груза при $xM = 228$ мм получены следующие результаты: нормальная реакция связи превышает вес груза в 1.137 раза; сдвиг груза вдоль вагона 29 мм; натяжения в парных гибких элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси,

в кН: $-S_4 = S_{14} = 21,57$; $S_3 = S_{13} = 29,69$; $S_6 = S_{16} = 20,11$; $S_7 = S_{17} = 25,79$; $S_{10} = S_{20} = 34$.

Анализ полученных данных позволяет отметить, что при вариации значений предварительных закруток в наиболее длинных парных гибких упругих элементах креплений груза 10 и 20 имеют меньшие значения (33.99 кН), чем допустимые (39.2 кН). Это означает, что в этом случае можно повысить нагрузочную способность элементов креплений груза. Так, например, чтобы натяжения в гибких упругих элементах креплений достигли допустимых значений (39.2 кН), необходимо, чтобы значения продольного переносного ускорения были равны $a_{ex} = 0.331g = 3.247$ м/с², чему соответствует продольная переносная сила инерции $I_{ex} = 194.83$ кН. При этом получены следующие значения натяжений в креплениях (в кН): $S_4 = S_{14} = 23,53$; $S_3 = S_{13} = 27,88$; $S_6 = S_{16} = 22,47$; $S_7 = S_{17} = 28,98$; $S_{10} = S_{20} = 39,19$.

Вариация значений предварительных закруток приводит к повышению нагрузочных способностей гибких упругих элементов креплений по причине того, что эти натяжения способствуют большему прижатию груза к полу вагона, как и в п. 4.1.

4. Исследование влияние спуска пути на значения натяжений в гибких упругих элементах креплений груза. Условия проведения экспериментов были такими же, как и в п. 4.3. При этом $xM = 228$ мм, значения спуска пути $\Delta H = 6$ промилле, продольного и вертикального переносных ускорений вагона с грузом были равны $a_{ex} = 0.268g$ и $a_{ez} = 0.46g$. В результате проведенных исследований установлено: нормальная реакция связи превышает вес груза в 1.193 раза; перемещение груза вдоль вагона равно 29 мм, по поперечной оси и поворот вокруг вертикальной оси равны нулю; натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси, в кН: $-S_4 = S_{14} = 25,2$; $S_3 = S_{13} = 25,8$; $S_6 = S_{16} = 26,2$; $S_7 = S_{17} = 28,4$; $S_{10} = S_{20} = 33,6$.

Анализ полученных результатов позволил отметить, что при спуске пути усилия в парных гибких упругих элементах имеют меньшее значение ($S_{10} = S_{20} = 33.6$ кН), чем допустимое (39.2 кН), несмотря на то что продольная составляющая веса груза в этом случае дополнительно нагружает элементы креплений. В этом случае можно повысить нагрузочную способность элементов креплений груза. Так, например, чтобы натяжения в гибких упругих элементах креплений S_{10} и S_{20} достигли допустимых значений (39.2 кН), необходимо, чтобы значения продольного переносного ускорения были равны $a_{ex} = 0.329g = 3.227$ м/с², чему соответствует продольная переносная сила инерции $I_{ex} = 193.65$ кН. В результате проведенных исследований установлено: нормальная реакция связи превышает вес груза в 1.213 раза; перемещение груза вдоль вагона равно 41 мм; сдвиг груза поперек вагона и поворот



груза вокруг вертикальной оси равны нулю; натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси в кН – $S_4 = S_{14} = 27,3$; $S_3 = S_{13} = 28,1$; $S_6 = S_{16} = 28,7$; $S_7 = S_{17} = 31,8$; $S_{10} = S_{20} = 39,16$.

4.1. Исследования также проведены при спуске пути $\Delta H = 0.012$ промилле, значений продольного и вертикального переносного ускорения $a_{ex} = 0.268g$ и $a_{ez} = 0.46g$. В результате установлено: нормальная реакция связи превышает вес груза в 1.194 раза; сдвиг груза вдоль вагона равно 29 мм, по поперечной оси и поворот вокруг вертикальной оси равны нулю; натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси, в кН: $S_4 = S_{14} = 25,3$; $S_3 = S_{13} = 25,9$; $S_6 = S_{16} = 26,3$; $S_7 = S_{17} = 28,6$; $S_{10} = S_{20} = 33,88$. В этом случае можно повысить нагрузочную способность элементов креплений груза. Так, например, чтобы натяжения в гибких упругих элементах креплений S_{10} и S_{20} достигли допустимых значений (39.2 кН), необходимо, чтобы значения продольного переносного ускорения были равны $a_{ex} = 0.323g = 3.169 \text{ м/с}^2$, чему соответствует продольная переносная сила инерции $I_{ex} = 190.12 \text{ кН}$. Натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси, в кН: $S_4 = S_{14} = 27,3$; $S_3 = S_{13} = 28,1$; $S_6 = S_{16} = 28,7$; $S_7 = S_{17} = 31,8$; $S_{10} = S_{20} = 39,16$.

4.2. Спуск пути приняли $\Delta H = 18$ промилле, а значения продольного и вертикального переносных ускорений $a_{ex} = 0.268g$ и $a_{ez} = 0.46g$. При этом сдвиг груза вдоль вагона равен 30 мм, а натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси, в кН, равны $S_4 = S_{14} = 24,5$; $S_3 = S_{13} = 26,1$; $S_6 = S_{16} = 26,5$; $S_7 = S_{17} = 28,8$; $S_{10} = S_{20} = 34,32$. Для того чтобы натяжения в гибких упругих элементах креплений S_{10} и S_{20} достигли допустимых значений (39.2 кН) необходимо, чтобы значения продольного переносного ускорения были равны $a_{ex} = 0.317g = 3.11 \text{ м/с}^2$, чему соответствует продольная переносная сила инерции $I_{ex} = 186.5 \text{ кН}$. Натяжения в гибких упругих элементах креплений, работающих на растяжение по продольной оси, в кН – $S_4 = S_{14} = 27,3$; $S_3 = S_{13} = 28,1$; $S_6 = S_{16} = 28,7$; $S_7 = S_{17} = 31,8$; $S_{10} = S_{20} = 39,16$.

Анализируя проведенные исследования, можно отметить, что при постоянном значений смещения центра масс груза вдоль вагона увеличение спуска пути с 6 до 18 промилле в целом приводит к повышению нагрузочных способностей гибких упругих элементов креплений, но с некоторым уменьшением таких способностей этих элементов креплений, например, от 1.23 (0.329g:0.268g) до 1.18 (0.329g:0.268g) раза. При этом проведенными исследованиями также установлено, что смещение центра масс груза вдоль вагона оказывает прева-

люющее влияние на нагрузочные способности гибких элементов креплений, нежели спуск пути.

В результате проведенных исследований по определению натяжений в гибких упругих элементах креплений при движении поезда по прямому участку пути на спуск установлено:

с увеличением спуска пути понижаются нагрузочные способности гибких упругих элементов креплений груза, поскольку заметное влияние оказывает составляющая веса груза, которая совместно с продольной переносной силой инерции дополнительно нагружает элементы креплений;

на нагрузочные способности гибких элементов креплений груза преваляющее влияние оказывают значения смещений центра масс груза вдоль вагона, нежели спуск пути, поскольку при этом элементы креплений станут еще более длинными.

ВЫВОДЫ

1. Построенная математическая модель креплений размещенного со смещением центра масс груза вдоль вагона при воздействии продольных и вертикальных сил в виде математических выражений, полученных в результате решения статически неопределенной задачи, позволила непосредственно определять перемещения и усилия гибких элементов креплений груза при движении подвижного состава по прямому участку пути.

2. Программа расчета на ЭВМ, разработанная на основе обобщенной математической модели груза со смещением центра масс с использованием метода итерации, дала возможность непосредственно определить неизвестные параметры системы «вагон—крепление—груз» с учетом физико-геометрических и силовых параметров креплений при действии внешних сил, имитирующих реальные условия движения поезда по прямому участку пути.

3. Результаты вычислительных экспериментов дали возможность отметить, что при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона при действии на систему «вагон—крепление—груз» продольных и вертикальных сил при движении поезда по прямому участку пути:

увеличение смещения центра масс груза вдоль вагона приводит к уменьшению продольного сдвига груза и, как результат, к повышению нагрузочных способностей гибких элементов креплений. Это объясняется тем, что при размещении груза со смещением центра масс элементы креплений станут еще более пологими (длинными);

с увеличением спуска пути понижаются нагрузочные способности элементов креплений, поскольку заметное влияние оказывает составля-





щая веса груза, которая совместно с продольной переносной силой инерции дополнительно нагружает элементы креплений. Поэтому при разработке НТУ схем размещения и крепления груза обязателен расчет натяжений в гибких упругих элементах креплений с учетом спуска пути;

на нагрузочные способности элементов креплений груза превалирующее влияние оказывают значения смещений центра масс, нежели спуск пути, поскольку при этом элементы креплений станут еще более пологими.

4. Обобщая результаты этих исследований, можно сделать важный для практического использования вывод:

при разработке способа размещения и крепления груза в вагоне от действий продольных сил следует особо обратить внимание на то, что

те гибкие элементы креплений, которые имеют меньший угол наклона относительно горизонтальной плоскости (т. е. пола вагона), обладают большей нагрузочной способностью, нежели те, которые имеют больший угол наклона. В связи с этим можно отметить, что более пологие гибкие упругие элементы креплений при действии на них продольных сил обладают большими нагрузочными способностями, и они работают лучше;

для удержания груза от сдвигов в продольном и поперечном направлениях в схеме размещения и крепления груза следует использовать гибкие упругие элементы креплений, которые имеют и больший, и меньший угол наклона относительно горизонтальной плоскости (т.е. пола вагона) в соотношении не менее чем 1:2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туранов Х.Т. Теоретическая механика. Грузовые перевозки. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — 453 с.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. — М.: Транспорт, 1991. — 360 с.
3. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н. Теоретическая механика в задачах погрузки-выгрузки и перевозки грузов в вагонах. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — 453 с.
4. Туранов Х.Т., Ситников С.А., Рыков А.Л. Моделирование натяжений в гибких элементах креплений негабаритного груза при движении поезда по кривому участку пути // Наука и техника транспорта, — 2007. — № 1. — С. 97 — 104.
5. Программа для ЭВМ «Расчет параметров гибких элементов креплений по допускаемым значениям перемещений груза вдоль и поперек вагона и по принятым значениям количества креплений в зависимости от веса груза» в Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, вх. №2006613890 от 13.11.2006 / Туранов Х.Т., Ситников С.А., Рыков А.Л., Волков Д.В.
6. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н., Власова Н.В. Крепления грузов в вагонах. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — 286 с.

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВЕДЕНИЕМ ПОЕЗДА И РАБОТЕ С УСТРОЙСТВАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассмотрены принципы построения основанной на использовании нечеткой логики системы поддержки принятия решений, используемой для формирования рекомендаций по управлению ведением поезда и работе с устройствами обеспечения безопасности при возникновении различных стандартных и нестандартных ситуаций. Обосновывается целесообразность использования разработанной системы в процессе обучения и при оценке уровня подготовки локомотивных бригад.

Обеспечение безопасности движения поездов по-прежнему остается одной из важнейших задач, решение которой является неотъемлемым условием эффективного функционирования железнодорожного транспорта. С целью повышения безопасности движения поездов при наиболее полном использовании пропускной способности железных дорог широко внедряются современные, качественно новые системы автоматической блокировки, локомотивной сигнализации, электрической централизации, диспетчерской централизации и диспетчерского контроля. Большинство курсирующих по железным дорогам Российской Федерации локомотивов также оборудованы современными системами и устройствами обеспечения безопасности. К числу таких систем относятся: различные виды автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), система автоматического управления торможением (САУТ), телемеханическая система контроля бодрствования машиниста (ТС КБМ), комплексные локомотивные устройства безопасности (КЛУБ), бортовая комплексная система диагностики (КСДБ) и многие другие.

Применение данных систем позволяет увеличить пропускную способность железнодорожных участков, повысить безопасность движения поездов, улучшить условия труда локомотивных бригад. Однако для работы с данными устройствами требуются определенные навыки, отсутствие которых является одной из основных причин ежегодно фиксируемого на сети железных дорог РФ большого количества случаев различных отказов, устанавливаемых на локомотивах устройств обеспечения безопасности.

Нарушения в работе устройств обеспечения безопасности тормозного оборудования, а также неквалифицированные действия локомотивной бригады в сложившейся ситуации приводят к нерациональному режиму ведения поезда, экстренному торможению, незапланированным остановкам, нарушению графика движения поездов и исчисляемым миллионами рублей

экономическим потерям. В отдельных случаях по причине неквалифицированных действий машиниста в сложившейся ситуации может произойти проезд на запрещающее показание светофора или обрыв поезда со всеми вытекающими отсюда последствиями. Последнее особенно актуально при низких температурах и вождении поездов повышенной массы и длины на участках со сложным перевальным профилем.

Очевидно, что обеспечение безопасности движения поездов по-прежнему остается одной из важнейших задач железнодорожного транспорта. Безопасность обеспечивается путем постоянного осуществления целого комплекса профилактических мер, одной из которых является организация технического обучения кадров, повышение их квалификации, отработка практических навыков действия в различных сложившихся ситуациях.

Вождение поездов является одним из наиболее ответственных звеньев перевозочного процесса. Сокращение межпоездного интервала, возросшие мощности тягового подвижного состава, увеличение скорости следования, веса и длины поездов требуют от машиниста постоянного внимания и быстрой реакции на изменение ситуации в условиях действия большого числа различных возмущающих факторов. Устанавливаемые на локомотиве приборы и системы обеспечения безопасности также повышают требования к знаниям, навыкам и оперативности действий машиниста при принятии всесторонне обоснованных решений по управлению поездом. Поэтому решение задачи обеспечения качественной профессиональной подготовки и переподготовки машинистов сегодня особенно актуально.

Получение только теоретических знаний, без закрепления их на практике, не обеспечивает формирования у обучаемых навыков оперативного принятия решений при возникновении сложных нестандартных ситуаций. Отсутствие же таких навыков неминуемо приводит к неправильным действиям, большому числу



брака в работе и, как следствие, к существенному снижению безопасности движения поездов.

Приобретение практических навыков при поездках с инструктором также не всегда приводит к желаемому результату. Этому способствует наличие определенных ограничений на право передачи помощнику управления локомотивом, а также невозможность воссоздания перед обучаемым без снижения условий безопасности, нарушения графика и огромных экономических затрат всего многообразия стандартных и нестандартных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе ведения поезда.

Выходом из сложившейся ситуации является создание программно-аппаратных обучающих комплексов. Целесообразность широкого использования тренажеров при подготовке машинистов была признана еще в 80-х гг. прошлого столетия. Этому способствовали снижение стоимости компьютерного обеспечения, а также значительный прогресс в развитии видеосистем, с помощью которых стало возможным создание тренажеров нового поколения с существенно более реалистичной визуальной обстановкой. Уже первый опыт использования тренажеров подтвердил их высокую эффективность и другие преимущества перед традиционными способами обучения машинистов. Тренажеры стали основным учебно-тренировочным средством аттестации, профотбора, профессиональной подготовки и переподготовки машинистов. Десятки фирм проектируют и изготавливают тренажеры вождения поездов. В настоящее время на вооружении ОАО «РЖД» находится несколько разновидностей, разработанных различными научно-исследовательскими и конструкторскими структурами тренажерных комплексов, которыми уже оборудованы учебные классы многих локомотивных депо.

Использование компьютерных тренажеров в процессе обучения требует от машиниста-инструктора очень высокой квалификации, наличия разносторонних теоретических знаний, опыта и навыков по управлению поездом. На машиниста-инструктора возлагаются дополнительные функции контроля правильности действий и помощи при принятии обучаемым решений в создаваемых тренажером различных ситуациях. Однако, попав в экстремальную ситуацию, не имея достаточно времени для оценки обстановки и прогнозирования дальнейшего развития событий, даже опытные машинисты не всегда принимают правильные, всесторонне обоснованные решения. Кроме того, далеко не все машинисты-инструкторы обладают требуемыми педагогическими способностями, позволяющими донести до обучаемого необходимые знания и навыки по рациональному ведению поезда.

Учитывая вышеизложенное, представляется обоснованным и целесообразным включение в состав тренажерных комплексов специальных систем под-

держки принятия решений (СППР). Данные системы позволяют накапливать, систематизировать и формализовывать знания и опыт большого числа выступающих в роли экспертов машинистов-инструкторов, оказывать неоценимую помощь в вопросах подготовки и переподготовки локомотивных бригад, обучать рациональным способам вождения поездов. Особо следует отметить тот факт, что использование СППР дает возможность не только научить машиниста оперативным и безошибочным действиям по выходу из различных экстремальных ситуаций с наименьшими потерями, но и формирует у обучаемого умения сопоставлять факты, думать и делать все возможное, чтобы не попасть в опасную ситуацию.

Используемая в составе тренажерного комплекса СППР позволяет решать целый ряд задач, основными из которых являются:

1. *Обучение локомотивных бригад на основе формируемых системой в реальном масштабе времени советов и рекомендаций по рациональным, ресурсосберегающим способам вождения поездов в различных условиях; оперативному принятию обоснованных решений по управлению поездом в различных ситуациях; исключению экстремальных ситуаций; выходу из нештатных ситуаций; навыкам работы на новых локомотивах, с новым локомотивным оборудованием, устройствами и системами обеспечения безопасности.*

2. *Повышение квалификации машинистов, осуществляемое путем формирования СППР советов и рекомендаций только в случае неправильного принятия решения по управлению поездом.*

3. *Оценка уровня подготовки локомотивных бригад путем сопоставления решений, принимаемых в различных ситуациях СППР и экзаменуемым машинистом.*

4. *Анализ ошибок, допущенных машинистом во время имитационных поездок на тренажере.*

При вождении поездов особое внимание уделяется технологии трогания с места, ведению поезда по элементам профиля пути без превышения нормативов по продольно-динамическим усилиям и токовым нагрузкам, управлению тормозным оборудованием, обеспечивающему движение без оттяжек и набегов вагонов. От оперативности и обоснованности принимаемых машинистом решений зависит не только качество управления поездом, но и безопасность движения на железнодорожном участке.

Рассматривая процесс управления ведением поезда, можно выделить ряд этапов, каждый из которых характеризуется определенным набором решаемых машинистом задач и необходимостью учета свойств данному этапу факторов риска. Основными из таких этапов являются: полное опробование тормозов, режим трогания поезда, разгон поезда и под-





держание требуемой скорости движения в режиме тяги, поддержание заданного ограничения скорости на затяжных уклонах, прицельное торможение поезда [1]. Кроме того, на любом этапе ведения поезда машинист должен выбирать управление, исключаящее или снижающее до минимума факторы риска обрыва состава и незапланированного торможения поезда, а также грамотно реагировать на все сигналы, подаваемые установленными на локомотиве устройствами и системами обеспечения безопасности.

С учетом изложенного в работе СППР также целесообразно выделить ряд этапов, соответствующих определенным, рассмотренным выше режимам ведения поезда и решаемым задачам. Для формирования выводов и предлагаемых машинистам рекомендаций по решению каждого класса задач в состав системы включены определенные модули.

Разработанная СППР строится по модульному принципу с открытой архитектурой, обеспечивающей возможность изменения конфигурации системы, а также вида и числа входящих в ее состав модулей. Методологию построения системы и ее функционирование в процессе ведения поезда поясняет рис. 1.

База знаний СППР обеспечивает систематизацию и хранение в формализованном виде знаний специалистов в предметной области. Формирование базы знаний производится на основе информации, получаемой от выступающих в роли экспертов машинистов-инструкторов. С использованием базы знаний и поступающей от базы имитационных моделей тренажерного комплекса информации осуществляется выбор модуля, непосредственно участвующего в поиске обоснованного решения и формировании логического вывода для задачи, стоящей перед СППР и машинистом на данном этапе ведения поезда. Анализ решаемых машинистом, а следовательно, возлагаемых на СППР задач с точки зрения возможности их формализации показал, что некоторые из этих задач могут быть достаточно четко формализованы с использованием правил продукционного типа и семантических сетей.

Однако большинство задач относится к слабоструктурированным и плохо поддается формализации. Для решения таких задач предлагается использовать включенные в структуру СППР специальные модули, функционирующие на основе математического аппарата нечеткой логики. Каждый из таких модулей ориентирован на решение определенного класса задач. Модуль непрерывно считывает с тренажерного комплекса ряд параметров, необходимых для формирования и вывода рекомендаций по управлению поездом в одном из режимов его ведения. Каждый из параметров подвергается операции фазификации, предусматривающей преобразование приведенных к универсальной шкале реальных значений физических переменных в

соответствующие им категории нечетких множеств. Далее на основе хранящейся в базе знаний системы нечетких правил определяется степень принадлежности имеющей место нечеткой ситуации каждому элементу терм-множества, используемого при формировании решения. Модуль дефазификации преобразует нечеткое качественное значение лингвистической переменной в четкое количественное значение, непосредственно используемое при формировании рекомендаций по управлению поездом.

При имитации поездки на тренажере СППР постоянно осуществляет:

формирование нечеткой ситуации, соответствующей получаемой от имитационных моделей и устройств управления поездом информации;

поиск в базе знаний соответствующей данной ситуации системы правил, используемых для принятия решения;

вывод на основе нечеткой логики и формализацию принимаемого в данной ситуации решения;

регистрацию и отображение обучаемому предлагаемого решения.

В качестве примера рассмотрим функционирование fuzzy logic алгоритма при формировании рекомендаций по управлению ведением поезда в режиме прицельного торможения. Обозначим $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – множество параметров, учитываемых соответствующим модулем (см. рис. 1) при формировании рекомендаций по выбору управления. На основании рекомендаций выступающих в роли экспертов машинистов-инструкторов при принятии решения в рассматриваемом режиме в качестве основных, целесообразно учитывать такие параметры, как X_1 – уклон продольного профиля земляного полотна; X_2 – рассогласование допустимой, рассчитываемой в соответствии с тормозной кривой, и фактической скорости движения поезда; X_3 – вес поезда; X_4 – тормозная оснащенность состава.

В соответствии с математическим аппаратом нечеткой логики, для описания каждого значения параметра $X_i (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$ используется соответствующая лингвистическая переменная $\langle X_i, T_i, \beta_i \rangle$, где $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_n^i\}$ – терм-множество лингвистической переменной, описывающей параметр X_i ; β_i – базовое множество данного параметра.

В рассматриваемом модуле для режима прицельного торможения параметры $X_1 - X_4$ описываются с использованием представленных на рис. 2 соответствующих терм-множеств лингвистических переменных

$T_1 = \{\text{“Отрицательный большой”}, \text{“Отрицательный малый”}, \text{“Нулевой”}, \text{“Положительный малый”}, \text{“Положительный большой”}\};$

$T_2 = \{\text{“Малое”}, \text{“Среднее”}, \text{“Большое”}, \text{“Очень большое”}\};$



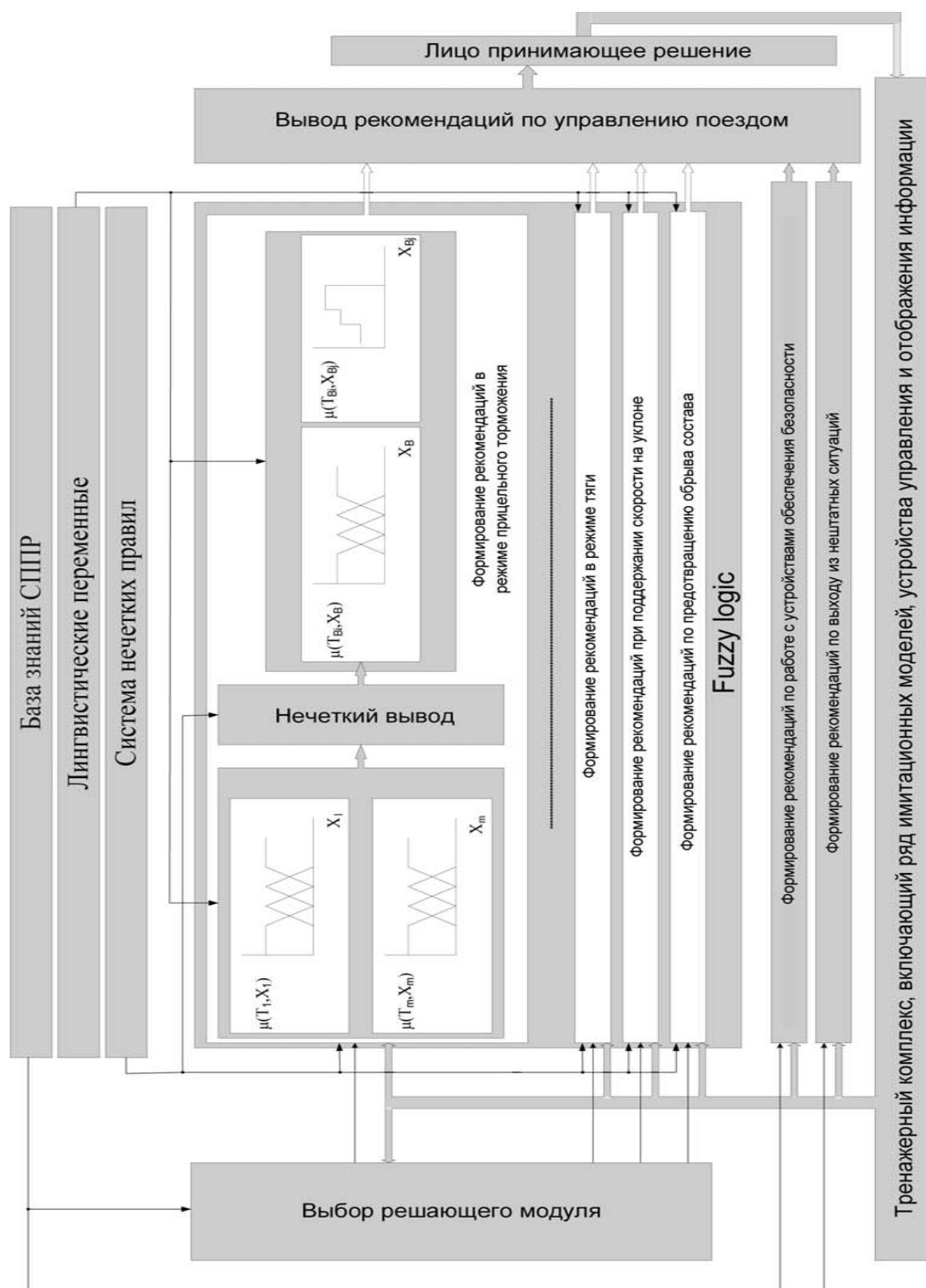


Рисунок 1 — Архитектура системы поддержки принятия решений по управлению ведением поезда



$T_3 = \{\text{"Очень легкий", "Легкий", "Средний", "Тяжелый"}\};$

$T_4 = \{\text{"Малая", "Средняя", "Высокая"}\}.$

Все возможные значения параметра X_5 , используемого для формирования выдаваемых машинисту рекомендаций по управлению поездом, могут быть описаны терм-множеством T_5 (см. рис. 2) лингвистической переменной, определяющей величину снижения давления в уравнительном резервуаре.

$T_5 = \{\text{"Выбер", "Первая ступень торможения", "Вторая ступень торможения", "Третья ступень торможения", "Полное служебное торможение", "Экстренное торможение"}\}.$

Имеющее место для каждого конкретного случая сочетание параметров $X_1 - X_4$ представляет собой так называемую нечеткую ситуацию [2], определяемую в соответствии с выражением

$$\tilde{S} = \{ \langle \mu_{T_1}^j(X_1)/T_1^j \rangle - \text{"Уклон профиля"}, \langle \mu_{T_2}^j(X_2)/T_2^j \rangle - \text{"Рассогласование по скорости"}, \langle \mu_{T_3}^j(X_3)/T_3^j \rangle - \text{"Вес поезда"}, \langle \mu_{T_4}^j(X_4)/T_4^j \rangle - \text{"Тормозная оснащённость состава"} \},$$

где $\mu_{T_i}^j(X_i)$ – степень принадлежности параметра X_i каждому J -му нечеткому множеству, описываемому терм-множеством T_i .

Несмотря на бесконечное множество нечетких ситуаций, все они могут быть сведены к конечному множеству так называемых типовых ситуаций, встречающихся при управлении поездом. В рассматриваемом случае (см. рис. 2) количество таких ситуаций составляет $5 * 4 * 4 * 3 = 240$. Для формирования рекомендаций по управлению поездом в каждой типовой ситуации используется система правил нечеткого вывода вида:

1. $\langle T_1 \text{ "Нулевой"} \rangle \& \langle T_2 \text{ "Средние"} \rangle \& \langle T_3 \text{ "Тяжелый"} \rangle \& \langle T_4 \text{ "Высокая"} \rangle \rightarrow T_5 \text{ "Первая ступень торможения"}.$

2. $\langle T_1 \text{ "Нулевой"} \rangle \& \langle T_2 \text{ "Средние"} \rangle \& \langle T_3 \text{ "Тяжелый"} \rangle \& \langle T_4 \text{ "Средняя"} \rangle \rightarrow T_5 \text{ "Вторая ступень торможения"}.$

3. $\langle T_1 \text{ "Нулевой"} \rangle \& \langle T_2 \text{ "Большое"} \rangle \& \langle T_3 \text{ "Очень легкий"} \rangle \& \langle T_4 \text{ "Малая"} \rangle \rightarrow T_5 \text{ "Выбер"}.$

Формирование правил осуществлялось на основе формализации знаний опытных машинистов, выступающих в роли экспертов. Проведенный анализ позволил объединить ряд близких по совокупности и значению параметров ситуаций, что существенно сократило количество правил, используемых при принятии решений.

Хранящаяся в базе знаний система правил определяет принадлежность рассматриваемой ситуации к каждому элементу T_5 терм-

множества, используемого при формировании решения. Результирующее значение параметра X_5 находится на основе выполнения операции дефазификации. В зависимости от решаемой системой и машинистом задачи данное значение может выводиться обучаемому как рекомендуемое управляющее воздействие либо предоставляться ему после предварительного преобразования в формируемое соответствующим модулем СППР значение лингвистической переменной. Аналогично рассмотренной методике решается задача выбора рационального управления поездом и при других анализируемых СППР режимах его ведения, а также задача выбора управления, исключающего или снижающего до минимума риск обрыва состава при движении по переменному профилю.

В состав СППР также входят модули, обеспечивающие принятие решений по выходу из нештатной ситуации и взаимодействию машиниста с системами обеспечения безопасности (см. рис. 1). Формирование соответствующих рекомендаций осуществляется путем поиска возникшей ситуации в базе знаний. Информация о правильных действиях в нештатной ситуации и ситуациях, возникающих при функционировании систем безопасности, была получена от опытных машинистов и машинистов-инструкторов локомотивных бригад. Для структурирования и формализации данной информации в базе знаний использованы правила продукционного типа и семантические сети. Лежащий в основе семантической сети концептуальный граф позволяет не только наглядно представить возникшую ситуацию, но и определить путь выхода из данной ситуации. Поиск выхода из сложившейся ситуации осуществляется путем построения СППР маршрута до ближайшего, соответствующего стандартной ситуации узла графа. Выбор маршрута производится с учетом его длины и веса входящих в него ребер графа.

Система поддержки принятия решений также может использоваться при разборе совершенных в процессе тренировочной поездки ошибок, анализе правильности поведения машиниста и обоснованности принимаемых им решений в различных ситуациях. Хранящаяся в базе знаний информация позволяет возложить на СППР функции адаптивной системы тестирования знаний. Данный режим работы системы может использоваться для оценки уровня теоретической подготовки машиниста, знания им соответствующих нормативных документов, инструкций и локомотивного оборудования.



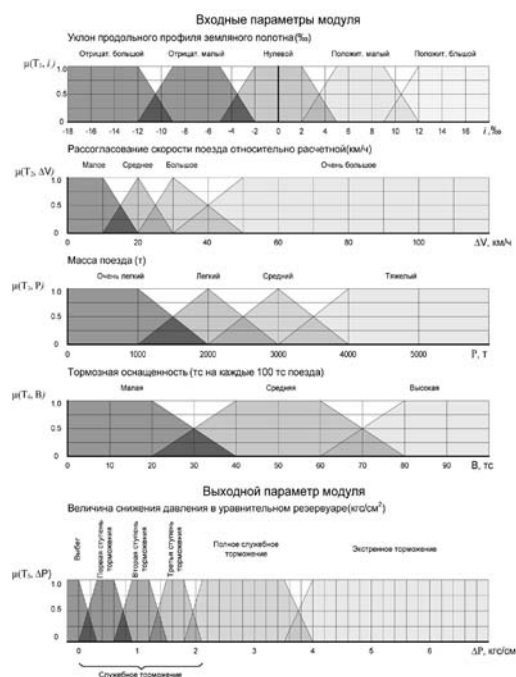


Рисунок 2 — Задание функций отображения и степени принадлежности терм-множеств различным значениям переменных для модуля формирования рекомендаций в режиме прицельного торможения

Изложенное выше позволяет сформулировать следующие выводы-

1. В состав программноаппаратных обучающих комплексов для подготовки машинистов целесообразно включать специально разработанные системы поддержки принятия решений по управлению поездом, работе с локомотивным оборудованием и устройствами обеспечения безопасности.

2. Системы поддержки принятия решений могут успешно использоваться при обучении, повышении квалификации, оценке уровня подготовки и анализе обоснованности решений, принимаемых машинистами в различных ситуациях.

3. Слабая структурированность решаемых машинистом задач, большое количество возникающих при управлении поездом ситуаций, наличие человеческого фактора, целесообразность формирования рекомендаций в понятной для обучаемого лингвистической терминологии, обосновывают необходимость построения СППР с использованием математического аппарата нечеткой логики.

4. Применение СППР позволит существенно снизить затраты времени и средств на обучение и повышение квалификации машинистов, уменьшить число брака в локомотивном хозяйстве, сократить финансовые потери от простоя и задержки составов и повысить безопасность движения поездов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Удальцов А. Б. Предупреди обрыв грузового поезда, машинист! // Локомотив. – 2007. – № 1. – С. 4245.
2. Мелихов, А.Н. Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СИМУЛЯТОРОВ ФИРМЫ MICROSOFT

Статья посвящена моделированию тренажеров воздушных судов в программном продукте Microsoft Flight Simulator. Достоинством симулятора является открытый программный код, обеспечивающий возможности внедрения детализированных трехмерных моделей, модификации приборов, кабины и аэродинамики летательных аппаратов. Нами в соответствии с руководством по летной эксплуатации (РЛЭ) была разработана и опробована для обучения пилотов-любителей и курсантов модель учебно-тренировочного самолета Як-52.

По статистике причиной авиационных происшествий в нашей стране в абсолютном большинстве случаев является человеческий фактор. Это вызвано, в частности, дороговизной тренировочных полетов, не позволяющей курсантам и пилотам-стажерам в достаточной мере отработать технику пилотирования самолета в сложных метеоусловиях и довести до автоматизма действия в аварийных и нештатных ситуациях. Подготовка кадров для летных училищ сейчас осуществляется за счет ничтожных средств, выделяемых государством, и доли финансирования со стороны малочисленного контингента обучающихся пилотов-любителей.

Оценка квалификации действий членов экипажа по данным бортовых самописцев выполняется лишь при расследовании происшествий или в редких выборочных случаях. Ряд летательных аппаратов такими самописцами вообще не комплектуются. Для сравнения: на железнодорожном транспорте данные самописцев расшифровываются после каждого рейса.

В связи с этим профессиональные пилоты проходят квалификационные испытания на специализированных дорогостоящих тренажерах. Такие тренажеры применяются и в учебном процессе при подготовке курсантов некоторых военных и гражданских авиационных училищ, но по причине малой доступности и распространенности вообще не используются для подготовки и оценки квалификации летчиков других категорий, например пилотов-любителей.

Обоснование актуальности темы. Проблема доступности авиатренажера для широкого круга пилотов может быть решена созданием специального, относительно недорогого программного модуля, использование которого возможно на персональном компьютере (ПК). Комплект включает в себя: ПК с улучшенными графическими возможностями, аудиосистему, качественные джойстики малого шага управления штур-

валом, тягой, педалями, с другими программируемыми возможностями, программу-тренажер.

Главное требование – программа должна не только качественно управляться, но и накапливать в процессе взаимодействия с человеком сведения о сильных и слабых сторонах его действий [1]. Создать такой тренажер возможно на базе Microsoft Flight Simulator (MSFS). Симулятор разрабатывался в начале 90-х гг. с целью предполетной подготовки штурманов и пилотов в США. Позже программа стала доступна во всем мире. Симулятор способен дополняться различными моделями самолетов. К сожалению, на данный момент времени ни одна отечественная и зарубежная модель, созданная энтузиастами для MSFS, так и не соответствует в полной мере характеристикам своего реального прототипа.

Цель работы в соответствии с руководством по летной эксплуатации (РЛЭ) — создать максимально реалистичный тренажер самого распространенного учебно-тренировочного самолета Як-52 [2].

Самолеты этого типа используются для первоначального обучения в большинстве аэроклубов и в летных училищах. Поэтому использование данной модели в учебном процессе позволит значительно снизить затраты материально-технических и людских ресурсов, а главное, отработать навыки управления самолетом в любых метеоусловиях и аварийных ситуациях.

Новизна работы в создании и внедрении информационной модели в учебный процесс, подобной которой до настоящего времени не имелось ни в одном летном училище или аэроклубе.

В модели использованы информационные графические материалы, закупленные нами на сервере www.simmarket.com. Мы не претендуем на авторство визуальных компонентов модели, так как решали совсем другие задачи — программирование в соответствии с РЛЭ аэродинамики Як-52, настройку



алгоритмов работы приборов, двигателя, элементов управления кабины самолета.

Возможности авиасимулятора для методики обучения. Существует множество программных продуктов различных фирм, называемых авиационными симуляторами. Мы выбрали симулятор фирмы Microsoft, потому что он является лидирующим по целому ряду параметров.

Во-первых, возможности моделирования и максимальной детализации рабочих мест всех членов экипажа воздушного судна: бортинженера, штурмана, командира. Возможность программной реализации работы и связей между всеми элементами.

Во-вторых, возможность обучения процессу предполетного осмотра летательного аппарата и предполетного контроля его систем в соответствии с реальными РЛЭ и картой проверки.

В-третьих, возможность настройки аэродинамики конкретной модели самолета в соответствии с РЛЭ, программирования алгоритмов работы датчиков, приборов, режимов двигателя, температурных характеристик, настройки алгоритмов системы отказов, аварийных ситуаций, анализ событий, приводящих к разрушению конструкции.

В-четвертых, с помощью специального редактора можно создать модель местности, например, конкретный аэродром с учетом географических координат, реальным подъемом над уровнем моря, ориентацией всех взлетно-посадочных полос (ВПП), рулежных дорожек, стоянок, наземных сооружений и т.д. Процесс моделирования местности позволяет устанавливать необходимые маяки радиолокационной системы ближней навигации (РСБН), дальнего и ближнего приводов, системы слепой посадки, работающие на реальных или вымышленных частотах, организовать радиообмен с диспетчером. Навигационное оборудование модели успешно взаимодействует с наземными объектами.

В-пятых, многофункциональная настройка метеословий и времени. Программа определяет точное местоположение солнца, луны, звезд в ночное время, их склонение на любой географической широте на любой момент времени, даже за годы прошлого столетия. Погода различна по всему миру и настраивается по всем необходимым для учета погодным параметрам: векторам ветров на разных высотах, характеру турбулентности, температуре, точке конденсации, давлению, типу облаков на разных высотах и обилию осадков, степени облачности, видимости. Через сервер Интернета, специально поддерживающий программный продукт, имеется возможность моделирования реально существующей метеорологической обстановки по трассе полета, изменяющейся в режиме реального времени.

И в-шестых, программа способна накапливать подробную информацию о ситуации на борту воздушного судна в любой момент времени на протяжении всех

этапов полета. Фиксируются в графическом представлении и числовыми данными координаты, ориентация самолета в пространстве, высота, векторы скоростей. При желании можно использовать функцию видеозаписи полета. Особенно полезен анализ видеозаписей техники выполнения взлетов и посадок.

Таким образом, ошибки пилота на любых этапах полета могут быть своевременно выявлены и проанализированы с целью выработки плана дальнейшего индивидуального обучения.

Моделирование воздушного судна в симуляторе фирмы Microsoft. Структура модели. Модель самолета состоит из следующих компонентов: экстерьер – трехмерная визуальная модель, интерьер – кабина пилота и рабочие места других членов экипажа, динамика – алгоритм, определяющий управляемость и поведение модели.

1. Трехмерная модель. Модель пропорционально строится в конструкторской системе **GMax** или **3DMax**. Подобные программы используются в различных отраслях для моделирования объемных деталей, компоновки из них машин и подвижных механизмов. Специалисты, работающие с такими программами, должны обладать навыками как в области инженерной графики, так и программирования. При создании модели самолета необходимо организовать связи между подвижными элементами: рулями, элеронами, закрылками, шасси с закрепленными за ними на клавиатуре или джойстике командами управления.

2. Кабина. Текстуры для раскраски модели редактируются средствами графических редакторов, например, **Adobe PhotoShop**, **CorelDraw**, **Corel PhotoPaint**. Редактор применяется в части работы по моделированию панелей и приборов рабочих мест членов экипажа. Текстовыми редакторами создаются программные файлы, управляющие работой элементов кабины. Одни файлы описывают расположение приборов на соответствующих графических панелях, другие содержат более сложные алгоритмы их работы. Элементы кабины находятся в прямой и обратной связи с динамикой модели.

3. Динамика. Уравнения движения конкретного самолета описываются формулами на основании физических законов. Каждая реальная модель обладает определенными аэродинамическими свойствами, рассчитанными конструкторским бюро. Компьютерная модель обязана проявлять себя соответственно ее прототипу.

Рассмотрев структуру файлов, ответственных за аэродинамику самолетов в MSFS, мы сделали предположение: возможно, файлы динамики являются продуктом специальной системы автоматизированного проектирования (САПР), которая не распространяется фирмой и недоступна для внештатных (посторонних) конструкторов-программистов. Такое предположение





основывается на содержащейся в файлах подробнейшей информации о каждом элементе конструкции самолета.

Вряд ли ради нескольких встроенных в MSFS упрощенных моделей самолетов Microsoft стала бы уделять вопросам динамики такое особое внимание. САПР летательных аппаратов со всеми возможностями исследования, созданный фирмой Microsoft, применяется профессиональными конструкторами с производственными целями, а доступный во всем мире программный продукт MSFS можно считать одной из ветвей программного комплекса.

Сложности моделирования аэродинамики. Сложность заключается не только в математическом аппарате, но еще и в том, что фирма Microsoft не создала описания файлов, ответственных за динамику летательного аппарата, и методов модернизации каких-либо аэродинамических характеристик. Поэтому анализ и программирование файлов динамики является самой сложной и малоисследованной проблемой.

Другой тип затруднений связан с пониманием и расшифровкой директив файлов. Используются сложно интерпретируемые специальные термины в сокращенном и аббревиатурном виде на английском языке.

Требуется перевод числовых значений размеров – в футы, скоростей – в мили в час, температур – в шкалу Фаренгейта, емкостей – в галлоны, давления наддува в дюйм на мм рт. ст. и т.д. Значения многих характеристик, например: устойчивости к перегрузкам, темпов нагрева и охлаждения элементов топливной системы и двигателя — представлены коэффициентами в виде многозначных десятичных дробей и служат, скорее всего, для подстройки динамики модели к работе в среде симулятора. Программирование здесь возможно только экспериментальным методом. После изменения какого-либо значения требуются испытания компьютерной модели.

Файлы динамики редактируются специальными средствами: текстовым редактором — файлы конфигурации *.cfg (знак «*» означает любой файл с таким расширением), а специальными программами с возможностями компиляции **AirEd (Aircraft Editor** – редактор самолета) и **AAM (Aircraft Airfile Manager – управление файлом динамики самолета)** редактируются файлы динамики *.air. Пока до конца неясно, зачем программисты Microsoft разбили динамику по разным файлам.

Наше исследование предполагает, что разделение произведено не по техническому, а по логически систематизирующему принципу. Возможно файлы *.air содержат силовые характеристики, генерируемые моделью — «исходящие изнутри»: характеристики мощностей двигателя в виде графических зависимостей от оборотов, высоты, температурные режимы и сотни

других. Файлы конфигурации *.cfg содержат данные, при изменении которых изменяются и силы, действующие на самолет со стороны воздушных потоков, т. е. «снаружи»: это площади крыльев, рулей и закрылок. Многое здесь логике не поддается. Так, например, в обоих файлах заложены данные о топливной системе, свойствах воздушного винта, имеются пересечения характеристик двигателя, данные вращающих, кренящих моментов и другие.

Изменение параметров может и не повлиять на изменения в динамике. Например, вследствие какой-то ошибки топливо расходуется только из одного бака. Изменение в файле *.cfg в строке автоматического смешения топлива «Fuel Auto Mixture = 0» логического «0» «ложь» на «1» «истина» не дает никакого результата. Проблема решается совершенно иным методом в изменении некоторой внутренней служебной информации файла *.air, связанной со структурой самолета **Airframes**.

Пути решения проблем моделирования. Файлы динамики представляются текстами или кодами, редактирование которых возможно только специальными инструментальными редакторами. Числовые, графические или логические параметры аэродинамических характеристик и устройств самолета систематизированы в файлах по нескольким десяткам секций. Например, секция геометрических данных, секция температурных диапазонов или секция графических зависимостей оборотов двигателя от нагрузки (шага) винта.

Так как реальный самолет – единая, целостная система, подчиняющаяся строгим законам физики, то и его компьютерная модель обязана проявлять соответствующие изменения в динамике при изменениях его конструкции. Поэтому в редактируемых файлах динамики значения ряда характеристик необходимо изменять во взаимосвязи.

Например, изменив значение скорости сваливания Stall Speed, можно получить только сигнал тревоги на индикаторе срыва и не заметить более никаких изменений. Увеличив площадь крыла, можно уменьшить значения взлетно-посадочных скоростей и скорости сваливания, но при этом такой элемент пилотажа, как «бочка», на модели будет выполняться с меньшей угловой скоростью. Поэтому дополнительно потребуется в секции подстройки динамики **Flight Tuning** изменить значение эффективности элеронов или уменьшить момент инерции относительно продольной оси.

С некоторыми данными экспериментировать нужно очень аккуратно. Увеличение угла выпуска закрылок может оказать большое влияние на приrost сопротивления, которое придется компенсировать дополнительной тягой. Это нарушает планерные качества. Даже небольшое изменение диаметра пропеллера может привести к значительным погрешностям во





всей динамике и показаниях приборов. Так, например, тяга винта прямо пропорциональна его диаметру в четвертой степени

$$P = \alpha \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (1)$$

где α – коэффициент тяги;
 ρ – плотность воздуха;
 n – частота вращения;
 D – диаметр.

Потребная мощность – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления винта, пропорциональна диаметру в пятой степени

$$N = \frac{\beta}{75} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5, \quad (2)$$

где β – коэффициент мощности винта, зависящий от формы, числа лопастей, условий работы на определенной скорости [3].

Незначительное увеличение диаметра приводит к значительному увеличению потребной мощности. Следствие — при нулевой скорости самолета (на стояночных тормозах) двигатель не способен набрать обороты 100% (взлетный режим).

Множество директив, таких как Yaw Moment – Sideslip: Tendency to fly without sideslip («Тенденция лететь без скольжения»), не относятся ни к каким из известных физических характеристик и являются в чистом виде данными для корректировки динамики проектируемой модели. Экспериментально было определено, что изменение этого параметра в сочетании с Yaw Moment Roll Rate («Кренящий момент руля поворота») позволяет настроить интенсивность сноса с ВПП и увода при взлете, что обусловлено гироскопическим фактором.

Компьютерная модель динамики должна учитывать все множество сил, действующих со стороны воздушных потоков на различные элементы конструкции самолета. Такие потоки могут вызывать различные отклонения в устойчивости и управляемости самолета, являться причиной нежелательного вращательного или колебательного движения. Например, в секции для элеронов директива Roll Moment – Yaw Rate определяет фактор зависимости негативной тенденции к рысканию от кренящего момента.

Проведя многочисленные эксперименты при согласованном изменении различных свойств модели, анализируя получаемые изменения динамики, нам удалось выработать алгоритм построения модели таким образом, чтобы свести к минимуму количество ошибок по процессу моделирования.

На первом этапе создается трехмерная визуальная модель. Работа программистов-конструкторов должна согласовываться с программистами, создающими приборы и элементы управления, так как виртуальная кабина является общей частью их работы.

Второй этап – создание панелей, элементов управления и чернового варианта приборов воздушного судна. Приборы придется настраивать после отладки основной динамики, когда будут соблюдены скоростные режимы. Например, проще настроить алгоритм показаний тахометра, когда самолет уже ведет себя в соответствии со всеми скоростными режимами, и вряд ли возможно подстроить под показания прибора свойства динамики.

Файлы приборов самолетов систематизированы в каталоге приборов, элементов управления и анализа событий **Gauges**. Установка прибора производится текстовым файлом **Panel.cfg** из директории **Panel** путем команды объявления файла соответствующего прибора. Файлом **Panel.cfg** можно установить и другие приборы каталога **Gauges**, разработанные для других самолетов симулятора. Так, например, в файлах **Panel.cfg** самолетов **Cessna** организованы одинаковые ссылки (объявления) на файлы одних и тех же приборов, которые устанавливаются в разных моделях. Обычно приборы самолетов находятся в *.cab – архивах каталога **Gaugies**. Архив нужно распаковать, создав обычный каталог с таким именем, как у архива, и убрать сам архив из директории **Gaugies**. Это даст возможность просмотра приборов графическим редактором, копирования и редактирования, например, изменения цены деления шкалы. Редактировать можно и алгоритм работы прибора на последнем, пятом этапе, так как приборы, созданные для одной модели, могут не совместиться с другой и давать ложные показания по причине разных параметров рабочих режимов самолетов.

Так как экран компьютера не способен вместить многочисленные элементы, расположенные в кабине, то их располагают на отдельных панелях в отдельных окнах. Окна можно открывать и закрывать на разных этапах полета. Например, все автоматы защиты сети (АЗС) левого борта. Панель АЗС используется в основном только при процедурах запуска и остановки двигателя.

На третьем этапе моделируется основная динамика. Сначала программируются основные физические свойства модели в *.cfg файле, а затем в *.air – файле устанавливаются параметры аэродинамических особенностей, производится «подстройка» динамики. Необходимо добиться согласованности между конструкцией самолета и двигателем. Между двигателем и винтом. Главными настраиваемыми физическими параметрами здесь являются масса как мера инертности и мощность двигателя, определяющая ускорение и вектор тяги. Для винта изменяемого шага – диаметр и диапазон углов атаки. Работа двигателя на разных режимах должна быть согласована с изменяющимся параметром шага воздушного винта в полном соответствии с РЛЭ.

Затем в секции **Airplan Geometry** («Геометрические характеристики самолета») прописываются десятки требуемых геометрических параметров: площади элементов конструкции, длины хорд, стрело-





видность, координаты оперения, углы его установки. Все параметры находятся в конфигурационном файле `aircraft.cfg`. Подстройка динамических качеств, например устойчивости по тангажу или рысканию в секциях **Primary Aerodynamics** («Первичные аэродинамические свойства») и **Flight Tuning** («Настройка полета»), в обоих файлах.

На этом этапе обязательно проводится испытание модели. Например, оценить время разгона до момента отрыва и зафиксировать значение взлетной скорости. Оценить поведение модели при наборе высоты и при снижении, включая планирование. Затем отладить в соответствии с РЛЭ динамику модели на посадке с выпущенными закрылками и без выпуска.

Главная задача на этом этапе – отладка режимов работы двигателя без принятия во внимание показаний тахометра. Контролируя значения скоростей и наддува в установленном режиме полета, изменяя положение рычага управления двигателем (РУД) и шага винта в кабине, меняя параметры силовых характеристик в файлах динамики, производится настройка взлетного, номинальных и крейсерских режимов. Если прибор наддува не соответствует конструируемому самолету, то его отладка должна производиться на последнем этапе.

Двигатель с учетом всех силовых и температурных характеристик моделируется в соответствии со своей конструкцией в различных секциях с директивой **Engine** в файле `*.air` и в файле `*.cfg` в секции **Piston Engine** («Поршневой двигатель»). В некоторых секциях редактируются графические зависимости, например мощности от высоты на основании технической документации. Учитывается значительный объем технических сведений, поэтому моделирование двигателя должно быть работой отдельной категории специалистов. Но если удалось на третьем этапе сбалансировать мощность с массой и геометрией, то задача настройки режимов упрощается подстройкой алгоритма тахометра и других приборов.

Четвертый этап – настройка температурных режимов. Для настройки температурных режимов используются секции `*.air` - файла **Engine EGT** («Параметры, определяющие повышение температуры двигателя») и **Engine CHT** («Параметры, определяющие охлаждение двигателя»), в которых содержатся температурные лимиты и темпы изменения температуры в зависимости от условий: нагрев в состоянии покоя на заданных оборотах либо охлаждение в полете. Секция **Engine Oil Temperature** содержит аналогичные параметры для управления температурой масла.

Завершающий пятый этап – настройка показаний приборов и определения событий. Каждому прибору или элементу управления в его директории `Gaugies\*` `*` соответствует два-три файла. Например, графические файлы `rpm_background.bmp` – шкала тахометра, `rpm_needle.bmp` – стрелка тахометра, `rpm.xml` – программный

текстовый файл, содержащий алгоритм работы прибора, управляющий поворотом стрелки в блоке `Rotate` :

```
<Rotate>
.....
<Item Value=>0> Degrees=>0> />
<Item Value=>0.9> Degrees=>45> />
<Item Value=>1.55> Degrees=>150> />
.....
</Rotate>
```

Правка числовых значений такого алгоритма позволит завершить настройку режимов работы двигателя. Алгоритм языка XML – **eXtensible Markup Language** («Расширяемый Язык Разметки») — можно править обычным редактором текстов **WordPad** или специальными программами: **XML Editor**, **XML NotePad**, **Sonic Stilus Studio**.

Перегрев головок цилиндров двигателя М-14П свыше 240 градусов при неправильной эксплуатации может вызвать отказ двигателя. Для определения этого события требуется единственный файл, например `peregrev.xml2l`, содержащий код:

```
<Value>(A:Eng1 cylinder head temperature,celsius)
241 > if{ (>K:TOGGLE_ENGINE1_FAILURE) 1 (>L:dsd_
xml_sound_id_02,number) }</Value>
```

В файле конфигурации **Panel.sfg** необходимо произвести привязку XML-алгоритма к модели, например:

```
gauge11=Yak52_V_1_0!rpm, 256,468,80,80
.....
gauge35=Yak52_V_1_0!peregrev, 800, 10, 10, 10
```

Первые два числа – координаты расположения, вторые – размер окна. В приведенном примере визуально отображается лишь тахометр, и здесь необходима точность, а для невидимого события перегрева числа взяты произвольно.

Аналогично можно отладить работу датчиков и других приборов. Алгоритмы `*.xml` позволяют задавать степени свободы движения элементов управления, таких как РУД, шаг винта, заливной шприц и др. Так, мы дополнительно создали в модели работу заливного шприца. Алгоритм запуска должен определять состояние подачи топлива, давления воздушной системы, подачи напряжения на кнопку пуска, своевременности переключения магнето, и, в зависимости от действий обучаемого, можно получить различные варианты неудачных попыток запуска.

Каждый этап полета подчиняется строгим законам физики и описывается множеством уравнений движений, полученных на основании анализа суммы сил, действующих на самолет. Показания





приборов модели должны строго соответствовать параметрам РЛЭ на каждом этапе.

На снимке тренажера в качестве примера представлен этап установившегося подъема прямолинейного полета с набором высоты при постоянном угле к горизонту, с постоянной линейной и вертикальной скоростью.



Подъем осуществляется на первом номинальном режиме. Показания приборов при правильном пилотировании полностью соответствуют РЛЭ: обороты 82%, наддув 840-860 мм. рт. ст., вертикальная скорость — 46 м/с, линейная скорость — 170 км/ч. Температура имеет тенденцию к росту и по причине продолжительности подъема на высоте 1250 м показания датчиков для головок цилиндров 180° С, масла 70° С.

Выводы. Начальная конструкция модели Як-52, которую нам удалось модернизировать, была взята с платного сервера www.simmarket.com. Мы не смогли установить контакты с ее первыми разработчиками. Весьма качественно была выполнена визуальная модель и вид приборной панели. Мы благодарны им за эту большую и кропотливую работу.

Однако динамика и показания приборов не соответствовали РЛЭ. Например, заливной шприц не был доступен для манипуляций, приборные значения температур масла в двигателе и головок цилиндров без причины превышали допустимые значения и не возникали сбои работы двигателя в связи с перегревом. В процессе взлета не требовалось выполнять выдерживание, в прямом полете самолет очень быстро набирал скорость, существенно превышающую предельно допустимое значение по РЛЭ. Не выдерживалось соотношение «шаг винта — наддув — обороты скоростной режим». Поэтому для обучения такая модель использоваться не могла.

Исследовав ряд других моделей самолетов, мы нашли множество ошибок или недоработок и пришли к выводу, что наиболее важной и сложноразрешимой проблемой является разработка реалистичной динамики полета.

Модель, которую нам удалось модернизировать, была опробована специалистами различного уровня и признана летчиками-инструкторами пригодной для обучения при полетах по кругу, по приборам «под шторкой», в сложных метеоусловиях, отработки нестандартных ситуаций, выполнения элементов пилотажа (виражи, горка, пикирование, спираль, петля Нестерова).

Другие элементы пилотажа — бочка, полупетля, переворот выполняются с недостаточной угловой скоростью вращения относительно продольной оси. Прямой штопор более напоминает крутую спираль. Эти элементы требуют дополнительного исследования для выявления причин их несоответствия пилотажу, выполняемому на реальном Як52.

Так как сложный пилотаж не является обязательной программой при обучении летчиков-любителей, его отладка была включена в план следующего этапа работ, требующего дальнейшего тщательного исследования.

В настоящий момент можно считать, что главная задача решена и тренажер может успешно применяться для первоначального обучения пилотов в условиях аэроклубов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков А.Ю. Разработка гибких интеллектуальных обучающих систем. // Педагогическое Зауралье: Научно — практический журнал. — Курган: Изд-во ИПКРО Курганской области, 2002. — №1. — С. 8285.
2. Инструкция по эксплуатации самолета Як52 с двигателем М14П. М.: Воздушный транспорт, 1992. — 98с.
3. Коровин А.Е., Новиков Ю.Ф. Практическая аэродинамика и динамика полета самолетов Як-52 и Як-55. — М.: ДОСААФ, 1989. — 357 с.
4. Математические модели в теоретической механике: Учебное пособие / Загузов И.С., Федечев А.Ф., Калабухов В.Н., Поляков К.А. — Самара: Издво СамГУ, 2000. 108 с.
5. Математическое моделирование // Информатика и образование. 1996. — №4. — С.17–23.
6. Литвиненко Т.В. VISUAL BASIC. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 140с.
7. Машбиц Е.И. Психологопедагогические проблемы компьютеризации обучения. М.: Педагогика, 1988. — 192 с.



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

В статье проанализированы проблемы выхода частных компаний на рынок транспортных услуг в сфере грузовых перевозок. Рассматриваются модели рынка железнодорожных услуг. Дана оценка достоинств и недостатков различных вариантов моделей транспортного рынка, предлагаемых ОАО «РЖД» и Министерством транспорта РФ. Проанализированы достоинства и недостатки предлагаемых моделей с точки зрения частного бизнеса, производителей, грузоотправителей и компаний-операторов. Предложены подходы к решению задач по использованию инфраструктуры как рычага, влияющего на распределение перевозок между участниками рынка.

Основной задачей железнодорожного транспорта является полное удовлетворение населения в перевозках. Созданное в 2003 г. ОАО «Российские железные дороги» должно обеспечить не только перспективу дальнейшего роста отечественной экономики, но также способность государства эффективно выполнять такие важные функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, сохранение единого социально-экономического пространства, обеспечение конституционных прав и свобод граждан, включая право на свободу передвижения. При этом на компанию возложена ответственность за состояние и развитие железнодорожного транспорта России. Поэтому к проводимым на транспорте реформам приковано столь пристальное внимание.

Проводимая реформа на железнодорожном транспорте вступила в решающую фазу – третий этап (2006–2010 гг.). Первые два этапа реформирования отрасли привели к образованию довольно многочисленных частных компаний-перевозчиков, обладающих собственным подвижным составом. Их доля в грузовых перевозках стремительно растет. Если в 2001 г. компаниями-перевозчиками было перевезено 9% грузов железных дорог, то в 2006 г. объемы перевозок грузов в частном парке грузовых вагонов составили около 36% (с учетом арендованных вагонов) от всего объема грузов на российских железных дорогах.

Формирование операторского рынка на сети железных дорог началось несколько лет назад. По замыслу ОАО «РЖД» компания и собственники подвижного состава должны были к 2010 г. поделить рынок операторских услуг поровну. Однако, как следует из представленных данных, уже сейчас этот баланс сдвинулся в пользу частных компаний.

В структуре грузооборота частных транспортных компаний преобладают наиболее доходные грузы — это нефть и нефтепродукты, минеральные удобрения, руда. ОАО «РЖД» оказалось вытесненным в наименее доходные сектора рынка. Более половины грузооборо-

та ОАО «РЖД» приходится на грузы первого класса, на перевозку которых установлены самые низкие тарифы. Доля таких перевозок ежегодно растет. Если в 2004 г. их удельный вес в общей структуре грузооборота составлял 55,9%, то в 2006 г. — уже 56,8%.

В настоящее время железнодорожными вагонами, наряду с ОАО «РЖД», владеют более 2100 компаний, которым принадлежат более 260 тыс. вагонов, это примерно треть всего вагонного парка.

Среди собственников вагонов выделяются те из них, кто приобретает и эксплуатирует вагоны не для перевозок собственных грузов, а для участия в перевозочном процессе в качестве операторов подвижного состава. В 2001 — 2002 гг., этот статус был присвоен МПС России 85 компаниям. Операторы подвижного состава сыграли ведущую роль в освоении прироста объема перевозок и грузооборота на железных дорогах за последние пять лет, восполнив своими инвестициями старение и выбытие вагонов инвентарного парка ОАО «РЖД» (МПС России).

Фактически структура перевозок, выполняемых независимыми собственниками подвижного состава, сформировалась под влиянием государственной тарифной политики.

В 2003 г. был принят новый преysкурant 10-01 «Тарифы за перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами». В тарифе на железнодорожные грузовые перевозки была особо выделена плата за пользование подвижным составом (или так называемая «вагонная составляющая»). Согласно новому преysкурantu 10-01, собственник вагонов получил возможность устанавливать скидку с тарифа на перевозку грузов на величину «вагонной составляющей». Это создало условия для развития частного бизнеса в сфере железнодорожных грузоперевозок. Теперь компания, обладающая собственным парком, может предлагать свои услуги клиентам по более низким тарифам, чем установленные государством. Одновре-





менно и промышленные предприятия, располагающие своими вагонами, получили новую возможность для снижения издержек при транспортировке своей продукции. Результатом этого стал резкий рост спроса на подвижной состав со стороны частных компаний.

В отличие от независимых транспортных компаний, которые обладают возможностью гибко подходить к формированию тарифов на транспортировку грузов, ОАО «РЖД» полностью лишено свободы маневра. Компания обязана жестко придерживаться ставки тарифов, установленных Федеральной службой по тарифам (ФСТ). В итоге государственная компания ОАО «РЖД» часто проигрывает в конкуренции не только независимым компаниям, но и другим видам транспорта. Деление грузов по стоимости позволяло ОАО «РЖД» окупать перевозки низкодоходных грузов за счет высокодоходных. В условиях, когда значительная часть доходов от дорогостоящих перевозок была перераспределена в пользу операторов, возник вопрос об источниках покрытия расходов на нерентабельных перевозках. Изношенность инфраструктуры и подвижного состава требует радикальных мер, к которым относятся предложения по размещению акций грузовой дочерней компании на фондовом рынке. Государственно-частное партнерство в сочетании с механизмами привлечения государственных инвестиций, использование лизинговых схем позволят осуществить техническое переоснащение транспортного комплекса страны.

Действующий Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации (ст. 11) и сложившаяся за последние годы практика дают возможность грузоотправителям осуществлять перевозки в вагонах различной принадлежности, не только принадлежащих перевозчику на праве собственности.

Капиталовложения сторонних инвесторов в вагонный парк и предоставление их для перевозок грузов силами перевозчика ОАО «РЖД» являются наиболее доступной сферой инвестирования в железнодорожный бизнес, способствуют обновлению подвижного состава, росту маршрутизации перевозок, снижению доли порожнего пробега в обороте грузового вагона, повышают безопасность перевозок и сохранность перевозимых грузов. Благодаря операторам подвижного состава у грузовладельцев появился выбор партнеров.

Сегодня участниками рынка транспортных услуг, согласно ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации», являются владелец инфраструктуры, перевозчик и оператор железнодорожного подвижного состава. С другой стороны, по действующему законодательству есть только два участника договора перевозки – перевозчик и грузоотправитель. Государство объявляет о необходимости равноправного доступа всех участников рынка к инфраструктуре. При этом необходимой нормативной и правовой базы для этого не создано. На сегодняшний день ситуация выглядит не очень оптимистично:

единственным владельцем инфраструктуры и монополистом-перевозчиком является ОАО «РЖД»;

компания-операторы остаются по-прежнему в статусе грузоотправителя.

В процессе развития бизнеса по предоставлению вагонов для железнодорожных перевозок в России образовались довольно крупные операторские компании, которые способны оказывать широкий спектр транспортных услуг. Некоторые из них уже в настоящее время обоснованно претендуют на статус перевозчиков железнодорожного транспорта общего пользования. Возникновение и развитие операторских компаний на железнодорожном транспорте объективно способствует развитию конкуренции при перевозках грузов. Они стали необходимым элементом рынка железнодорожных перевозок, особенно на этапе реформирования. Можно считать, что это переходная структура от собственника подвижного состава к перевозчику. Причем структура как необходимая, так и достаточная. Здесь накапливается опыт перевозочного процесса, связанный с оптимизацией технологий перевозок по всем элементам (начальные, конечные и движущие операции); отлаживаются механизмы содержания и эксплуатации парка; выстраиваются отношения с грузовладельцами, грузоотправителями и получателями.

Основными и принципиальными вопросами третьего этапа реформирования является создание моделей рынка грузовых и пассажирских перевозок, а также выделение непрофильных для ОАО «РЖД» бизнесов в самостоятельные компании.

Необходимость разработки модели рынка железнодорожных услуг до 2010 г. возникла в 2006 г. когда ОАО «РЖД» выступило с инициативой создания дочернего общества грузовой компании, которой предполагалось передать весь вагонный парк ОАО «РЖД».

По мнению ОАО «РЖД», созданная дочерняя грузовая компания должна уравнивать конкурентные позиции компании, которая на равных условиях с собственниками выйдет на операторский рынок и, гибко оперируя тарифом, начнет с ними конкурировать.

Правительством было поручено Межведомственной комиссии по реформированию железнодорожного транспорта до конца 2006 г. согласовать и представить целевую модель развития рынка железнодорожного транспорта. Свои концепции представили Федеральная служба по тарифам, ОАО «Российские железные дороги» и Федеральное агентство железнодорожного транспорта (Росжелдор). Однако Межведомственная комиссия не пришла к единому мнению по модели рынка железнодорожных услуг. Основное различие между концепциями состоит в том, что ОАО «РЖД» и ФСТ предлагают выделить большую часть грузовых вагонов РЖД в операторскую дочернюю компанию, 100% акций которой будет принадлежать железнодорожной монополии. В свою очередь, Росжелдор предлагает создать грузовую



компанию как 100-процентную госкомпанию. Ведомство также предлагает РЖД создавать дочерние компании – операторов грузовых вагонов.

Концепция Минтранса заключается в обосновании создании компаний независимых перевозчиков. «В железнодорожном транспорте необходимо создание независимых перевозчиков. Только так можно будет увеличить частные инвестиции в отрасль и улучшить качество предоставляемых услуг», — отметил вице-премьер РФ Александр Жуков. Согласно модели Минтранса, собственники подвижного состава готовы инвестировать 70 млрд руб. только в покупку локомотивов. Сегодня конкурентная модель рынка грузовых перевозок не сложилась во многом из-за отсутствия четко выраженного определения термина «перевозчик, действующий на основании публичного договора».

Правление ОАО «РЖД» в июле 2006 г. одобрило бизнес-план создания грузовой компании и вынесло документы на совет директоров. Однако Минтранс РФ и комитет по реформированию ОАО «РЖД» выступили с критикой предложения государственной монополии, считая, что компания станет еще одним монополистом.

Этот вариант развития ОАО «РЖД» первоначально вызвал беспокойство у производителей массовых грузов, поскольку в операторскую грузовую «дочку» предполагалось передать весь подвижной состав материнской компании. Однако ОАО «РЖД» определило, что большинство вагонов компания у своей «дочки» возьмет в аренду и обеспечит транспортировку грузов по всем традиционным направлениям. «Дочка» тем временем привлечет значительные ресурсы за счет продажи неконтрольного пакета акций и направит их на обновление подвижного состава, который стремительно стареет.

В то же время ОАО «РЖД» считает, что в России нет условий для появления свободных перевозчиков. По мнению железнодорожников, прогнозируемые объемы частных инвестиций не решат проблему дефицита средств в отрасли. Кроме того, модель ФАЖТ не предполагает и создания главной «дочки» ОАО «РЖД» — Грузовой компании. Вместо этого МЭРТ предлагает создать пять грузовых «дочек», а Минтранс — одну небольшую компанию и передать ей 6070 тыс. вагонов вместо 530 тыс. Но создание небольших компаний ничего не даст, они будут недооценены и не смогут выйти на рынок. ОАО «РЖД» не сможет вывести на рынок капитала и потеряет, по их оценкам, 70 млрд руб., по оценкам ФСТ — 200 млрд руб.

Производители, в свою очередь, высказали следующее мнение. Если будет подержана модель Росжелдора, то перевозки

не будут эффективно регулироваться, а главное, неясно, сколько они будут стоить.

Если на рынок придут несколько перевозчиков, то Росжелдор не дает ясно понять, во сколько обойдутся перевозки производителям грузов. Неясно, останутся ли на рынке операторы, на каких условиях они будут расплачиваться с владельцами локомотивов. Также непонятно, каким будет тариф, вариант, при котором инфраструктура и локомотивы останутся у РЖД. И как частный перевозчик, владеющий пятью локомотивами, будет обеспечивать перевозку массовых грузов по стране? Кроме того, ОАО «РЖД» просчитывает логистику и обратный пробег вагонов, в большинстве случаев непорожний. Свободный перевозчик этого сделать не сможет. При создании нескольких компаний-перевозчиков возникает целый комплекс проблем, связанных с локальным статусом этих компаний. И главное, непонятно, как будет обеспечиваться конкуренция. Локомотивы будут у всех одинаковые, а цена за их использование разная? Все сходится в том, что транспортный рынок железных дорог при возникновении нескольких компаний-перевозчиков на маршрутах протяженностью свыше 86 тыс. км не просуществует и нескольких лет.

Концепция модели рынка ОАО «РЖД» заключается в создании новой 100%-ной «дочки» — ОАО «Грузовая компания РЖД» — уже в 2007 г. ОАО «Грузовая компания РЖД» планировалось передать 531914 грузовых вагонов (почти 80% парка), чтобы уже в 2007 г. было получено \$2,83 млрд. выручки. Как самостоятельный оператор она могла бы на равных конкурировать с частными компаниями. Капитализация Грузовой компании, по оценке Morgan Stanley, должна была составить \$6,48,9 млрд. И в 2008-2009 гг. ОАО «РЖД» рассчитывало продать до 49% ее акций на бирже, и направить полученные от реализации вагонов средства в размере \$34 млрд. на содержание инфраструктуры и реновацию парка локомотивов.

Минтранс считает модель ОАО «РЖД» необоснованной. В 2006 г. ОАО «РЖД» уже создала две «дочки» со специализированным парком — «Трансконтейнер» и «Рефсервис», и в первые месяцы их работы было много технических, процедурных накладок. «Дочки» подняли тарифы, а само ОАО «РЖД» отказывала в перевозке отправителям грузов, ссылаясь на отсутствие парка. Минтранс предложил ОАО «РЖД» выделить пока одну узкоспециализированную «дочку» — по перевозке нефти и нефтепродуктов. А компанию, в распоряжении которой будет весь парк, создать только к 2010 г.. Но ОАО «РЖД» отказалась от такого варианта модели.

ОАО «РЖД» настаивает на том, что создавать Грузовую компанию нужно в 2007 г. и только на базе основной части парка. Ведь \$4 млрд от ее IPO нужны для всей компании уже сейчас. ОАО «РЖД» считает, что этот план полностью взвешен и выполним, он отвечает интересам





государства и рынка». ОАО «РЖД» отвергает упреки в неэффективной работе «Трансконтейнера» и «Рефсервиса». Минэкономразвития поддерживает план ОАО «РЖД», но с одной оговоркой: к 2010 г. Грузовая компания должна стать не просто оператором, но и получить локомотивы, как и другие участники рынка.

Минтранс оппонирует ОАО «РЖД», защищая интересы частных операторов. Грузоотправителям нравится схема ОАО «РЖД». Но они настаивают на том, что государственная компания, и ее новая «дочка» должны иметь жесткие поведенческие условия. ОАО «РЖД» в любой момент должна иметь право брать в аренду переданной Грузовой компании парк, если грузоотправитель захочет везти грузы по тарифам РЖД. Операторы, напротив, уверены, что прав Минтранс. Грузовая компания не позволит создать рынок, став еще одной монополией, считают председатели этой группы.

Целевая модель Минтранса предусматривала создание двух грузовых компаний, в которые должен был перейти весь парк грузовых вагонов ОАО «РЖД». Первую грузовую компанию предполагалось создать в 2007-2008 гг. в качестве дочернего общества ОАО «РЖД». В ее уставный капитал планировалось на первом этапе внести около 10% грузового парка ОАО «РЖД» — порядка 60 тыс. вагонов. Грузовая компания в течение первого г. должна была работать как оператор вагонного парка, а затем как перевозчик. Всего первой грузовой компании планировалось передать не более 50% инвентарного парка ОАО «РЖД». Вагоны должны были быть внесены в уставный капитал в уплату дополнительных эмиссий компании по мере появления дополнительной грузовой базы. Первичное размещение акций грузовой компании возможно через два г. после начала ее функционирования, когда компания будет работать уже как перевозчик. Таким образом, IPO произойдет не ранее 2009-2010 гг.

После IPO первой грузовой компании Минтранс предлагал выделение из состава ОАО «РЖД» второй грузовой компании, которая будет на 100% принадлежать государству. Вторая грузовая «дочка» должна была быть создана в 2008-2009 гг. после того как будут получены и проанализированы результаты деятельности первой дочерней компании. В уставный капитал этой компании планировалось внести оставшиеся 50% инвентарного парка ОАО «РЖД».

Следует отметить, что, прежде, чем принимать решение о выделении первой грузовой компании, необходимо сформировать соответствующую нормативно-правовую базу для функционирования компании в качестве перевозчика. В настоящее время необходимо изменить более 8 тыс. нормативных актов, принятых еще во времена СССР, которые все еще регулируют деятельность железнодорожников. Но и эти вопросы рассматриваются Минтрансом и ОАО «РЖД» по-разному. В модели Минтранса заложены разные условия регулирования деятельности ОАО «РЖД» и частных и разные ценовые условия для всех участников рынка. В частности, в 2007 г. предлагалось

разделить тарифы на услуги локомотивной тяги и инфраструктуры, а также законодательно закрепить недискриминационный доступ к локомотивной тяге. Кроме того, Росжелдор предлагает уже в 2007 г. отделить перевозочный процесс от инфраструктуры и образовать несколько компаний-перевозчиков, наделив их локомотивами. ОАО «РЖД», в свою очередь, должно создать грузовую перевозочную компанию вместо операторской. При этом для ОАО «РЖД» было предложено зафиксировать тарифы, а частникам дать возможность оперировать ими по своему усмотрению. Как управлять множеством перевозчиков, в модели Росжелдора не определено.

Даже с половиной парка ОАО «РЖД» обе «дочки» будут почти в семь раз крупнее самых серьезных частных операторов. Создавать одну компанию опасно, после приватизации она может воспользоваться своим монопольным положением.

Эта схема считается наиболее приемлемой в настоящее время. Однако эксперты разошлись в оценке новой модели рынка железнодорожных услуг. Операторы подвижного состава считают, что любая схема с выделением из ОАО «РЖД» операторов эффективна для рынка. Одного оператора выделяют из госкомпании или двух — неважно. Частные компании все равно смогут с ними конкурировать. А конкуренция перевозчиков в масштабе всей страны пока невозможна. Собственники подвижного состава все равно смогут и дальше конкурировать с ОАО «РЖД» и ее «дочками» при перевозке высокодоходных грузов, они работают эффективнее, а низкодоходные перевозки им не нужны. А вот с двумя «дочками» ОАО «РЖД», скорее всего, привлечет меньше денег от IPO — практика показала, что инвесторы больше доверяют крупным компаниям, считают эксперты.

Однако вариант, который был принят и утвержден в июне 2007г., отличается от рассматриваемых вариантов. ОАО «РЖД» остается единственным публичным перевозчиком на рынке до 2010 г., а его первая грузовая дочерняя компания будет создана в 2007 г. Таковы основные параметры целевой модели развития рынка железнодорожных транспортных услуг, которые утвердила Межведомственная комиссия (МВК) по реформированию железнодорожного транспорта. В представленном документе максимально учтены предложения всех заинтересованных министерств и ведомств, а также ОАО «РЖД».

Принятой Концепцией развития рынка железнодорожных услуг до 2010 г., предусмотрено распределение вагонного парка ОАО «РЖД» между двумя компаниями-«дочками».

ОАО «Первая грузовая компания» будет сформирована в форме 100-процентного дочернего общества ОАО «РЖД», одна акция которого будет принадлежать АНО «Желдорреформа». Она будет владеть 21% всего грузового вагонного парка в стране. В период действия ПГК



41% вагонов останется в собственности ОАО «РЖД», 36% – в собственности частных операторов. Таким образом, вместо 531 тыс. вагонов ОАО «Первая грузовая компания» будет владеть 200 тыс. вагонов. Сейчас капитализация ОАО «Первая грузовая компания» оценивается в \$3,5 – 4 млрд. В 2006 г. Morgan Stanley оценивал ее в \$6,5 – 6,8 млрд. Первую грузовую компанию – оператора подвижного состава предполагается создать в 2007 – 2008 г.г. в качестве дочернего общества ОАО «РЖД». Согласно этой модели, в парк ПГК войдут цистерны, цементовозы, минераловозы, хоппердозаторы и полувагоны. Таким образом, она получает подвижной состав, который работает в самых конкурентных сегментах перевозок. Часть вагонов, вносимых в уставный капитал, в течение переходного периода останется в пользовании ОАО «РЖД». На первом этапе (2007 г. – по бизнесплану) грузовая компания сможет оперировать 20% подвижного состава. В 2008 г. – 67%. В 2009 г. – 100%. В 2009 г. Компания станет полноценным оператором.

Вторая грузовая «дочка» будет создана в 2008 – 2009 гг.

Влияние новой компании на рост грузовых тарифов оценивается экспертами как незначительное – не более 0,3%.

До 2012 г. Первая грузовая компания инвестирует в покупку подвижного состава около 105 млрд руб. Бизнеспланом предусмотрено, что уже в 2008 г. выручка превысит 35 млрд руб. Участие независимых менеджеров в работе совета директоров ПГК увеличит прозрачность компании, сделает ее привлекательной для инвесторов и финансовых организаций.

Специалисты Института проблем естественных монополий отмечают, что присутствие в компании независимых членов повышает инвестиционные и кредитные рейтинги компании при размещении пакетов акций на биржах. Это является важным условием при дальнейшем проведении IPO грузовой компании. IPO ОАО «Первая грузовая компания» возможно через два г. после начала ее функционирования. Таким образом, публичное размещение 49% акций произойдет не ранее 2009 г.

С созданием грузовой компании реальностью становится гибкая тарифная политика. Этот инструмент обеспечит значительное снижение транспортной составляющей в результате конкуренции с автомобильным и водным транспортом, позволит повысить привлекательность международных транспортных коридоров с участием России, а также увеличит эффективность использования вагонного парка за счет перевода части грузов на менее «дефицитный» подвижной состав.

Создание ОАО «Грузовая компания ОАО «РЖД» не освобождает перевозчика ОАО «РЖД» от обязанности в соответствии со статьей 12 Федерального закона «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» владеть железнодорожным подвижным составом для осуществления перевозок на праве собственности или ином праве.

Важность соблюдения этого требования усиливается тем, что в настоящее время и в ближайшие годы ОАО «РЖД», будет оставаться единственным перевозчиком, способным гарантировать обеспечение потребностей грузовладельцев различных регионов России в перевозках железнодорожным транспортом общего пользования. Выполнение этой функции, аналогичной функциям гарантирующих поставщиков услуг в электроэнергетике и в области связи, подразумевает сохранение за ОАО «РЖД» некоторых ресурсов подвижного состава, включая и вагоны, а также наличие договоров аренды или управления с ОАО «Грузовая компания», обеспечивающих обязанности перевозчика по владению подвижным составом.

Следует отметить, что вопрос о принадлежности инфраструктуры ни в одной из этих моделей не ставится. Оба подхода базируются на том, что владельцем инфраструктуры по-прежнему остается ОАО «РЖД». Зато эксперты разошлись в оценке новой модели рынка железнодорожных услуг.

Сегодня собственник имеет право выбора тех перевозок, где его конкурентоспособность и эффективность работы максимальные. Приоритеты компаний-операторов в области оказания транспортных услуг отдаются рентабельным направлениям грузоперевозок. Создаваемые операторские компании, как правило, занимаются маршрутными перевозками, в первую очередь массовых грузов, таких как нефть и нефтепродукты (так как это достаточно высокотарифный груз) минеральные удобрения, уголь, руда и металлы. Компании – операторы не обязаны участвовать в экономически невыгодных, убыточных перевозках, необходимых по государственным и социальным соображениям. У них также есть возможность привлекать груз путем предоставления преференций грузовладельцам за счет величины вагонной составляющей в тарифах и сокращения затрат по возврату порожних вагонов. При этом они совершенно не обязаны обеспечивать рациональную организацию перевозок грузов, что приводит к неэффективному использованию вагонного парка, в том числе в части порожнего пробега. А это приводит к удорожанию стоимости перевозки.

Для обеспечения бесперебойной и безопасной работы транспортного комплекса ОАО «РЖД» обязано обеспечивать заинтересованность в выполнении перевозок грузов не только по объему, но и по качеству их выполнения, обеспечивая гарантийные сроки доставки грузов, их полную сохранность и графиковую регулярность. Только системный подход к разработке технологии перевозочного процесса и развитию пропускной и провозной способностей позволит решить задачу по снижению стоимости услуг транспорта. Поэтому развитие отношений ОАО «РЖД» с операторскими компаниями необходимо вести в первую очередь с позиций владельца инфраструктуры, оставляя за собой обязанность оптимизировать процесс использо-





вания подвижного состава, улучшать показатели эксплуатационной работы с использованием приватного подвижного состава. Но, чтобы не остаться за бортом ОАО «РЖД» может создавать дочерние компании, осуществляющие функции перевозчиков.

Утвержденная модель транспортного рынка сохранит функции общественного перевозчика до 2010 г. за ОАО «РЖД». Одновременно подразумевается, что на третьем этапе реформы будут создаваться условия для развития конкуренции в сфере железнодорожных грузовых перевозок и появления полноценных независимых перевозчиков. Для этого существующая тарифная система будет дополнена тарифом на перевозку с использованием собственного локомотива. Выделение публичной услуги локомотивной тяги признано нецелесообразным. При этом планируется значительное увеличение количества частных локомотивов, используемых операторами в поездных формированиях. Минтранс РФ и ОАО «РЖД» в ближайшее время разработают согласованный порядок допуска поездных формирований к участию в перевозочном процессе.

Новая тарифная схема одновременно с прозрачными условиями использования частных локомотивов позволит привлечь значительные частные инвестиции в тяговый подвижной состав. Работа по тарификации использования локомотивов будет достаточно сложной. Дело в том, что ФСТ не устанавливает локомотивную, а регулирует инфраструктурную составляющую тарифа.

Владельцы частных локомотивов настаивают на том, чтобы локомотивная составляющая была выделена в тарифе за счет снижения инфраструктурной. Но даже сегодняшний уровень инфраструктурной составляющей явно недостаточен для поддержания в нормальном рабочем состоянии инфраструктуры и ее дальнейшего развития. Кроме того, необходимо учитывать ограниченные возможности рынка производства локомотивов. Даже если частные компании будут готовы покупать магистральные локомотивы, взять их неоткуда.

ОАО «РЖД» также не отрицает возможного разделения в перспективе инфраструктуры и перевозочной деятельности. Однако пока необходимость этого неочевидна. Необходимы организационные изменения, которые позволят разделить учет и оценить затраты на каждом этапе перевозок, что позволит объективно взвесить возможное увеличение нагрузки на государственный бюджет. Кроме того, требуются время и опыт для проработки нормативно-правовой базы.

Развитие конкуренции на железнодорожном транспорте должно быть эффективным инструментом повышения динамики развития страны, повышать качество транспортных услуг и снижать их

стоимость. Дискриминация общенационального перевозчика, обремененного публичными функциями, не может отвечать государственным интересам.

Ограничение деятельности ОАО «РЖД» только предоставлением инфраструктуры повлечет утрату значительной части опыта, накопленного компанией. Появление же грузовой компании ОАО «РЖД» придаст импульс состязанию транспортно-логистических технологий и позволит снизить транспортные издержки, повысив при этом качество услуг.

Очевидно, что представленные модели развития транспортного рынка в сфере железнодорожного транспорта недостаточны. Необходимо исследовать все возможные варианты развития событий, в том числе изменяя условия владения инфраструктурой. Ведь владелец инфраструктуры – не статист, не имеющий права голоса в распределении доходов от перевозок. Это полноценный участник транспортного рынка, в чьих руках находятся рычаги управления транспортными процессами. ОАО «РЖД» необходимо воспользоваться своим преимущественным положением в части возможности значительного снижения издержек на организацию перевозочного процесса, начиная с изменения к организации начально-конечных операций, заканчивая использованием системного подхода в планировании своей деятельности. В современной экономической ситуации, когда обостряется конкурентная борьба, только грамотно построенный бизнес может побеждать и занимать лидирующее положение на рынке. Осознание этого неопровержимого факта вызывает изменения в стратегии развития многих российских компаний, причем независимо от размеров их бизнеса. Частные операторы активно продвигают свои услуги на рынке, поскольку понимают потребности клиентов и лучше могут их удовлетворять. Получается, что, работая на одной и той же технологической основе и инфраструктуре, РЖД уступает независимым операторам именно в работе с клиентами. Используя особенности и преимущества своего положения, ОАО «РЖД» должно изменить подход к организации взаимоотношений с грузоотправителями. Практически потеряв сектор мелких грузоотправителей, компании следует сосредоточиться на контейнеризации перевозок и расширять практику заключения долгосрочных стратегических соглашений и договоров с крупнейшими партнерами: предприятиями промышленности, смежными транспортными организациями, иностранными железными дорогами. Таким образом, каждый из участников транспортного рынка найдет свою нишу, что позволит вывести железнодорожный транспорт на тот уровень, который бы не только обеспечил его привлекательность для частных инвесторов, но и успешно решал основную задачу – полное удовлетворение населения в перевозках грузов и пассажиров.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ ПРИМЕНительно К ТРАНЗИТНЫМ ГРУЗОВЫМ ПОЕЗДАМ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Развитие мировой экономики проявляет тенденцию опережающего роста международной торговли по сравнению с ростом объемов производства. В условиях продолжающейся экономической глобализации транспорт выступает важнейшим рычагом интеграционных процессов, что требует совершенствования подходов к вопросам его развития, поиску новых технологий и рациональных способов перевозки грузов.

К одному из направлений оптимизации грузопотоков относится создание сети международных транспортных коридоров (МТК).

МТК – это комплекс наземных железнодорожных магистралей и железнодорожно-водных переправ с современным техническим оснащением, предназначенным для концентрации в них международных транзитных перевозок с минимальными сроками доставки грузов и пассажиров, высокими эксплуатационными и экономическими показателями.

Наступившая эра международной логистики и международных транспортных коридоров, лидером которых стала объединенная Европа, требует расширения МТК с использованием новых возможностей и решением возникающих при этом новых проблем.

Позиция России по расширению транспортных коммуникаций для обеспечения международных перевозок нашла свое отражение в утвержденной 2 августа 2001 г. Правительством РФ Федеральной программе «Модернизация транспортной системы России на период до 2010 года», в составе которой действует подпрограмма «Международные транспортные коридоры».

Особый интерес представляют перевозки грузов в сообщении стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) с Европой, которые в настоящее время почти монополично осуществляются морским транспортом и перерабатываются в крупнейших портах – Гамбурге, Роттердаме и других.

Каждый скоростной контейнерный поезд приносит железным дорогам до 100 тыс. долларов. Однако потенциальная грузоподъемность каждого поезда используется примерно на две трети. Фитинговые платформы, курсирующие по коридору, рассчитаны на установку трех 20-футовых контейнеров, которые выходят из оборота. Изготовлен опытный образец платформы колодцевого типа с максимально низким уровнем пола и удлиненные фитинговые платформы под два 40-футовых крупнотоннажных контейнера.

В системе железнодорожного транспорта России предстоит решить серьезные задачи, связанные с разработкой требований к специальному подвижному составу, к организации перевозочного процесса и технического обслуживания скоростных специализированных поездов. Особенность поставленных задач – это предъявление повышенных требований к безопасности международных перевозок и безусловное их выполнение при скоростной доставке грузов.

Конструкция фитинговых платформ достаточно проста, поэтому с точки зрения безопасности движения основное внимание должно уделяться ходовым частям вагона и тормозным средствам.

Тормоза подвижного состава следует классифицировать как единственное универсальное средство обеспечения безопасности движения – повышение эффективности средств позволяет увеличить допустимую скорость движения и сокращает продолжительность перевозок. При обнаружении угрозы безопасности движения (в том числе и со стороны ходовых частей) приведение в действие эффективных тормозных средств позволяет предотвратить серьезные последствия в виде аварии или крушения. В связи с этим необходимо уделять особое, пристальное внимание правильному выбору пути развития тормозной техники для скоростных грузовых поездов.

Особенностью поездов для международного транспортного коридора Восток–Запад является специализация маршрутов постоянного формирования и возможное отсутствие порожнего пробега. Для таких поездов создаются условия для понижения продольно-динамических реакций при торможении, повышения тормозной эффективности, надежного автоматизированного контроля состояния пневматических сетей поезда и оборудования, а также применения специализированного технического обслуживания. Важной составляющей поездного комплекса является бортовое тормозное оборудование локомотива, предназначенное для автоматизированного управления тормозами и диагностики тормозной системы поезда.

Технические требования к тормозному оборудованию скоростного грузового поезда следует разрабатывать с учетом перечисленных особенностей.

На основе анализа условий эксплуатации подвижного состава ОАО «РЖД» для перевозки контейнеров и изучения тенденции развития тормозного оборудования разработаны составные элементы автоматического тормоза нового поколения для скоростного поезда Восток–Запад.

Сигнализатор разрыва поезда. Средством контроля разрыва или нарушения целостности тормозной сети поезда является дросселирование питания ТМ от крана машиниста. Постоянное дросселирование питания неприемлемо по условиям зарядки и отпуска автотормозов. В схеме сигнализатора нового поколения впервые применен способ временного дросселирования питания ТМ, которое вводится при получении сигнала самопроизвольного срабатывания автотормозов в поезде. Применение разработанного средства контроля полностью автоматизирует выполнение машинистом операции проверки состояния тормозной сети при появлении подозрений на разрыв, предусмотренной инструкцией по эксплуатации тормозов.

Сигнализатор разрыва, представленный на рис. 1, содержит запорный переключатель с регулируемым дросселем, пневмоэлектрическое реле дополнительной разрядки (ДР), устанавливаемое на воздухораспределителе локомотива, и электропневматическое реле, управляющее запорным переключателем.

При самопроизвольном срабатывании автотормозов в поезде происходит дополнительная разрядка ТМ, реле ДР замыкает контакты электрической цепи, и электропневматическое реле переводит переключатель в закрытое положение, при котором ТМ переходит на питание через дроссельное отверстие.



Рисунок 1 – Сигнализатор разрыва поезда

Если в поезде произошло обычное самопроизвольное срабатывание, то питание ТМ через дроссель оказывается достаточным для отпуска локомо-

тивного тормоза, сигнал ДР снимается, ТМ переходит на полное питание от крана машиниста, и автотормоза в поезде отпускают.

Если в поезде произошел разрыв, то питание ТМ через дроссель оказывается недостаточным для отпуска, давление в ТМ продолжает понижаться, и при достижении установленного перепада давления на выходе крана машиниста в ТМ загорается индикатор разрыва.

Для перехода на полное питание ТМ и снятие сигнала разрыва достаточно кратковременно перевести ручку крана машиниста в тормозную позицию.

При управлении автотормозами с помощью крана машиниста действие запорного переключателя автоматически блокируется в соответствующих положениях.

Контроль пневматических сетей. Контроль пневматических сетей грузового поезда производится по расходу сжатого воздуха из главных резервуаров (ГР) локомотива. Расход определяется косвенно по времени понижения давления в ГР известного объема на установленную величину при неработающем компрессоре. Полученный результат сравнивается с нормативными показателями. Для этого разработаны специальные таблицы, в которых приводятся нормативы для различных серий локомотивов в зависимости от длины состава с интервалом 50 осей. Выполнение операции контроля требует продолжительного визуального контроля; кроме того, в случае превышения норматива возникают значительные трудности при определении источника повышенного расхода – локомотива или состава вагонов. Повышенная утечка из пневматических сетей локомотива не сказывается на тормозной эффективности поезда; существенное влияние оказывает утечка из тормозной сети состава вагонов, особенно в хвостовой части.

Устройство, представленное на рис. 2, предназначено для автоматизации процесса контроля пневматических сетей. Особенностью устройства является количественное измерение показателя состояния пневматических сетей в новом масштабе, где единицей измерения служит нормированный расход сжатого воздуха, установленный для одного условного вагона 0,33 л/с. В принятой системе результат контроля представляется числом вагонов N, что позволяет проводить раздельный контроль локомотива и состава. Например, до прицепки локомотива к составу показатель утечки был 20 вагонов; после прицепки и зарядки пневматических сетей поезда – 120 вагонов; значит, показатель состава – 100 вагонов; если фактическое число вагонов в поезде 50, то утечка в составе превышает норматив в два раза.

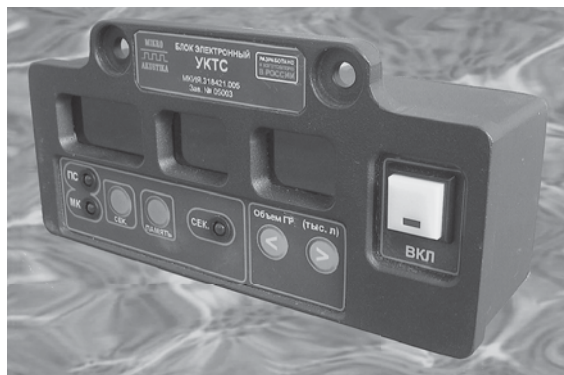


Рисунок 2 – Устройство контроля тормозной сети

Устройство измеряет величину перепада давления по ГР и время понижения давления на величину перепада, определяет фактический объем ГР и выдает результат контроля герметичности сети при каждом включении компрессора.

При каждом выключении компрессора устройство также измеряет величину перепада давления по ГР и время повышения давления на величину перепада, определяет фактический объем ГР и при этом выдает показатель избыточной производительности компрессорной установки. Сумма показателя избыточной производительности и результатов контроля герметичности сети определяет абсолютную производительность компрессорной установки локомотива.

Кроме того, устройство выявляет отклонение показателя герметичности поезда на 20%, контроль которого предусмотрен инструкцией по эксплуатации тормозов при стоянке поезда. В случае нарушения герметичности индикатор устройства переходит на мигающий режим работы с попеременной выдачей контрольного и фактического показателя, что позволяет своевременно обнаружить перекрытие концевых кранов в поезде.

Электропневматическая приставка (ЭПТ). При пневматическом управлении вследствие постепенного срабатывания тормозов в поезде возникают продольно-динамические реакции. Распространение реакций вдоль состава имеет импульсный характер, при этом максимальной величины реакции достигают в середине поезда, а продолжительность их действия составляет несколько секунд. Для однородного поезда, к которым можно отнести маршрутный контейнерный поезд, максимальная величина продольно-динамических реакций, по теории проф. Карвацкого Б. Л., зависит от предтормозного состояния поезда (сжат – растянут) и пропорциональна квадрату числа вагонов.

После установившегося торможения величина продольно-динамических реакций в любом сечении

поезда определяется неравномерностью распределения удельных тормозных сил по длине поезда.

На контейнерном маршруте Берлин–Москва курсирует поезд «Восточный ветер». Норма загрузки состава поезда определена в 25–30 вагонов по евростандартам; удается комплектовать составы из 65–70 условных вагонов. Для таких условий требуется существенное снижение величины продольно-динамических реакций, что достигается за счет оборудования поезда средствами увеличения скорости распространения тормозной волны.

На рис. 3 представлен комплект воздухораспределителя грузового типа с электропневматической приставкой для электрического управления пневматическими процессами. Приставка устанавливается между магистральной частью и двухкамерным резервуаром. Особенностью представленного тормоза является отсоединение магистральной части от управления и передача приставке функции управления главной частью, а также надежность срабатывания тормозов в поезде за счет одновременного управления автоматическими и электропневматическими тормозами.

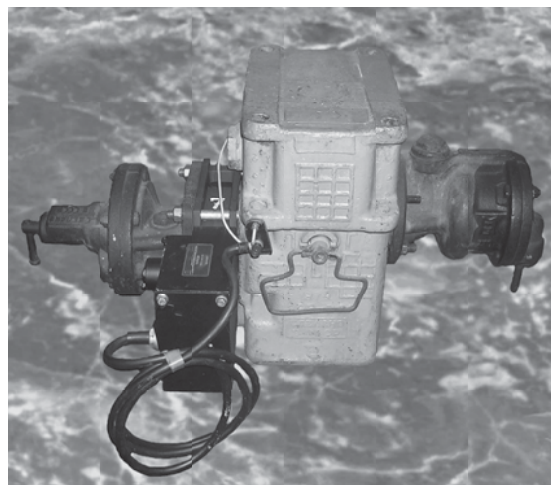


Рисунок 3 – Воздухораспределитель с ЭПТ-приставкой

Устройство блокировки тормозов (ДУ). Назначение блокировочного устройства – обеспечение неистощимости тормозного эффекта от вспомогательного тормоза при смене кабины управления локомотива и выполнении операций перехода по регламенту, предусмотренному инструкцией по эксплуатации тормозов. Устройство, представленное на рис. 4, содержит переключательный клапан в виде дифференциального поршня, управляемого давлением в тормозной магистрали (ТМ), и комбинированного крана, воздействующего на управляющую полость переключательного клапана.



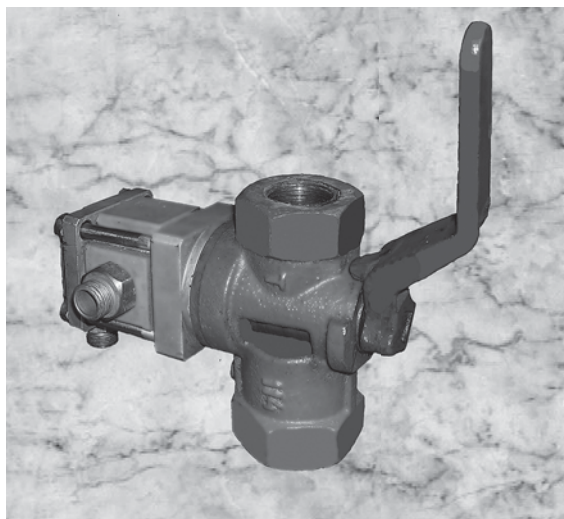


Рисунок 4 – Блокировка тормозов локомотива с дистанционным управлением

В нерабочей кабине ручка крана вспомогательного тормоза (КВТ) находится в тормозной позиции, ручка комбинированного крана – в за-

крытом положении, переключательный клапан под давлением сжатого воздуха в ТМ перекрывает канал тормозного цилиндра от КВТ, поэтому действие КВТ заблокировано. В рабочей кабине ручка комбинированного крана находится в открытом положении, при котором на переключательный клапан не действует давление от ТМ, поэтому КВТ подключен к каналу тормозных цилиндров.

При смене кабины управления предусмотрена полная разрядка ТМ, что вызывает автоматическое наполнение тормозных цилиндров локомотива от КВТ нерабочей кабины. Так реализуется дистанционное управление вспомогательным тормозом локомотива, что предотвращает несанкционированный уход локомотива при смене кабины управления. Применение блокировки ДУ особенно эффективно при техническом обслуживании локомотива одним машинистом.

Использование перечисленных тормозных средств позволяет обеспечить не только достаточно высокий уровень безопасности движения, но и автоматизацию процесса технического обслуживания тормозного оборудования поезда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог ЦЕЦВЦЛВНИИЖТ/277. – М.: Транспорт, 2002. – 160 с.
2. Казаринов В.М., Карвацкий Б.Л. Расчет и исследование автотормозов. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 231 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ НЕДЕРМИНИРОВАННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ

В государственной плановой экономике прогноз потоков опирался на достаточно надежную базу планового производства, потребления и определяемую государственными плановыми органами структуру транспортноэкономических связей. При этом декларировалась, но, как показывал анализ, далеко не всегда достигалась рациональность этих связей. В [1] говорится: «К основным народнохозяйственным пропорциям относится соотношение между мощностями транспортной системы страны и развитием народного хозяйства в целом» (Рис.1).

Объемы перевозок, межрайонные связи, грузовые потоки и их размещение по территории страны служили базой для планирования перспективного развития транспорта [2].



Рисунок 1 – Исходные данные для расчета межрайонного обмена и сетевых грузопотоков на основе транспортноэкономических балансов

Однако неопределенности могли возникать и в различных аспектах прогнозного развития экономики (рис.2), и в размещении производства и потребления, и в ожидаемом росте производства, и в сроках строительства новых объектов.



Рисунок 2 – Возникновение неопределенностей в планировании перспективных грузопотоков

Но еще большая неопределенность появляется, когда необходимо учитывать внедрение новых технологических процессов. С этим может быть связано снижение энерго и материалоемкости продукции, а, значит, уменьшение грузоемкости экономических связей. Это приведет к изменению структуры грузопотоков.

Рыночная экономика со свойственной ей свободой предпринимательства увеличивает число неопределенностей и связанные с этим риски. Соответственно существенной корректировке должны подвергаться подходы к прогнозированию [3].

Для успешного решения этой задачи необходимо достаточно гибкое оперирование комплексом информации как из внутренней железнодорожной отчетности, так и из внешних государственно-статистических и других источников (Рис.3).

Базой определения ожидаемых и прогнозных значений объемных показателей перевозок грузов могут стать оценки изменения общеэкономических индикаторов и основных параметров транспортного и товарных рынков Министерства экономического развития и торговли РФ, а также различных аналитических групп и компаний, специализирующихся на макроэкономическом анализе.

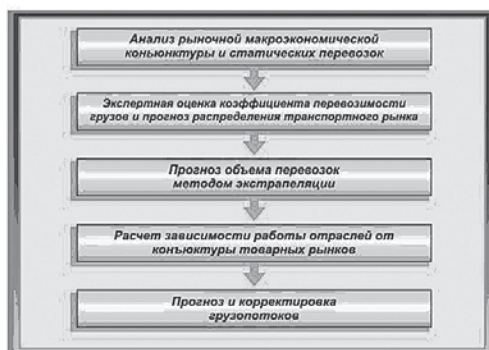


Рисунок 3 – Последовательность расчета перспективных грузопотоков в рыночной экономике

Для оценки конъюнктуры транспортного рынка и характера изменения (рост или падение) предстоящих объемов перевозок грузов возможно использование системы опережающих индикаторов развития экономики страны, изменение которых на определенный период (≈ 56 месяцев) предвосхищает адекватное изменение исследуемых показателей. Такими индикаторами могут быть сводный опережающий индекс и сводный диффузный опережающий индекс (рис. 4).

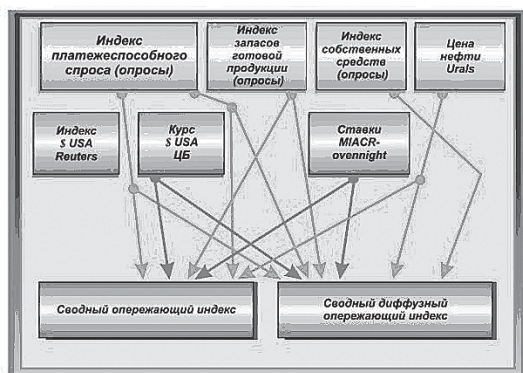


Рисунок 4 – Расчет индикаторов для оценки конъюнктуры транспортного рынка и прогноза перевозок грузов

В грузопотоках следует выделять детерминированную и вероятностную части, с которыми работать необходимо различно (Рис.5). При этом прогнозы многих параметров ожидаемого развития экономики остаются за пределами собственно транспортной методики. Кроме того, широко используются опросы и экспертные оценки, что по самой природе порождает вероятность результатов.

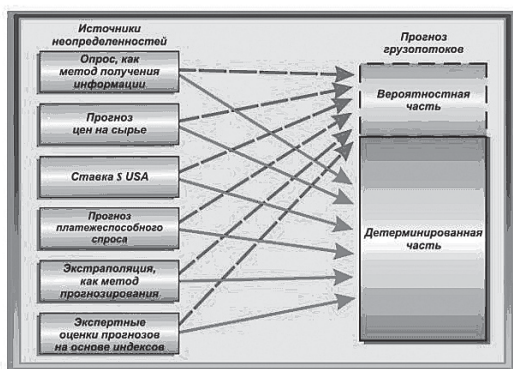


Рисунок 5 – Источники неопределенностей в прогнозе грузопотоков в рыночной экономике

В качестве средства снижения неопределенностей в условиях рыночной экономики можно рассматривать подход, реализованный в [4]. Здесь вместо опросов и экспертных оценок предлагается программный комплекс, позволяющий моделировать глубокие взаимосвязи в экономике и связи экономики и транспорта (Рис.6). Изменение внешних факторов, очевидно, влияет на динамику некоторых параметров, изменение остальных рассчитывается в соответствии с полученными закономерностями.

Разработанный модельный комплекс описывает в динамике систему основных материально-вещественных взаимосвязей транспортного комплекса (железнодорожного и других видов транспорта) с современной рыночной экономикой страны и ее отраслями.

Программноинформационный комплекс предназначен для решения функциональных задач управления долго и среднесрочного периода и, в частности:

- определение величины и структуры спроса на перевозки конкретным видом транспорта;
- оценка влияния факторов общеэкономического характера (курс доллара, уровень цен на основные виды продукции, ставки налогов и т. д.) на показатели деятельности конкретного вида транспорта;
- оценка влияния хозяйственной ситуации в смежных отраслях экономики (объемы производства, цены на продукцию и т. д.) на показатели деятельности отдельных видов транспорта;
- оценка влияния состояния конкретного вида транспорта на показатели деятельности других отраслей и в целом экономики (возможности по удовлетворению спроса на транспортные услуги, инвестиционная политика на транспорте, тарифная политика и т. д.);
- определение перспектив развития каждого вида транспорта на основе прогнозов изменения экономической ситуации в стране, динамики развития смежных отраслей экономики и конкурирующих видов транспорта.

Информационная база сформирована на основе официальных статистических данных Госкомстата России и данных, полученных путем специальных расчетов.

Структура модели обусловлена, с одной стороны, целью разработок, а, с другой, объективно существующей взаимозависимостью процессов экономического развития.

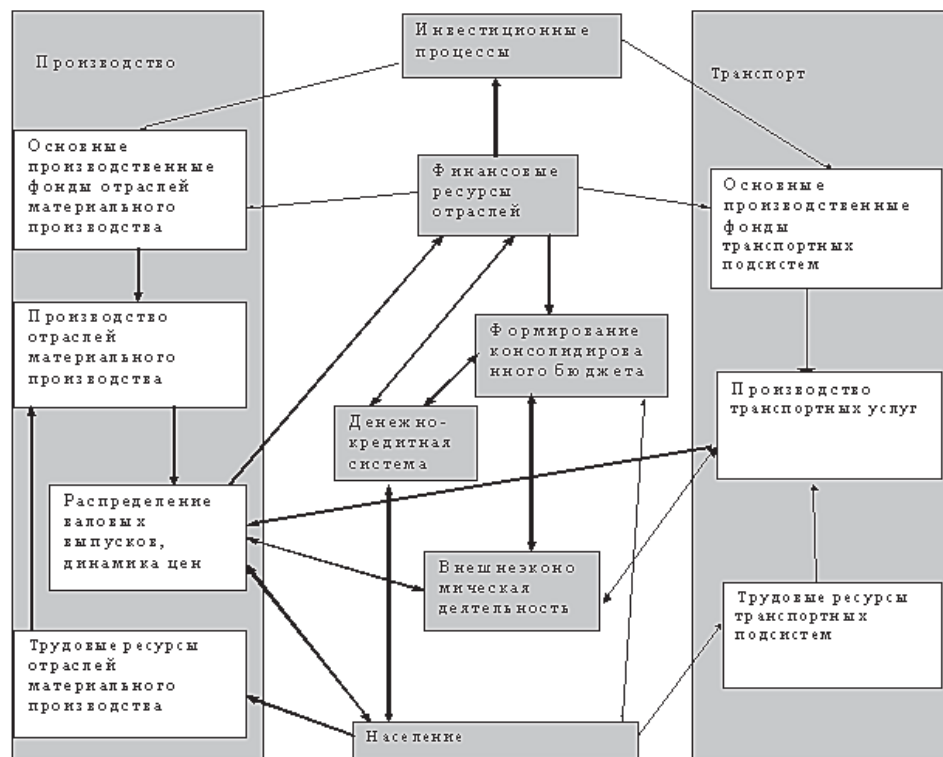


Рисунок 6 – Структурная схема взаимодействия основных блоков модели

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по экономическим изысканиям на железнодорожном транспорте. –М.: Гипротранстэи, 1989.
2. Прогнозирование транспортной системы России: обоснование стратегических направлений с использованием экономикоматематического инструментария (с учетом транзитных контейнерных перевозок). –Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного транспорта СО РАН, 2003.
3. Методика анализа и прогнозирования конъюнктуры рынка перевозок грузов с использованием экономических моделей. – М.: ВНИИЖТ, 2004.
4. Макроэкономическая модель экономики и транспорта. –М.: ВНИИЖТ, Аналитический центр, 2006.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Качество сервиса и логистические затраты предприятия во многом зависят от его логистической распределительной сети. Вследствие этого требуется регулярное совершенствование сети, ее адаптация к изменениям в товарных потоках и разнице затрат при использовании разных логистических служб.

В большинстве случаев логистические распределительные сети (ЛРС) должны совершенствоваться с учетом того, что отправки в них однозначно закреплены за отправителями и получателями. При этом ЛРС могут быть описаны при помощи модели сетевого потока. Особая сложность заключается в том, что для анализа ЛРС требуется отслеживать путь через сеть каждой отправки в отдельности и учитывать возможное объединение отдельных отправок в подходящих для этого узлах ЛРС.

Поскольку на определенном этапе отношения между отправителем и получателем фиксируются, оптимизируется только путь отправки через ЛРС. Поиск маршрута отправки должен осуществляться с учетом структуры сети; свойств элементов ЛРС; функции затрат элементов ЛРС; определенных правил, по которым должны определяться пути отправок. Целью анализа выступает определение общих затрат ЛРС.

Совершенствование ЛРС основывается на структурной модели, представленной схематически на рис. 1. Наряду со структурными элементами ЛРС (узлами и кантами) отражаются виды транспорта, параметры которых также входят в модель. Стандартный путь отправок, отдельные из которых могут подвергаться объединению между собой, идет через сеть (терминальную систему) и имеет множество альтернатив. Кроме того, существуют пути отправок, которые ведут от предприятий или складов мимо терминальной системы прямо к клиентам. По прямым сообщениям ЛРС доставляются либо большие (весом от 2 т), либо пакетные (до 32 кг) отправки.

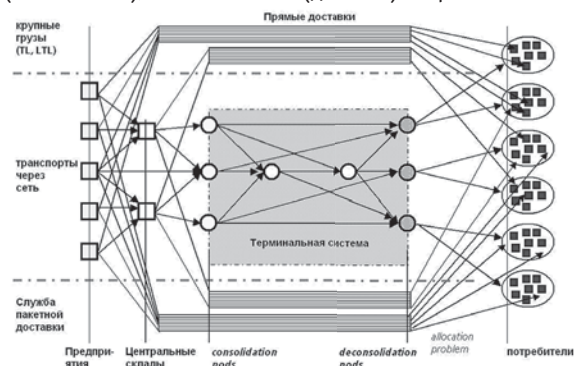


Рисунок 1 – Модель сетевой структуры

Узлами модели являются предприятия, потребители и перевалочные склады. Для ограничения числа потребителей клиенты объединяются в области клиентов на базе почтовых индексов. Каждому узлу ЛРС присваиваются определенные характеристики, определяющие его функцию в сети и его затраты [1]. В определенных узлах может быть объединено множество отдельных отправок в укрупненные отправки. Такое объединение отправок сокращает транспортные затраты и допускается в случае совпадения времени отгрузки и получателя отдельных отправок (см. рис. 2).

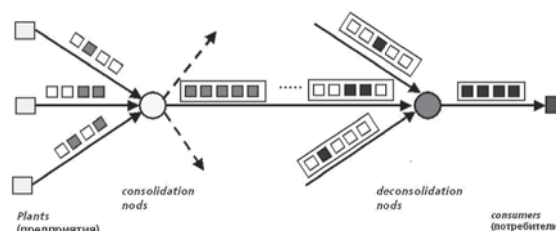


Рисунок 2 – Связывание отправок

Направленные канты модели связывают узлы ЛРС друг с другом и определяют допустимые пути в сети. С кантами ЛРС связаны определенные параметры (расстояние, затраты, время, транспорт и др.). Затраты определяются на основе базовых тарифов для различных весовых классов отправок и адаптируются в модели при помощи определенных коэффициентов. Базовые тарифы обычно представляют собой ценовые предложения в табличной форме от предприятий, предоставляющих логистические услуги, которые включают затраты на одну отгрузку или одну загрузку в зависимости от вида, веса, расстояния транспортировки отправки и областей отправления и получения. На рис. 3 представлена типичная дегрессивная зависимость затрат одного из тарифов.

Кроме тарифных предложений предприятий, оказывающих логистические услуги, в модели ЛРС могут применяться системные затраты как базовые тарифы. Под системными затратами понимаются процессные затраты, которые могут перекладываться на отдельные отправки. Системные затраты позволяют оценить

действительные транспортные издержки и провести сравнение предложений предприятий, предоставляющих логистические услуги [2].

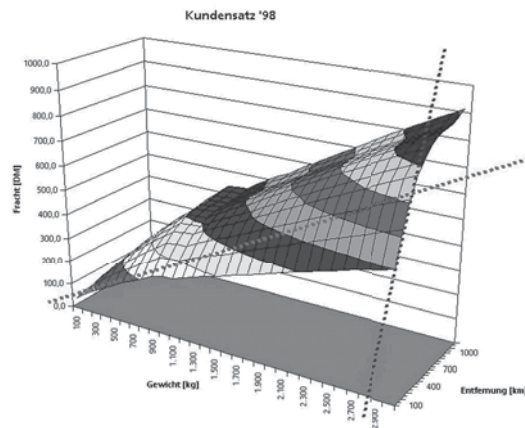


Рисунок 3 – Пример тарифа (Kundensatz `98)

Калькуляция производится в зависимости от расстояния транспортировки (канта) и связанного с ним тарифа: на каждую отдельную отправку; на общее количество отправок в день; на общее количество за планируемый период. Затраты ЛРС определяются в зависимости от подлежащего транспортировке количества грузов. Для этого необходимы данные отправок репрезентативного периода времени. Речь идет о количестве данных порядка от десяти тысяч до миллиона. Каждая отправка описывается посредством следующей информации: дата отправки и дата прибытия; номер транспортной накладной; вид отправки (обычный, экспресс и т.д.); отправитель и получатель; группа продуктов; количество мест груза; вес. На основе этих исходных данных генерируются данные об отправлениях для расчетного периода времени.

Тарифы и данные об отправлениях позволяют вычислить затраты ЛРС. Подход состоит в том, чтобы проводить все отправки ежедневно по лучшему пути в ЛРС, объединяя их по мере возможности. На отдельных кантах рассчитываются затраты отдельных отправок или затраты их суммированных величин с помощью заданной функции затрат. Для отправок определяются затраты, возникающие при прохождении через узлы ЛРС. Далее отдельные части затрат суммируются для получения общих затрат за определенный период времени. Алгоритм метода расчета формально представлен на рис. 4.

start

for t:=1 to число дней **do begin**

- выбор всех отправок за день t
- выбор пакетных отправок и расчет затрат
- объединение отправок в источниках, селекция крупных партий с предприятий и расчет затрат
- объединение отправок на складах,
- селекция крупных партий и расчет затрат

for i:=1 to число узлов **do begin**

- расчет количества единиц, проходящего через узел i
- расчет затрат в узле i
- объединение отправок в узлах (если допустимо)

for do begin

- селекция всех отправок, проходящих через канты (i,j)
- суммирование дневных количеств на кантах
- расчет затрат отправок, если канты (i,j) содержат функцию затрат

end

end

for k:=1 to число кантов **do begin**

- расчет затрат дневного количества на кантах k, если канты содержат функцию затрат

end

- суммирование дневных затрат

end

- расчет общих затрат

- определение дальнейших показателей

end.

Рисунок 4 – Алгоритм метода расчета затрат ЛРС (в программном обеспечении Borland Delphi)

При совершенствовании ЛРС возникает ряд задач, которые требуют отдельного внимания. К ним относят задачи, которые предшествуют общему расчету затрат ЛРС: задача сокращения множественности путей посредством нахождения оптимальных стандартных путей; задача нахождения оптимальных областей распределения.

Решение первой задачи должно приводить к более высокой загрузке линий транспорта. Таким образом предотвращаются случаи, когда посредством выбора локальных, выгодных по затратам путей для одной из частей отправок транспортные потоки направляются через множество путей. Для демонстрации мы упрощаем задачу, связывая отдельные отправки в количества.

Для описания проблемы вводятся следующие обозначения:

$i = 1(1)m$ – индексы отправителей;

$j = 1(1)n$ – индексы получателей;

nT – число пунктов перевалки;

a_{ij} – расстояние от пункта i до пункта j;



x_{rs} – поток между узлами r и s ;
 $c_{rs} = c_{rs}(x_{rs})$ – транспортные издержки, приходящиеся на единицу груза на отрезке (r,s) ;
 Q, S, T – множество индексов отправителей, получателей и перевалочных пунктов.

Требуется решить следующую задачу по определению минимальных суммарных транспортных издержек:

$$K = \sum_{r \in Q \cup T} \sum_{s \in T \cup S} x_{rs} \cdot c_{rs}(x_{rs})$$

при удовлетворении следующих условий:

– все товары отправителей транспортируются:

$$\sum_{s \in \text{Succ}(i)} x_{is} = a_{ij}, i = 1(1)m$$

– все товары достигают предназначенных получателей:

$$\sum_{r \in \text{Pred}(j)} x_{rj} = \sum_{i=1}^m a_{ij}, j = 1(1)n$$

– во всех перевалочных пунктах количества входящих грузов равно количеству выходящих грузов:

$$\sum_{r \in \text{Pred}(s)} x_{rs} - \sum_{t \in \text{Succ}(s)} x_{st} = 0, s \in T$$

– условие не отрицательности переменных:

$$x_{rs} \geq 0, r \in Q \cup T, s \in T \cup S$$

– от отправителя i до получателя j ровно один путь.

Решение задачи можно получить с помощью метода представленного на рис.5.

start
– расчет для всех кантов затратных коэффициентов
repeat
– определение для каждого направления минимального по затратам пути
– прокладывание маршрутов для всех через эти пути, определение числа кантов и расчёт актуального коэффициента затрат в зависимости от него
– минимальный по затратам путь каждого направления (i,j) должен сохраняться как ведущий путь
until без изменения ведущего пути
end.

Рисунок 5 – Алгоритм определения ведущих путей (в программном обеспечении Borland Delphi)

При решении второй задачи определяется число и место расположения распределительных узлов ЛРС и осуществляется оптимальное закрепление за ними клиентов или областей клиентов. Эта задача может быть упрощена, если число распределительных узлов известно (оптимальное число узлов может быть определено с помощью вариационного расчета).

Задача нахождения оптимальных областей распределения может быть смоделирована как проблема месторасположения – распределения областей если приняты следующие упрощения: если число пунктов задано; пункты расположены в двумерной системе координат; расстояния рассчитываются как евклидовы дистанции; транспортные затраты рассчитываются на основании количеств перевозимых грузов и расстояний перевозки [3].

Для описания проблемы вводятся следующие обозначения:

$i = 1(1)p$ – индекс склада (терминала);
 $j = 1(1)n$ – индекс области (группы) потребителей;
 a_i – емкость склада/терминала i ;
 b_j – объем потребления области j ;
 c_{ij} – коэффициент транспортных издержек;
 w_{ij} – величина перевозок;
 x_i, y_i – координаты склада/терминала i (решаемые переменные);
 ξ_j, η_j – координаты областей потребителей (постоянные).

С помощью этих обозначений может быть сформулирована следующая задача минимизации:

$$Z = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot w_{ij} \sqrt{(x_i - \xi_j)^2 + (y_i - \eta_j)^2}$$

при условиях:

$$\sum_{j=1}^n w_{ij} \leq a_i, i = 1(1)p;$$

$$\sum_{i=1}^p w_{ij} = b_j, j = 1(1)n;$$

$$w_{ij} \geq 0, \forall i, j.$$

Для решения этой задачи можно применить эвристический метод Купера [4]. Элементарный алгоритм должен быть модифицирован посредством подходящего метода, для того, чтобы локальные оптимумы могли быть определены (рис. 6).



```
start
  for итерация:= 1 to число итераций do begin
    -позиционирование случайных р пунктов
    repeat
      Allocation:      присоединение областей клиентов к
                        выбранным пунктам посредством решения транспортной проблемы
                        или GАПпроблемы
      Location:        движение каждого пункта по медиане
                        посредством решения
                        p Штайнер-Вебер-проблемы
      if then отмечается актуальное решение и устанавливается
    until сдвигание пунктов меньше установленной границы
  end
end.
```

Рисунок 6 – Метод поиска месторасположения областей (в программном обеспечении Borland Delphi)

Для практического применения этого метода необходимо соблюдать следующие условия: естественные препятствия на соединениях между пунктами и клиентами должны учитываться как барьеры в алго-

ритме; пункты должны позиционироваться в местах банка данных ГИС, которые обладают наименьшими дистанциями к найденным теоретическим координатам пунктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bauer A. (2002): *Lagermodellierung für logistische Netze*, Edition Logistik, Hrsg. P. Klaus, Band 4, Dt. Verkehrs-Verl., Hamburg.
2. Ebner, G. (1997): *Controlling komplexer Logistiknetzwerke Konzeption am Beispiel der Transportlogistik eines Multi-Standort/Multi-Produkt-Unternehmens*, GVB Schriftenreihe, Heft 34, Nürnberg.
3. Domschke, W., Drexl A. (1996): *Logistik Bd. 3. — Standorte*, R. Oldenbourg Verl. — München, 1996.
4. Feige D. P., Klaus Werr H. (1999): *Decision Support for Cooperative Distribution Networks*, in: M. Gracia Speranza and Paul Stuhly (Hrsg.): *New Trends in Distribution Logistics*. — S. 6393, Springer Verl. — Berlin, Heidelberg, New York, 1999.

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Боковая рама тележки грузовых вагонов – одна из наиболее ответственных деталей. От ее несущей способности во многом зависит безопасность движения подвижного состава, поэтому анализу эксплуатационной надежности этой детали всегда уделялось особое внимание.

В то же время известно, что в эксплуатации в наиболее нагруженных зонах боковых рам под действием переменных динамических нагрузок возникают усталостные трещины, что создает угрозу изломов деталей в эксплуатации.

Основные факторы, от которых зависит надежность изделия: конструкция, технология и условия эксплуатации, для грузовой тележки и боковой рамы на протяжении многих лет ее существования постоянно менялись. Поэтому возникает вопрос о том, как эксплуатационная надежность детали зависит от данных факторов и обладает ли современная боковая рама тележки грузового вагона необходимой усталостной прочностью в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями.

Конструктивно боковая рама с момента ее возникновения претерпела множество изменений. По состоянию на 1956 г. в эксплуатации находилось уже как минимум пять типов грузовых тележек: поясная тележка трех вариантов (последний вариант 1936 г. с усиленной боковой рамой), тележка с литой боковой рамой со съемными буксами и нижней поперечной связью, тележка с боковой литой рамой вместе с буксами без нижней поперечной связи типа М-44, тележка с боковой литой рамой со съемными буксами и без нижней поперечной связи типа Мт-50, тележка с поясной боковой рамой и люлечным рессорным подвешиванием [1].

С 1956 г. вагоны грузового парка стали оборудоваться двухосной тележкой модели ЦНИИХ-3, а с конца 1995 г. практически все грузовые вагоны эксплуатируются на тележках данного типа (с 1974 г. тележка модели 18-100). Конструктивно боковая рама этой тележки, выпускавшаяся до 1994 г., представляет собой полую отливку с двутавровым сечением надбуксовой зоны (рис. 1 а). Для усиления внутреннего угла буксового проема и надбуксовой зоны на ФГУП «ПО «Уралвагонзавод», который является основным разработчиком, в 1994 г. была предложена и внедрена в производство новая конструкция сечения надбуксовой зоны в виде закрытой полой коробки (рис.

1 б). Приведенные варианты исполнения являются основными и для рам, находящихся в эксплуатации в настоящее время.

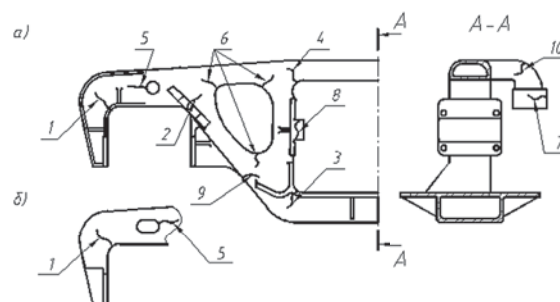


Рисунок 1 — Расположение трещин на боковой раме тележки модели 18100:

а – конструкция боковой рамы, выпускавшейся до 1994 г.;

б – после 1994 г.

Масштабные мероприятия по мониторингу технического состояния грузового подвижного состава и использовавшейся тогда тележки модели 18-100, позволившие получить статистически достоверные данные, стали проводиться начиная с 80-х гг. прошлого века в ходе специальных осмотров, осуществлявшихся группами надежности ПКБ ЦВ МПС. Было отмечено, что в боковой раме тележки усталостные трещины появлялись в наружном (рис. 1, поз. 1) и внутреннем (поз. 2) углах буксового проема, в нижнем (поз. 3) и верхнем (поз. 4) углах рессорного проема, в надбуксовом проеме (поз. 5). Кроме того, встречались боковые рамы с трещинами по технологическому окну (поз. 6), по кронштейну (поз. 7), с изломом направляющих для крепления фрикционных планок (поз. 8) и другие.

Такие обследования, в частности, были проведены в период с 1981 по 1985 год, в 1994 г., а так же возобновлены начиная с 2004 г.. В период с 1981 по 1985 г. по основным заводам — изготовителям осмотру подвергалось около 100 тысяч деталей за полугодие,

в 1994 г., например, деталей УВЗ было обследовано около 86 тысяч боковых рам, в 2004 г. по всем заводам было обследовано около 349 тысяч боковых рам, а в 2005 г. – 403 тыс. Данные обследования основывались на всех случаях ремонта боковых рам в вагонных депо в соответствующий период. Таким образом, объемы выборки позволяют говорить об их репрезентативности в рамках данной работы. Распределение усталостных трещин по зонам их возникновения в процентах от их общего числа для боковых рам, наблюдавшихся в эти периоды, показано в табл. 1.

Таблица 1 — Распределение отказов боковых рам по зонам их возникновения

Год обследования	Распределение трещин по зонам на боковой раме, % от общего числа							
	1	2	3	4	5	6	7, 8, 10	9
1981	15,6	15,0	17,8	14,2	37,2	0,3		
1982	18,1	10,8	2,6	1,7	66,6	0,35		
1983	19,5	18,8	9,8	3,95	47,4	0,6		
1984	36,4	15,7	1,0	3,0	42,8		1,0	0,25
1985	27,8	16,9	3,5	4,9	43,3	3,7		
1994	35,2	39,6	0,8	0,8	17,5	6,2		
2004	27,3	12,7	2,8	6,6	25,0	17,7	2,6	4,8
2005	23,5	10,9	2,2	12,0	28,2	18,0	1,3	3,2

Из табл. 1 видно, что наименее надежной зоной боковой рамы является зона буксового проема (рис. 1, трещины поз. 1, 2, 5), на долю которой приходилось до 94,9% всех трещин в 1984 г. и до 92,3% в 1994 г.. В то же время в 2005 г. было зафиксировано 62,6% от общего количества трещин, что существенно ниже, чем было в 1994 г.. Очевидно, что это обусловлено упомянутым выше изменением конструкции надбуксового проема и хорошо коррелирует с результатами тензометрических испытаний, которые показали, что при переходе на коробчатое сечение надбуксового проема, напряжения в надбуксовой зоне снизились на 20–25%. Снижение доли трещин по надбуксовой зоне, естественно, привело к перераспределению долей трещин по другим зонам боковой рамы (см. табл. 1).

Однако надежность всего парка боковых рам в эксплуатации начиная с 1994 г. не изменилась в лучшую сторону. В 1994 г. из общего числа обследованных боковых рам трещины имели около 0,6% в 1994 г., в 2004 г. – 1%, а в 2005 г. уже более 1,35%. Такой рост можно объяснить стремительным старением парка вагонов.

На рис. 2 приведено распределение боковых рам по сроку эксплуатации в парке грузовых вагонов в 2004 г.

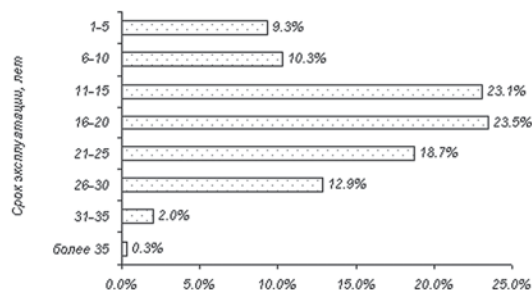


Рисунок 2 — Распределение боковых рам по сроку эксплуатации за 2004 год

Эта ситуация сложилась в результате того, что в период перестройки (в течение 1015 лет) железные дороги практически не получали новые боковые рамы. Анализируя распределение трещин по зонам (см. табл. 1), следует особо отметить значительную долю трещин в наружном угле надбуксового проема, где напряжения от нормативных нагрузок не являются максимальными.

На рис. 3 приведены схемы и результаты расчетов на эквивалентные напряжения (по фон-Мизесу) для боковых рам на вертикальную (статическая $P_{ст} = 220$ кН, динамическая $P_{дин} = 116$ кН) нагрузку и сил, действующих в кривых (рамная $H_p = 56$ кН, боковая $H_b = 49$ кН, продольная от сил трения колес о рельсы $T_{пр} = 30$ кН). Адекватность расчетной модели проверялась путем сравнения с результатами измерений напряжений тензодатчиками при натурных испытаниях.

Повышенное число трещин по наружному радиусу буксового проема может быть объяснено нежесткой конструкцией рамы в этой зоне (до 1994 г.), дополнительным воздействием горизонтальных сил от торможения, а так же сложным движением тележки по пути, особенно в кривых, вызывающим забегание боковых рам относительно друг друга и в конечном счете защемление боковых рам в челюстях, что дополнительно нагружает наружный радиус буксового проема. Отсюда очевидно, что реальная нагруженность этой зоны требует уточнения либо методами математического моделирования, позволяющими оценить движение тележки в кривой, либо при помощи инструментальных методов – тензометрирования, применения датчиков накопления усталостных повреждений и др.

Анализ эксплуатационных данных показывает также, что помимо конструктивных и технологи-

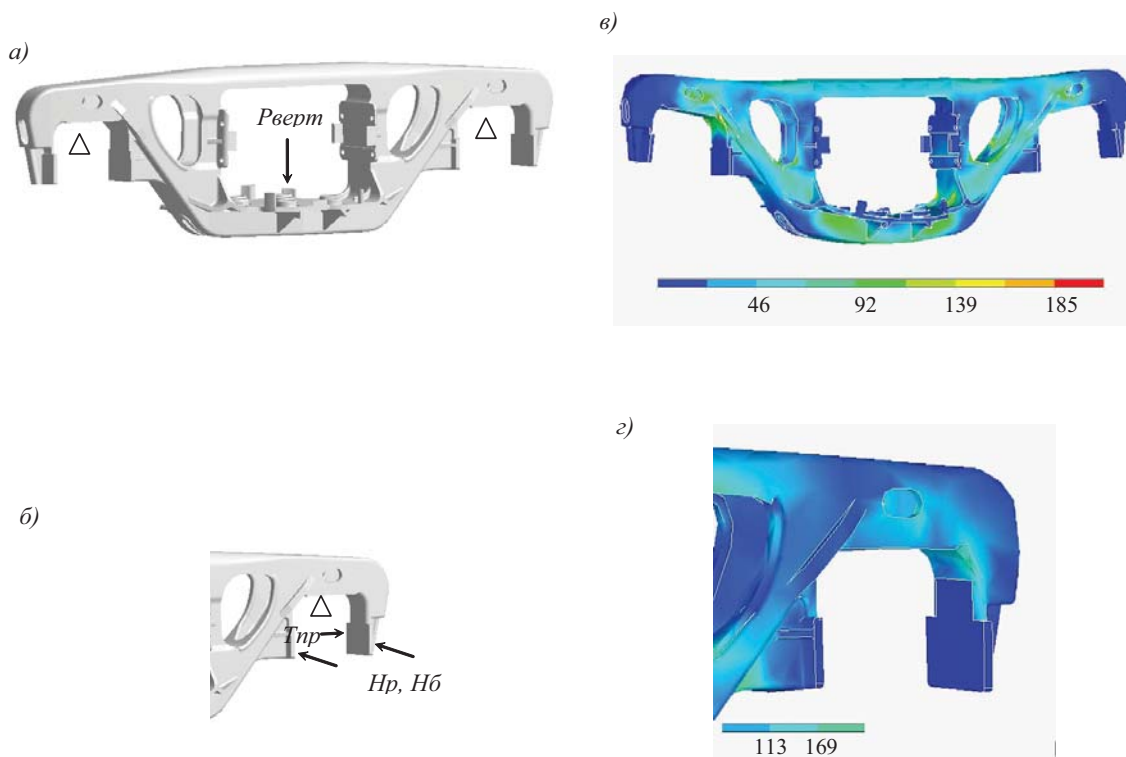


Рисунок 3 — Напряжения в боковой раме от действующих сил, МПа: а) схема вертикальных сил; б) схема сил, действующих в кривой; в) напряжения от вертикальных сил ($P_{\text{верт}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}}$); г) напряжения от сил, действующих в кривой ($T_{\text{пр}}, H_{\text{р}}, H_{\text{б}}$)

ческих факторов большую роль играют действующие в эксплуатации нагрузки. Так, начиная с 1985 г. до 1989 г., Министерством путей сообщения в одностороннем порядке проводился эксперимент по загрузке полувагонов на пять тонн выше трафаретной. В то же время известно, что средний срок службы $T_{\text{ср}}$ имеет степенную зависимость от действующих в детали амплитуд рабочих динамических напряжений σ_{ai} (внешних нагрузок)

$$T_{\text{ср}} \sim (\sigma_{ai})^{-m}. \quad (1)$$

Поскольку показатель степени m имеет достаточно большое значение для литых деталей с термообработкой (порядка 4 согласно [2]), а при усталостных испытаниях — 56 и более, то даже незначительное превышение нормативной нагрузки существенным образом должно было сказаться на увеличении числа повреждений боковой рамы. Полученная в эти годы с железных дорог информация (табл. 2) свидетельствует о значительном росте повреждаемости рам, причем данная тенденция прослеживается для деталей различных сроков службы, что указывает на то, что именно

сверхнормативные нагрузки явились основным фактором интенсивного снижения усталостной прочности деталей.

Таблица 2 — Количество боковых рам с усталостными трещинами

Годы обследования боковых рам	Количество забракованных деталей по годам постройки в % от числа осмотренных		
	до 1964 г.	1964-1973 гг.	после 1973 г.
1984	0,673	0,085	0,026
1985	0,602	0,085	0,015
1986	1,14	0,207	0,053
1987	2,03	0,380	0,120
1988	2,52	0,366	0,083
1989	3,27	0,496	0,105

Поэтому необходимо тщательно контролировать загрузку подвижного состава, не допуская превышения трафаретной массы. Как видно из формулы (1) (и подтверждено данными табл. 2), даже относительно небольшая перегрузка способна вызвать

значительное увеличение количества отказов по усталостным трещинам и, таким образом, существенно повлиять на ресурс деталей тележки, что, в свою очередь, угрожает безопасности движения. Это обстоятельство делает актуальной, наряду с применением известных методов повышения надежности литых деталей тележки разработку методов определения их остаточного ресурса. И особенно это актуально для такой сложной крупногабаритной литой детали, как боковая рама, подвергающейся к тому же в эксплуатации целому спектру различных, трудноучитываемых на этапе проектирования нагрузок.

Проведем оценку уровня надежности последних конструктивных вариантов боковых рам при современных условиях эксплуатации в сравнении с нормируемым уровнем согласно [3] (гаммапроцентный (90%) срок службы не менее 32 лет). Для этого воспользуемся статистическими данными, обобщенными ПКБ ЦВ ОАО «Российские железные дороги» по боковым рамам производства УВЗ в течение первого полугодия 2005 г. (табл. 3). Статистические данные разового обследования, аналогичные приведенным в табл. 3, представляют собой особый случай цензурирования. Поэтому для оценки эмпирической функции распределения (вероятности отказа) боковых рам $F(t)$ можно воспользоваться формулой:

$$F(t_i) = F(t_{i-1}) + \lambda_i(t_i) * [1 - F(t_{i-1})]. \quad (2)$$

Величина λ_i рассчитывается по формуле

$$\lambda_i = n_i / N_i \quad (3)$$

и оценивает значение интенсивности в некоторой «средней» точке i -го временного интервала.

Вероятность безотказной работы за время t находится из уравнения полной вероятности

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (4)$$

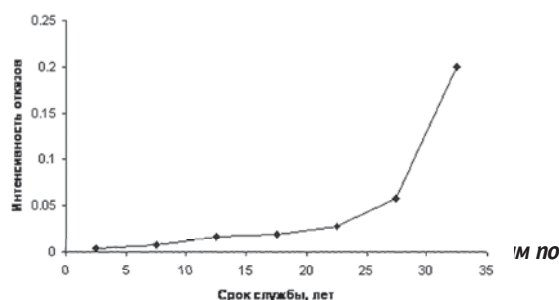
Оценки интенсивности отказов и функции распределения, найденные по формулам (2) и (3) с использованием данных табл. 3, приведены в табл. 4. При этом объем используемой выборки обеспечивает достоверность результата с доверительной вероятностью не ниже $\approx 0,99$ [4].

Таблица 3 — Количество отказов боковых рам по годам

Срок службы на момент осмотра, t_i	До 5 лет	6-10	11-15	15-20	21-25	26-30	31-35
Количество осмотренных деталей, N_i	8781	6340	14881	15324	12791	8175	1970
Количество отказавших* деталей из числа осмотренных, n_i	31	47	238	285	359	472	400

* Под отказом боковой рамы подразумевается появление усталостной трещины.

На рис. 4 показана зависимость β_i от t_i . Характер этой зависимости свидетельствует о лавинообразном характере роста усталостных трещин для деталей, изготовленных более 25 лет назад. Однако надо иметь в виду, что боковые рамы рассматриваемого периода изготовления (более 25 лет) имели существенные технологические и конструктивные отличия от боковых рам, изготавливаемых в настоящее время, а интенсивность эксплуатации с тех пор значительно возросла.



Исчерпывающей характеристикой надежности изделий с непрерывным характером работы, к которым относится боковая рама, служит закон распределения времени безотказной работы (далее — ВБР). Если известен вид закона и его параметры, то можно определить любую интересующую характеристику надежности. Определение параметров распределения ВБР для боковой рамы проводилось графическим методом в предположении четырех наиболее употребительных законов: экспоненциального, нормального, логонормального и Вейбулла. Адекватность принятой математической модели и эмпирических данных проверялась с помощью критерия согласия Колмогорова [5]. Было установлено, что наилучшая аппроксимация эмпирических данных достигается при использовании логонормального закона (рис. 5).

Теоретически логонормальный закон распределения случайной величины выражается зависимостью

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\lg t - 2,68}{1,23}\right) + 0,5, \quad (5)$$

где:

$F(t)$ — вероятность отказа детали;

$\Phi(t) = (\dots)$ функция Лапласа.

Таблица 4 — Величины вероятностей безотказной работы боковых рам

Срок службы на момент осмотра	Интервальные статистические значения интенсивности отказов деталей 1-го интервала	Эмпирическая накопленная вероятность отказов за время t_i	Вероятность безотказной работы за время t_i
t_i	λ_i	$F(t_i)$	$P(t_i)$
до 5 лет	0,0035	0,0035	0,9965
6-10 лет	0,0074	0,0109	0,9891
11-15 лет	0,0159	0,0266	0,9734
16-20 лет	0,0185	0,0446	0,9554
21-25 лет	0,0280	0,0714	0,9286
26-30 лет	0,0577	0,1249	0,8751
31-35 лет	0,20	0,3	0,7

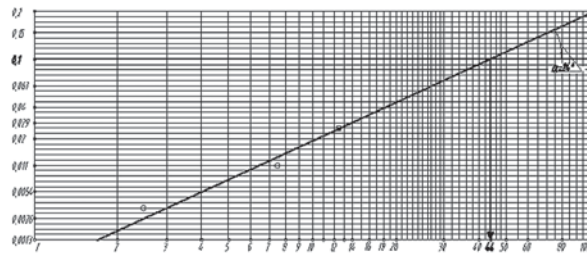


Рисунок 5 — Вероятностная сетка логонормального закона: 0 – эмпирические данные; — – аппроксимирующая прямая

При графическом способе определения параметров

$$b = 0,5 \operatorname{ctg} \alpha$$

где: α – угол наклона аппроксимирующей прямой на вероятностной сетке логонормального закона;

a – срок службы детали при вероятности отказа 0,5.

При этом функция распределения сроков службы боковых рам до отказа, параметры которой были определены графическим методом, описывается уравнением

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\lg t - \lg a}{b}\right) + 0,5. \quad (6)$$

Гамма-процентный (90%) срок службы, определенный по формулам (4) и (6), составляет 44 г. при нормативной величине не менее 32 г. [3].

На основании проведенного анализа можно сделать определенные выводы:

1. Отказы боковых рамы тележек типа ЦНИИХЗ имеют усталостный характер. Распределение их сроков службы до отказа подчиняется логонормальному закону. Фактический гаммапроцентный (90%) срок службы боковой рамы составляет 44 г. при нормативном требовании не менее 32 лет.

2. Установлено, что, начиная со срока службы 25 лет, процесс роста усталостных трещин в боковых рамах принимает лавинообразный характер.

3. Определены зоны появления усталостных трещин. Особенно опасны с точки зрения безопасности движения усталостные трещины во внутренних и внешних радиусах буксового проема боковых рам. На их долю даже в последние годы приходится свыше 60% всех усталостных трещин, выявляемых при ремонте (визуально и при помощи неразрушающего контроля), а также основная часть случаев излома боковых рам в эксплуатации.

4. Даже незначительное повышение нагрузки литых деталей тележек в эксплуатации выше нормативных величин способно существенно повлиять на безопасность движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дадыко С.Р., Драичик И.И. Вагоностроение: Справочное пособие. – М.: Машгиз, 1954.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи (несамоходных). – М., 1996.
3. ОСТ 32.1832001. Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная: Технические условия.
4. РД 5069089. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.
5. СТ СЭВ 119078. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В ДИСКАХ ТОРМОЗОВ СКОРОСТНЫХ ВАГОНОВ

Наибольшее распространение на железнодорожном транспорте нашей страны получил колодочный тормоз. Колодочные тормоза дешевле дисковых, требуют меньше места для размещения оборудования, при работе колодочного тормоза очищается поверхность катания колеса, благодаря чему улучшаются условия сцепления колеса и рельса.

Область применения колодочных тормозов ограничивается значениями наибольшей тормозной мощности, которая может быть реализована на одной оси, – 800 кВт, энергии торможения 16,2 МДж и скорости движения 140 км/ч [1].

Увеличение скоростей движения и веса железнодорожного транспорта послужило толчком к созданию и использованию дисковых тормозов, к поиску новых материалов для тормозных дисков и накладок, оптимальных конструкций дискового тормоза, его сочетанию с магниторельсовыми и колодочными тормозами.

На подвижном составе чаще всего используют варианты установки диска тормоза на колесе или оси колесной пары. Диски могут изготавливаться как сплошные, так и самовентилирующиеся, имеющие внутренний обдув. В дополнение к дисковому тормозу может применяться колодочный — для очистки поверхности катания и обеспечения лучшего сцепления колеса с рельсом.

Для пар трения дисковых тормозов используются следующие материалы: чугунные диски и композитные накладки при скоростях движения до 270 км/ч, стальные диски со спеченными керамическими накладками при скоростях движения 300—320 км/ч, алюминиевые диски и накладки из металлокерамики при скоростях движения свыше 300 км/ч, диски из термостойкого стального сплава или ковanej стали и накладки из металлокерамического композита, диски из чугуна с шаровидным графитом [2]. Стальные диски в паре с металлокерамическими накладками могут работать при температурах 800—900°C, ограничение связано с возникновением высоких температурных напряжений. Для алюминиевого диска температура не должна превышать 400°C.

Алюминиевые тормозные диски впервые были внедрены в эксплуатацию в начале 1990-х гг. Их появление было обусловлено стремлением уменьшить величину неподдресоренных масс тележек подвижного состава. Однако расширению применения алюминиевых дисков препятствовали требуемые значительные капитальные вложения и высокая цена самих дисков. Вместе с тем к середине 1990-х гг. выяснилось, что алюминиевые диски в комплекте с соответствующими накладками обладают существенно большей износостойкостью по сравнению с чугунными дисками

благодаря включениям частиц керамики в алюминиевую матрицу [3, 4]. Таким образом, имея меньшую массу, они оказались в расчете на весь срок службы и более экономичными, чем чугунные.

В работе исследовалось влияние конструкции дисков, физико-механических характеристик их материалов, распределения давлений на поверхностях торможения на нестационарные температурные поля и напряжения, возникающие в дисках при экстренном торможении.

Исследования проведены численными методами с использованием конечно-элементных расчетных схем. Для решения нестационарной температурной задачи использована правая конечно-разностная схема. На шагах по времени определялись температуры в узлах конечноэлементной сетки, эквивалентные узловые силы, которые прикладывались к узлам, и определялись температурные напряжения путем решения задачи методом конечных элементов (МКЭ).

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В СТАЛЬНОМ ДИСКЕ

В качестве базового варианта рассмотрен стальной диск, выполненный из стали 20Х13 (рис. 1а). Диск установлен на ступице 1, напрессованной на ось колесной пары, и фиксируется относительно нее с помощью вставленных в отверстия в диске и ступице пружинных разрезных втулок 2. Торможение осуществляется за счет прижатия к двум торцевым поверхностям диска башмаков с тормозными колодками, показанных на рис. 1б. Тормозной башмак сварен из пластины 4, ребер жесткости 5 и проушин 6. Усилие нажатия на башмак передается через валик 7, проходящий сквозь отверстия проушин. Тормозная колодка состоит из пластины 8, к которой приклепаны тормозные накладки 9. Башмак и тормозная колодка связаны с помощью соединения типа ласточкиного хвоста.

В расчетах принималось усилие нажатия на тормозной башмак 21 кН. Распределение контактных давлений между поверхностями накладок и диска получено с использованием конечно-элементной расчетной схемы, полностью моделирующей все силовые

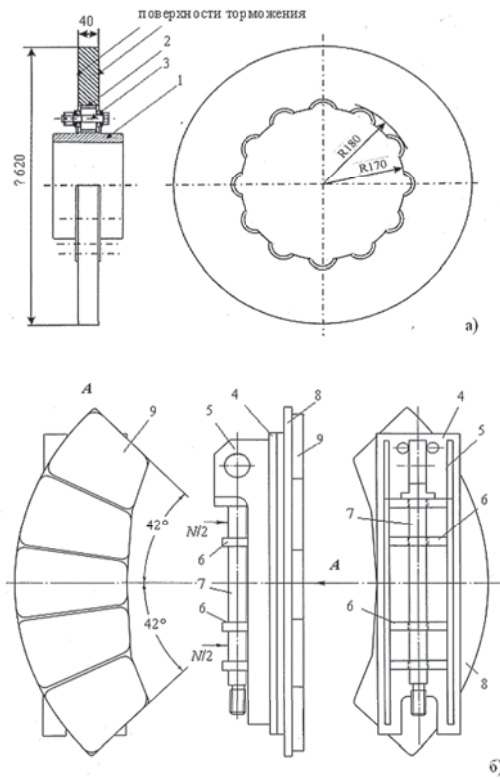


Рисунок 1 – Узлы тормоза со стальным диском:
а – установка диска на оси колесной пары;
б – тормозной башмак с колодкой
 1 – ступица;
 2 – разрезная втулка;
 3 – болт;
 4 – пластина;
 5 – ребро жесткости;
 6 – проушина;
 7 – валик;
 8 – пластина;
 9 – тормозная накладка;
 N – сила нажатия на тормозной башмак

элементы башмака и части диска, ограниченной средней плоскостью диска и по контуру повторяющей очертания тормозной колодки.

При исследовании нестационарных температурных полей в диске использована конечно-элементная схема в виде сегмента, выделенного осевыми плоскостями с углом между ними 90° и средней плоскостью диска (рис. 2а). Для температурной задачи вводились осесимметричные краевые условия, предполагающие, что тепловой поток подводится к поверхности трения непрерывно в окружном направлении диска. Для определения интенсивности теплового потока получено распределение средних давлений вдоль радиуса диска (рис. 2б). Они усреднены на длине дуг окружностей части диска, попадающей под тормозную колодку.

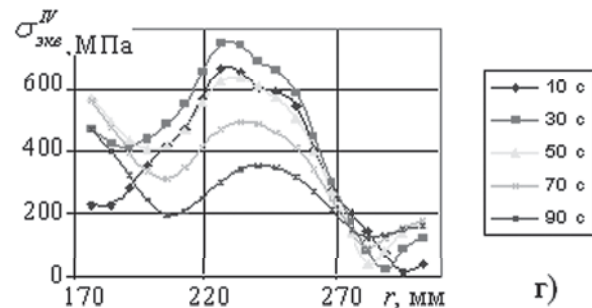
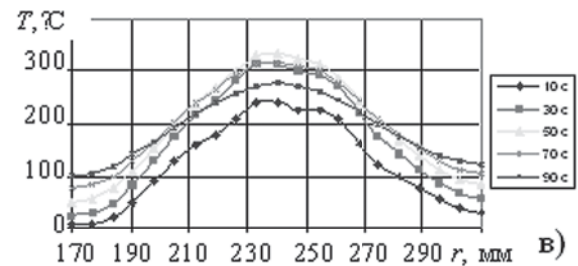
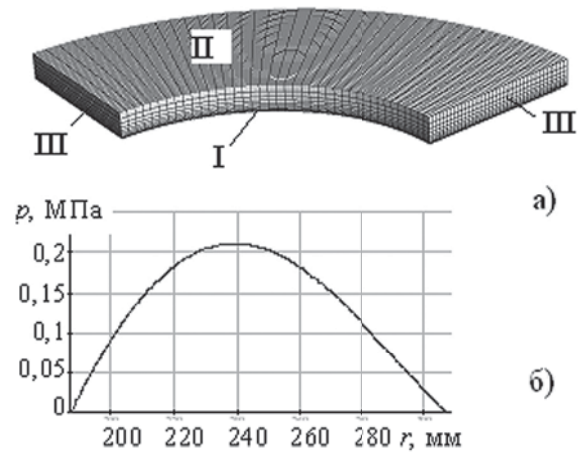


Рисунок 2 – Нестационарные температурные поля и напряжения, возникающие в стальном диске при экстренном торможении: **а** – конечно-элементная расчетная схема диска; **б** – распределение средних давлений на поверхностях контакта тормозной колодки и диска; **в** – распределения температур в точках поверхности торможения вдоль радиуса диска; **г** – распределения эквивалентных напряжений в точках поверхности торможения вдоль радиуса диска.

I – поверхность торможения;
II – средняя плоскость диска;
III – плоскости выделения расчетной схемы

Исследованы нестационарные температурные поля, возникающие в диске при экстренном торможении. Время торможения принималось равным 91 с, начальная скорость движения поезда 200 км/ч. Коэффициент трения в контакте тормозных накладок и диска



принимался равным 0,4. Особое внимание было уделено использованию в расчетах зависимостей физико-механических характеристик от температуры. Модули упругости материала диска, коэффициент теплоемкости определялись с использованием аппроксимирующих зависимостей. Коэффициент теплопроводности принимался равным 26 Вт/(м·К), коэффициент температурного расширения – $1,01 \times 10^{-5}$ 1/К. Получена зависимость коэффициента конвективного теплообмена от скорости обтекания диска воздухом с использованием физического моделирования. Она оказалась близкой к эмпирической, рекомендуемой для колодочного торможения [5]. Расчет температурного поля проводился с шагом 5 с.

Распределение температур на поверхности торможения вдоль радиуса диска для некоторых моментов времени процесса торможения представлено на рис. 2в. Наибольшая температура 334°C достигается на 50-й секунде торможения в точке, расположенной на радиусе 240 мм. Для определения температурных напряжений в диске вычислялись эквивалентные узловые силы. Они прикладывались к узлам, и решалась задача теории упругости МКЭ. С использованием вычисленных компонентов напряжений определялись эквивалентные напряжения по четвертой теории прочности $\sigma_{IV экв}$. Распределение эквивалентных напряжений вдоль радиуса на поверхности торможения диска для некоторых моментов времени торможения представлены на рис. 3д. Наибольшие эквивалентные напряжения 747 МПа возникают на 30-й секунде торможения.

Радиальные и окружные напряжения σ_x и σ_y в слое материала, прилегающем к поверхности торможения, практически на всем процессе торможения остаются сжимающими, за исключением периферийной части диска. Однако они достигают больших значений $\sigma_x = 450$ МПа, $\sigma_y = 793$ МПа. При возможном пластическом деформировании материала остаточные деформации будут отрицательными. При остывании диска в нем могут возникать растягивающие напряжения, способствующие возникновению и распространению термоусталостных трещин.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СТАЛЬНОГО ДИСКА

Толщина диска в базовом варианте составляет 40 мм. С целью изучения влияния массы диска на температурные поля и напряжения рассмотрены еще две расчетные модели, которые отличались от базового варианта лишь толщиной диска. По первому варианту толщина диска принималась равной 45 мм, а по второму — 35 мм.

Температурное поле характеризуется теми же особенностями, которые отмечены и для базового варианта. Наибольшая температура для первого варианта несколько ниже, чем для базового, и составляет 314°C, а для вто-

рого варианта она выше, чем для базового, и достигает значения 360°C. Наибольшие эквивалентные напряжения возникают на 30-й секунде. В узле, расположенном на радиусе 230 мм, они достигают 774 МПа для первого варианта и 722 МПа для второго.

Толщина диска неоднозначно влияет на возникающие в процессе торможения температуры и напряжения. В диске толщиной 45 мм температуры несколько ниже, чем для других вариантов, однако возникают более высокие температурные напряжения из-за более неравномерного распределения температур. А в диске толщиной 35 мм температуры выше, чем для других вариантов, несмотря на это, в нем возникают более низкие температурные напряжения.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В ЧУГУННОМ ДИСКЕ

Исследованы температурные поля и напряжения в чугунном диске, расчетная схема которого представлена на рис. 3а. Диск состоит из двух щек с радиусами наружной и внутренней поверхностей 310 и 175 мм соответственно. Щека имеет толщину 20 мм, между двух щек расположены ребра, образующие вентиляционные каналы для улучшения условий отвода тепла.

Распределение средних контактных давлений на поверхности торможения диска принято таким, как оно получено в работе [6]. Моделирование процесса торможения выполнено без учета дополнительного отвода тепла, вызванного принудительной вентиляцией диска, обеспечиваемой ребрами. В расчете предполагалось, что все поверхности диска обтекаются потоком воздуха, скорость которого равна скорости поезда.

Принимались следующие значения физико-механических характеристик материала диска: плотность $\rho = 7300$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda = 46$ Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости $c_{cp} = 525$ Дж/(кг·К). Коэффициент трения принимался равным 0,4. Для определения коэффициента конвективного теплообмена использовалась эмпирическая зависимость [5].

Графики распределения температур на поверхности торможения вдоль радиуса диска для разных моментов торможения приведены на рис. 3б. Максимальная температура 194,6°C наблюдается в узле, лежащем на радиусе 210 мм. В этом месте средние давления достигают своего максимума, а на тыльной стороне щеки располагается край ребра. В отдаче тепла в окружающую среду активное участие принимают ребра диска. Температура тыльной поверхности щеки резко возрастает на начальном этапе торможения от 10 до 96°C на 5-й и 30-й секундах торможения соответственно, а к концу торможения достигает 156°C и практически выравнивается с температурой поверхности торможения. Температура по высоте



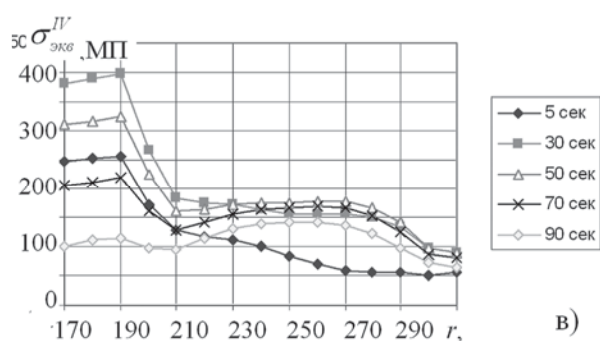
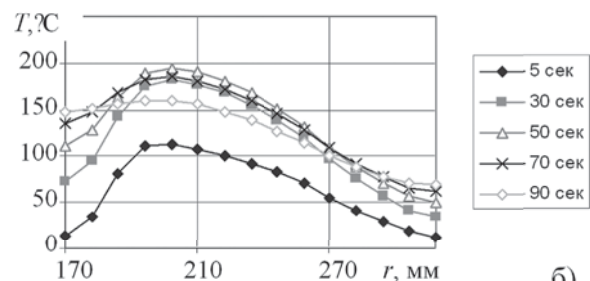
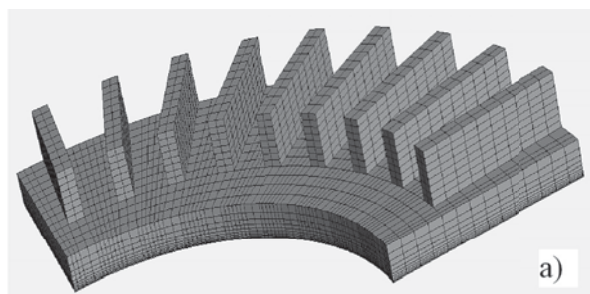


Рисунок 3 – Нестационарные температурные поля и напряжения, возникающие в чугунном самовентилирующемся диске: а – конечно-элементная расчетная схема диска; б-в – распределения в точках поверхности торможения вдоль радиуса диска: б – температур; в – эквивалентных напряжений

ребра меняется значительно. На 5-й секунде торможения его температура равна температуре окружающей среды. На 30й меняется от 62°C у поверхности щеки до 15°C на середине ребра, а к концу торможения температуры достигают 131 и 88°C соответственно.

Графики распределения эквивалентных напряжений в точках поверхности торможения в зависимости от радиуса приведены на рис. 3в. Наибольшие напряжения 400 МПа возникают в точках, расположенных на радиусе 195 мм. Окружные напряжения σ_y в области щеки у малого радиуса являются растягивающими и не превышают 100 МПа. Радиальные напряжения σ_x являются растягивающими у тыльной поверхности щеки. Они достигают значений 137 МПа на 30-й и 50-й секундах торможения в точках, расположенных на радиусах 260 и 270 мм.

Результаты расчета чугунного диска показывают, что большая площадь теплоотдающей поверхности положительно сказывается на уровне температур и напряжений. В области щеки, прилегающей к малому радиусу, наблюдаются растягивающие окружные напряжения, достигающие 100 МПа.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В АЛЮМИНИЕВОМ ДИСКЕ

Одним из перспективных направлений в совершенствовании дисковых тормозов является применение дисков из алюминиевого сплава. Они были использованы на немецких железных дорогах для скоростей движения выше 300 км/ч. В работе рассмотрен вариант диска, выполненного из алюминиевого сплава, имеющий такое же конструктивное исполнение, как и чугунный диск. В расчетах использовалась такая же конечно-элементная расчетная схема с теми же краевыми условиями, что и для чугунного диска. Для алюминиевого сплава принимались следующие физикомеханические характеристики: плотность $\rho = 2748$ кг/м³, теплопроводность $\lambda = 206$ Вт/(м·К), теплоемкость $c_p = 880$ Дж/(кг·К). Распределение давлений взято такое же, как и для чугунного диска, коэффициент трения принят равным 0,4.

Графики распределения температур на поверхности торможения вдоль радиуса диска для разных моментов торможения приведены на рис. 4а. Уже на 30й секунде диск хорошо прогревается по всему объему. Самые высокие температуры 178°C достигаются на 50й, 70й секундах. Градиенты температур по толщине диска малы. Алюминиевый диск прогревается быстрее чугунного. На тыльной поверхности щеки температуры на 5й, 30й и 50й секундах торможения достигают 29, 124 и 157°C, тогда как для чугунного диска они составляют 10, 96 и 137°C соответственно. К концу торможения в алюминиевом диске температура полностью выравнивается по толщине щеки. В чугунном диске сохраняется разность температур: 195°C на поверхности торможения, 156°C на тыльной стороне.

Графики распределения эквивалентных напряжений в точках поверхности торможения в зависимости от радиуса приведены на рис. 4б. Наибольшие напряжения 100 МПа наблюдаются на радиусе 190 мм. На поверхности торможения σ_x радиальные напряжения являются сжимающими. Их значения не превышают 40 МПа. У тыльной стороны щеки на радиусе 270 мм возникают растягивающие радиальные напряжения 39 МПа. Окружные напряжения являются сжимающими в области диска, прилегающей к меньшему радиусу, и составляют 85,6 МПа на радиусе 215 мм. Периферийная часть диска находится под действием растягивающих напряжений в окружном направлении. На радиусе 310 мм они достигают значения 64,2 МПа. Максимальные эквивалентные напряжения в ребре на 30-й секунде торможения не превосходят 36 МПа.

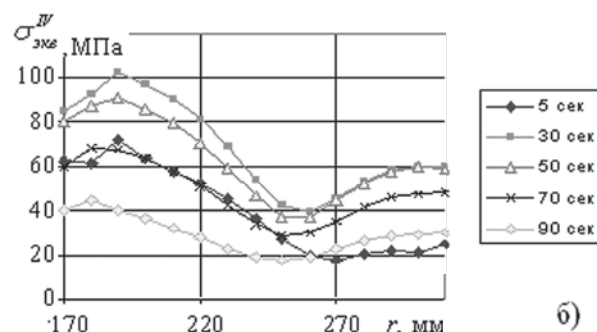
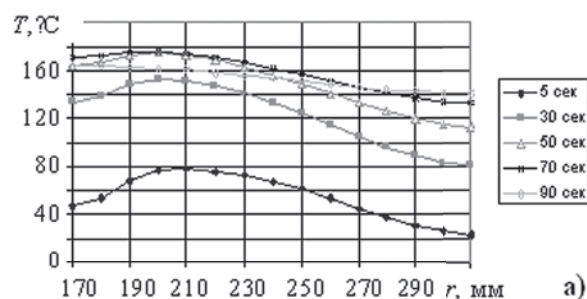


Рисунок 4 – Распределения в точках поверхности торможения вдоль радиуса алюминиевого самовентилирующегося диска:

а – температур;

б – эквивалентных напряжений

Алюминиевый диск прогревается быстрее и более равномерно, чем чугунный. К концу торможения температура по всему объему щеки практически выравнивается. В алюминиевом диске возникают напряжения в 3,4 раза меньше, чем в чугунном. Высокое значение коэффициента теплопроводности материала диска способствует быстрому прогреванию объемов материалов, удаленных от поверхности торможения, более равномерному распространению температур по объему, снижению градиентов температур по толщине диска и в конечном счете снижению температурных напряжений.

РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Одним из направлений совершенствования дисковых тормозов является выработка конструктивных решений, позволяющих обеспечить равномерное распределение давлений по поверхности диска. Исследовано распределение нестационарных температурных полей и напряжений в стальном диске толщиной 40 мм при равномерном распределении давлений по всей поверхности контакта колодки и диска. Распределения температур на поверхности торможения вдоль радиуса диска приведены на рис. 5а. При равномерном давлении наибольшая температура на поверхности торможения 189 °C возникает на 70-й секунде в точке, лежащей на радиусе 250 мм. К концу торможения температуры точек, располо-

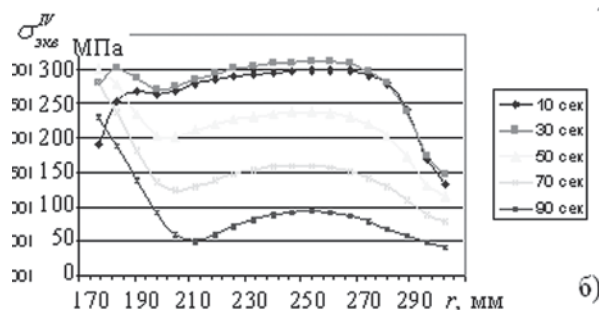
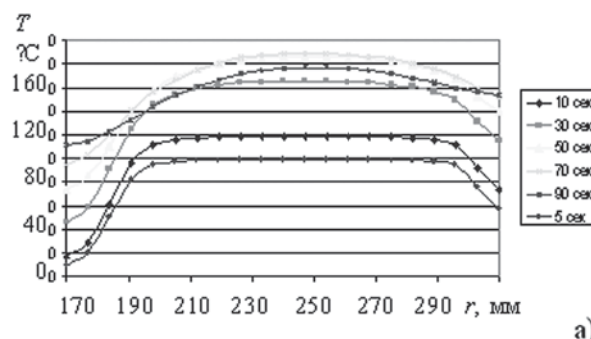


Рисунок 5 – Распределения в точках поверхности торможения вдоль радиуса стального диска при равномерном распределении контактных давлений:

а – температур;

б – эквивалентных напряжений

женных на поверхности торможения и средней плоскости диска, практически совпадают, т.е. он прогревается равномерно по всей толщине.

Графики изменения эквивалентных напряжений вдоль радиуса диска представлены на рис. 5б. Наибольшие напряжения 312 МПа возникают на 30-й секунде торможения на участке от радиуса 220 до 275 мм. Они в 2,4 раза ниже, чем в базовом варианте. Радиальные и окружные напряжения на поверхности торможения являются сжимающими, достигая 260 и 326 МПа соответственно. Однако на части диска, прилегающей к малому радиусу, наблюдаются растягивающие окружные напряжения 255 МПа.

Наиболее сильное влияние на уровни температур и напряжений, возникающих в диске тормоза в процессе торможения, оказывает распределение контактных давлений по поверхности торможения диска. Равномерное распределение давлений позволяет значительно снизить уровень температуры как на поверхности, так и по всему объему диска.



ВЫВОДЫ

С увеличением скоростей движения возрастают энергии, реализуемые в тормозных устройствах поездов. При энергиях торможения выше 16,2 МДж и скоростях движения более 140 км/ч применение колодочного тормоза признано нецелесообразным. Ведутся работы по созданию и использованию дисковых тормозов, поиску новых материалов для тормозных дисков и накладок, оптимальных конструкций дискового тормоза.

Выполненное авторами компьютерное моделирование нестационарных температурных полей и напряжений, возникающих в диске тормоза при экстренном торможении, позволило установить влияние конструктивного исполнения диска, его толщины, физико-механических характеристик материала диска, характера распределения давлений на поверхностях торможения на его теплонапряженность.

Влияние толщины несамовентилирующегося диска неоднозначно. С увеличением толщины возрастают градиенты температур по толщине диска и температурные напряжения. С уменьшением толщины возрастают максимальные температуры на его поверхностях торможения. Предпочтительной оказалась толщина 40 мм. Использование самовентилирующихся дисков, выполненных из материалов с высокими значениями коэффициентов теплопроводности, позволяет эффективно отвести тепло и приводит к снижению уровня температур, их более равномерному распределению по объему диска, существенному снижению температурных напряжений.

Одним из перспективных направлений совершенствования дискового тормоза является разработка конструкций тормозного башмака и колодки, обеспечивающих улучшение характера распределения давлений на поверхностях торможения диска. При равномерном распределении давлений удастся более чем в два раза снизить уровни температур и напряжений в диске.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потенциал и пределы возможностей колодочного тормоза // Железные дороги мира. – 2004. – № 4. – С. 35–45.
2. Перспективы развития автоматических тормозов железнодорожного подвижного состава / Под ред. Ясенцева В.Ф. – М.: Транспорт, 1983. – 112 с.
3. Фрикционные материалы для тормозов // Железные дороги мира. – 2003. – № 7. – С. 43–47.
4. Современные тормозные системы // Железные дороги мира. – 2003. – № 4. – С. 40–44.
5. Иноземцев В.Г., Гребенюк П.Т. Нормы и методы расчета автотормозов. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
6. Тищенко П.А. Нестационарные температурные поля в элементах дискового тормоза скоростного вагона с учетом неустойчивости теплового контакта: дис. ... канд. техн. наук. – Брянск, 2003. – 175 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА

Описаны новые методы и средства измерения параметров и характеристик устройств токосъема, применяемые в ходе линейных и лабораторных испытаний в рамках исследований по повышению скоростей движения магистрального электроподвижного состава.

Достоверную оценку качества и надежности токосъема при определении характеристик взаимодействия различных вариантов контактных подвесок и токоприемников можно получить с помощью одного из наиболее перспективных и универсальных методов измерений – видеоанализа процессов, происходящих в элементах устройств токосъема.

Метод основан на анализе видеозаписи состояния узлов контактных подвесок и токоприемников, осуществленной в процессе проведения экспериментальных исследований.

В настоящее время творческим коллективом лаборатории «Контактные сети и линии электропередачи» ОмГУПС ведется активная разработка и внедрение методов видеоанализа при изучении процессов, происходящих в устройствах токосъема.

Разработанный в ОмГУПС универсальный программный комплекс «ТехноСканер» позволяет распознавать видеоинформацию и получать численные значения параметров, указываемых оператором в зависимости от целей измерения [1]. Универсальный характер и гибкость программного комплекса позволяют использовать его при решении широкого круга задач, связанных с исследованием характеристик токосъемных устройств.

Наиболее пригодными для регистрации и анализа параметрами взаимодействия токоприемников и контактных подвесок, кроме контактного нажатия, являются продолжительность и интенсивность искрения, а также суммарное время отрывов полоза токоприемника от контактного провода.

Поскольку процесс искрения сопровождается выделением значительного количества световой энергии, его запись можно производить при помощи видеорегистрирующей аппаратуры.

Выполнять непосредственную запись процесса токосъема при помощи типовой видеокамеры с последующим выделением электродуговых образований в кадре видеосъемки не представляется возможным ввиду конструктивных особенностей полупроводниковой регистрирующей матрицы видеокамеры. Электродуговые процессы недостаточно четко различаются на фоне неба в светлое время суток, а при большой

интенсивности засвечивают кадр из-за резкого изменения освещенности.

Точная регистрация искрения достигается за счет установки на крыше электроподвижного состава (ЭПС) специального фильтра-отражателя, выделяющего световые волны в определенном частотном диапазоне, соответствующем частотам свечения электрической дуги. Специальное покрытие фильтра-отражателя обеспечивает отсутствие бликов от посторонних источников освещения (в том числе и от солнечного света).

На рис. 1 приведена схема размещения на крыше ЭПС оборудования для регистрации искрения. Размеры отражающей пластины соответствуют длине полоза токоприемника, что позволяет фиксировать электродуговые процессы во всем диапазоне перемещений контактного провода. Угол наклона и расположение фильтра-отражателя определяются экспериментально из условия наилучшего отражения искрения.

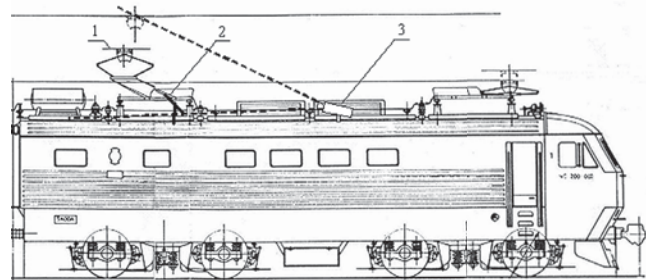


Рисунок 1 – Схема установки оборудования на подвижном составе для регистрации искрения в процессе токосъема

Искры, возникающие в процессе взаимодействия токоприемника 1 с контактным проводом, отражаются в фильтре-отражателе 2 и регистрируются видеокамерой 3. Информация с видеокамеры поступает на вычислительный комплекс. В кадре определяется площадь отраженной электрической дуги и интенсивность ее свечения (рис. 2).

В результате обработки всего массива видеоинформации, полученной в ходе поездки, определяются суммарная интенсивность и длительность искрения.



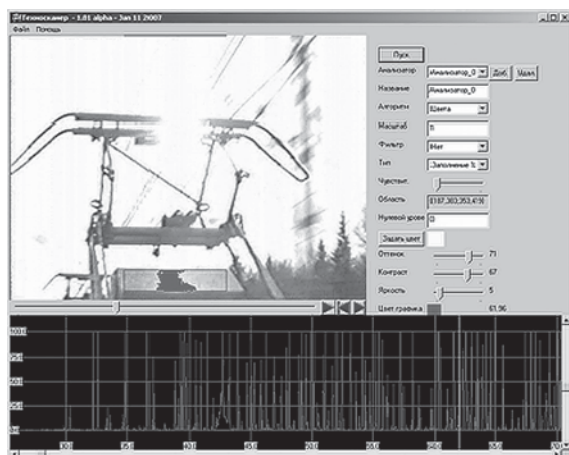


Рисунок 2 – Анализ интенсивности искрения в процессе токосъема

Для определения количества отрывов полоза токоприемника от контактного провода и их общей длительности информация об искрении подвергается обработке, в ходе которой определяются случаи искрения длительностью свыше 0,08 с. Эти случаи квалифицируются как отрывы [2]. В дальнейшем продолжительность каждого из отрывов суммируется для получения общей длительности нарушения токосъема в ходе поездки.

Поскольку возникновение электрической дуги в процессе токосъема представляет собой скоротечный процесс длительностью от 0,01 до 0,2 с, для точной регистрации интенсивности и продолжительности искрения необходимо использовать высокоскоростной видеорегистратор. Видеокамера должна обеспечивать скорость съемки не менее 100 кадров в секунду, что соответствует минимальному регистрируемому интервалу в 0,01 с. При съемке с такой частотой обеспечивается достоверное отделение случаев частого повторяющегося искрения от длительных дуговых образований, связанных с отрывами полоза токоприемника от контактного провода.

Применение видеокамер общего назначения с частотой съемки до 25 кадров в секунду дает возможность регистрировать искрение в интервалах времени до 0,04 с, что является недостаточным при исследовании быстротекущих электродуговых процессов.

По данным, полученным в ходе измерений, можно судить о качестве токосъема, используя коэффициенты искрения $k_{ис}$ и относительного отрыва токоприемника от контактного провода $k_{от}$, %:

$$k_{ис} = \frac{\sum t_{ис}}{t} \cdot 100; \quad k_{от} = \frac{\sum t_{от}}{t} \cdot 100,$$

где $\sum t_{ис}$, $\sum t_{от}$ – суммарная продолжительность искрения и единичных нарушений контакта за время t соответственно [3].

Привязка измерений к местности осуществляется на основе видеоинформации. В процессе анализа изображения отмечаются моменты прохода опор контактной сети. На основе этой информации происходит разбивка данных измерений по пролетам анкерных участков контактной сети.

В эксплуатации, в том числе и опытной, регулярно возникает необходимость сбора информации о перемещениях токоприемников в ходе взаимодействия с контактной сетью на высокой скорости. Существующие технические ограничения (200 км/ч) на применение ВИКСа в ходе проведения испытаний требуют переноса регистрирующей аппаратуры на локомотив, движущийся без вагонов. Использование системы видеоизмерения позволяет сократить комплект аппаратуры на крыше ЭПС до нескольких видеокамер (рис. 3), при этом токоприемники не требуют никаких доработок.

Регистрируемая видеоинформация позволяет получить массив необходимых данных для определения вертикальных, продольных, поперечных перемещений токоприемника и поворотов полоза в трех плоскостях.

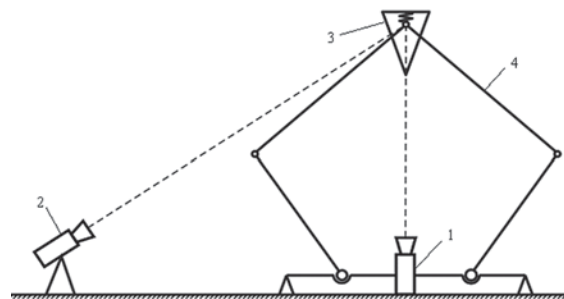


Рисунок 3 – Система регистрации перемещений полоза и рам токоприемника

В предложенной системе видеорегистратор 1 фиксирует перемещения и повороты элементов токоприемника в горизонтальной плоскости. Видеорегистратор 2 определяет проекции перемещений полоза и системы подвижных рам на плоскость, перпендикулярную его оптической оси, благодаря чему становится возможным получить полную и точную картину перемещения узлов токоприемника в процессе токосъема [4].

Для обеспечения точного определения положения элементов токоприемника в пространстве на них прикрепляются специальные метки из светоотражающей пленки. Благодаря своей яркой расцветке метки четко различимы в условиях неблагоприятного визуального окружения, например: при слабом освещении или на фоне проводов контактной подвески и неба (рис. 4).

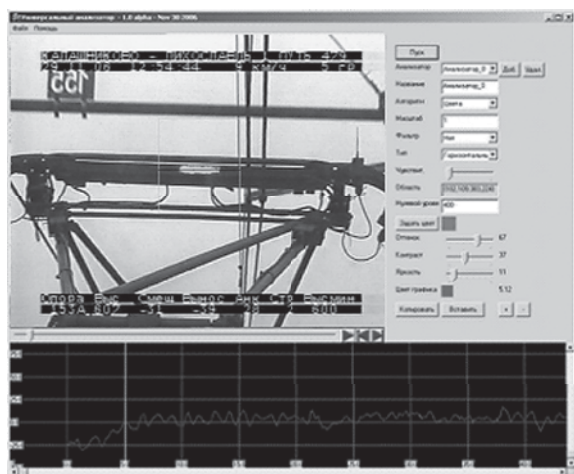


Рисунок 4 – Определение высотного положения токоприемника по видеоизображению

Масштабирование кадра необходимо задать таким образом, чтобы область регистрации в плоскости перемещений токоприемника составляла около 500 – 600 мм. Такая конфигурация позволяет достичь точности измерения до 1 мм при стандартном разрешении видеорегистрирующей матрицы 720x576 точек.

Обработка потока видеоинформации может происходить непрерывно в реальном масштабе времени на информационно-вычислительном комплексе на борту ЭПС либо позднее на основе анализа полученных ранее видеозаписей.

Определение высотного положения токоприемника относительно уровня головки рельса (УГР) выполняется на основе предварительной калибровки анализирующего комплекса, в ходе которой определяется высотное положение калибровочной метки, служащей началом отсчета при анализе видеоинформации.

Результатами обработки данных видеосъемки являются высотное положение токоприемника с привязкой к анкерным участкам (рис. 5), а также ряд сопутствующих статистических характеристик.

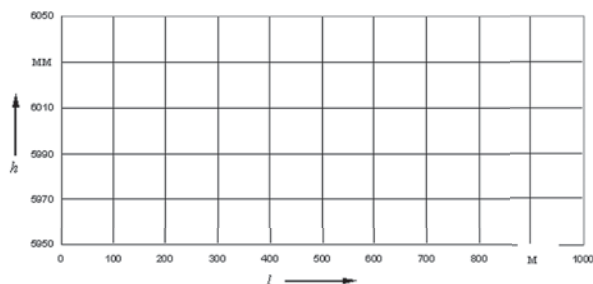


Рисунок 5 – Высотное положение токоприемника ЭПС в анкерном участке

Стационарные видеорегистраторы, расположенные вблизи пути, позволяют исследовать параметры взаимодействия контактной подвески и токоприемника во время его прохождения по участку. Анализ видеозаписей позволяет оценить характер работы и надежность отдельных узлов и систем контактной подвески, в том числе фиксаторов, воздушных стрелок, секционных изоляторов и сопряжений анкерных участков.

Перемещения и колебания контактных проводов 1 и несущих тросов 2 при проходе токоприемника 3 фиксируются видеорегистратором 4. Поток видеоданных через аналогоцифровой преобразователь 5 поступает на ЭВМ 6 (рис. 6). Программа видеоанализа распознает изображение контактного провода с точностью до 1 мм [5].

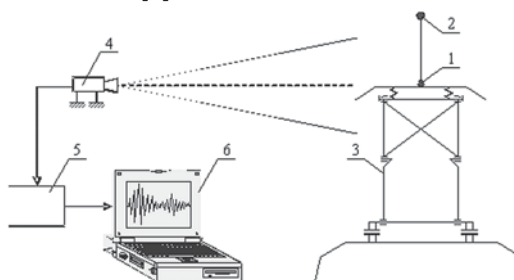


Рисунок 6 – Установка для регистрации перемещений контактных проводов.

После завершения очередного сеанса видеозаписи выполняется обработка информации. Методика позволяет оценивать отжатия проводов, декремент колебаний, скорость электроподвижного состава, наличие искрения при проходе токоприемника, а также выполнять оперативную оценку значений контактного нажатия в исследуемой зоне.

Видеорегистраторы устанавливаются со стороны поля на изолированных вышках (лейтерах) и фиксируются на штативах для обеспечения устойчивости к вибрациям от движений оператора и проходов ЭПС (рис. 7).



Рисунок 7 – Видеосъемка прохода токоприемников электровоза с вышек

При исследовании условий работы сопряжений контактной сети необходимо обращать внимание на отжатие проводов рабочей ветви в подопорном узле и условия прохода токоприемником зоны подхвата проводов рабочей и нерабочей ветвей сопряжения. Из-за конструктивных особенностей фиксаторных узлов в переходном пролете при критическом отжатии контактного провода рабочей ветви может произойти удар токоприемника о фиксатор отходящей ветви, что приведет к выходу из строя токоприемника и контактной подвески.

В зоне подхвата происходит переход токоприемника с контактного провода одного анкерного участка на провод следующего анкерного участка. В момент перехода возможны проявления неблагоприятных условий токосъема, таких как дугообразование и значительные динамические воздействия на контактные провода и ползот токоприемника.

На контактные провода крепятся метки из цветной светоотражающей пленки, позволяющие разделять контактные провода различных анкерных участков в кадре видеосъемки (рис. 8).

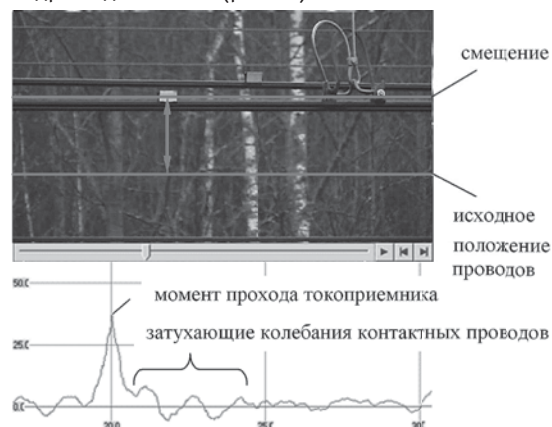


Рисунок 8 – Определение перемещений контактных проводов по данным видеосъемки

Наличие меток позволяет отличить контактные провода друг от друга даже в моменты их пересечения в кадре. На основе известных размеров меток становится возможным точно определить масштаб изображения, кроме того, метки позволяют идентифицировать контактные провода на неоднородном фоне (деревья, контактная подвеска соседнего пути и т. д.).

В результате обработки получают кривые отжатия контактных проводов, по которым можно судить о характере работы контактной подвески в зоне сопряжений (рис. 9).

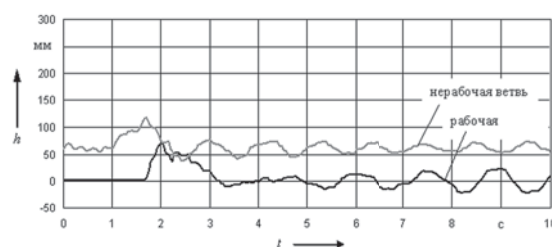


Рисунок 9 – Кривые перемещения контактных проводов при проходе токоприемника в переходном пролете в зоне сопряжения

Разработанные методики и средства измерений прошли апробацию в лабораторных условиях, а также при проведении линейных испытаний на линии Москва – Санкт-Петербург, где зарекомендовали себя как удобные, точные и эффективные средства измерения параметров устройств токосъема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров О. А., Смердин А. Н., Голубков А. С. Программное обеспечение для распознавания видеoinформации «Техно-Сканер» / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613413 от 29.09.06.
2. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / И. А. Беляев, В. А. Вологин. – М.: Транспорт, 1982. – 190 с.
3. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. – М.: Интекс, 2006. – 256 с.
4. Применение цифровых средств измерения для определения динамических характеристик устройств токосъема / О. А. Сидоров, А. Н. Смердин, А. С. Голубков, В. А. Жданов // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы VII Международной научнопрактической конференции / Южно-Российский гос. техн. унт. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 1. – С. 25-27.
5. Сидоров О. А., Смердин А. Н., Голубков А. С. Методика измерения отжатий проводов контактных подвесок с использованием скоростных видеонализаторов // Электрификация и развитие энергосберегающей инфраструктуры и электроподвижного состава на железнодорожном транспорте: Тез. докл. Третьего международного симпозиума «Eltrans`2005» / Петербургский гос. унт путей сообщения. – СПб: ПГУПС, 2005. – С. 128-129.

ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ 12- И 24-ПУЛЬСОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОВЫШЕННОГО НАПЯЖЕНИЯ 6,6 И 13,2 КВ

Для оценки и выбора схем преобразовательных агрегатов повышенного напряжения выполнены расчеты внешних характеристик, эквивалентного мешающего (псофометрического) напряжения и коэффициента мощности 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей с уровнем напряжения 3,3; 6,6 и 13,2 кВ.

Внешние характеристики выпрямителей U_{dB} представляют собой зависимость выпрямленного напряжения I_{dB} от изменения тока преобразователя.

Внешние характеристики 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей можно найти из выражения [1, 2]

$$U_{dB} = U_{do} - K_{CX} \cdot \frac{3}{p} \cdot X_{VB} \cdot I_{dB}, \quad (1)$$

где

U_{dB} – выпрямленное напряжение;

U_{do} – выпрямленное напряжение при отсутствии нагрузки (на холостом ходе);

I_{dB} – ток преобразователя;

K_{CX} – коэффициент схемы выпрямления;

X_{VB} – индуктивное сопротивление рассеяния фазы преобразовательного трансформатора выпрямителя.

Коэффициент схемы равен:

$K_{CX} = 1$ – для 6-пульсовой мостовой схемы;

$K_{CX} = 2$ – для 12-пульсовой мостовой схемы с последовательным соединением 2-х мостов;

$K_{CX} = 4$ – для 24-пульсовой мостовой схемы с последовательным соединением 4-х мостов.

Напряжение при холостом ходе выпрямителя определяется для 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей из выражения [1, 2]:

$$U_{do} = 2,34 \cdot K_{CX} U_{2ФВ}, \quad (2)$$

где

$U_{2ФВ}$ – фазное напряжение выпрямительных обмоток преобразовательного трансформатора.

Индуктивное сопротивление X_{VB} равно сумме индуктивных сопротивлений фазы питающей сети пере-

менного тока X_C , сопротивления рассеяния фазы понизительного трансформатора $X_{ПТ}$ и сопротивления рассеяния фазы преобразовательного трансформатора выпрямителя $X_{ТВ}$, приведенных к напряжению $U_{2ФВ}$ выпрямительных обмоток преобразовательного трансформатора [1]

$$X_{VB} = X_C + X_{ПТ} + X_{ТВ}, \quad (3)$$

$$X_{VB} = 3 \cdot U_{2ФВ}^2 \cdot \left(\frac{1}{S_K} + \frac{10 \cdot U_{КПТ}}{S_{ПТ}} + \frac{10 \cdot U_{КТВ}}{S_{ТВ}} \right) \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

где

$U_{КПТ}$ – напряжение короткого замыкания понизительного трансформатора, %;

$U_{КТВ}$ – напряжение короткого замыкания преобразовательного трансформатора выпрямителя, %;

S_K – мощность короткого замыкания на шинах переменного тока, МВА;

$S_{ПТ}$ – мощность понизительного трансформатора, МВА;

$S_{ТВ}$ – мощность преобразовательного трансформатора выпрямителя, МВА.

В случае применения многообмоточных трансформаторов при 12 и 24-пульсовых схемах выпрямителей под $U_{КТВ}$ понимается коммутационное напряжение короткого замыкания U_K .

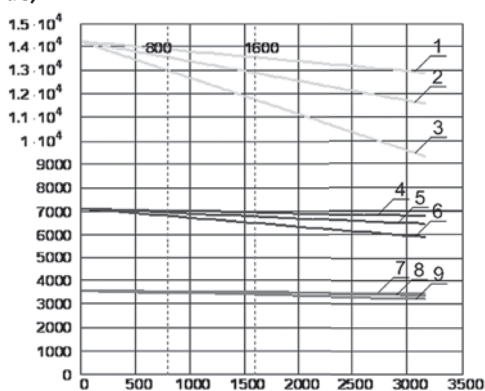
Для оценки внешних характеристик 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6 и 13,2 кВ разработана методика, составлены алгоритмы и программы расчета на ПЭВМ.

Результаты расчета внешних характеристик для всех вариантов схем 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6 и 13,2 кВ приведены на рис. 1 — 4 и сведены в табл. 1.

Из анализа внешних характеристик можно сделать выводы о том, что при соответствующих номинальных токах преобразователей 3150 А, 1600 А и 800 А уменьшение напряжения на выходе выпрямителей 13,2 кВ в 4 раза больше, чем у выпрямителей 3,3 кВ, и в 2 раза больше, чем у выпрямителей 6,6 кВ, а уменьшение напряжения на выходе выпрямителей 6,6 кВ в 2 раза больше, чем у выпрямителей 3,3 кВ.

Видно, что при переходе от 6-пульсовых схем выпрямления к 12-пульсовым и 24-пульсовым схемам уменьшение напряжения на выходе выпрямителей становится меньше соответственно в 2 и 4 раза. Это положительно сказывается на обеспечении более высокого уровня напряжения в тяговых сетях.

$U_{d\delta}$, В



Id_{δ} , А

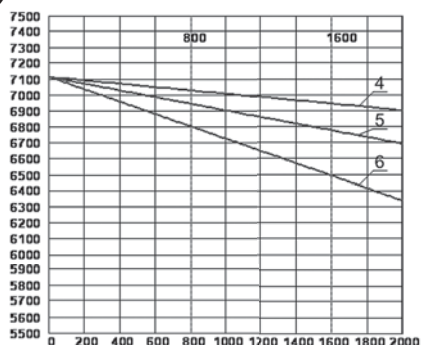
Рисунок 1 – Внешние характеристики выпрямителей повышенного напряжения:

1, 2, 3 – выпрямленное напряжение 13,2 кВ, схемы 24-, 12-, 6-пульсовые мостовые, соответственно;

4, 5, 6 – выпрямленное напряжение 6,6 кВ, схемы 24-, 12-, 6-пульсовые мостовые, соответственно;

7, 8, 9 – выпрямленное напряжение 3,3 кВ, схемы 24-, 12-, 6-пульсовые мостовые, соответственно.

$U_{d\delta}$, В



Id_{δ} , А

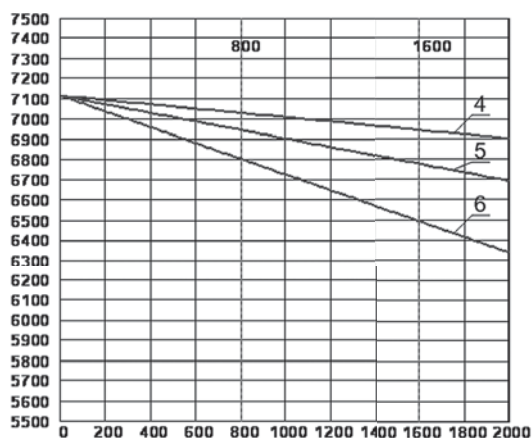
Рисунок 2 – Внешние характеристики выпрямителей повышенного напряжения 13,2 кВ, выполненных по схемам:

1 – 24-пульсовой мостовой;

2 – 12-пульсовой мостовой;

3 – 6-пульсовой мостовой.

$U_{d\delta}$, В



Id_{δ} , А

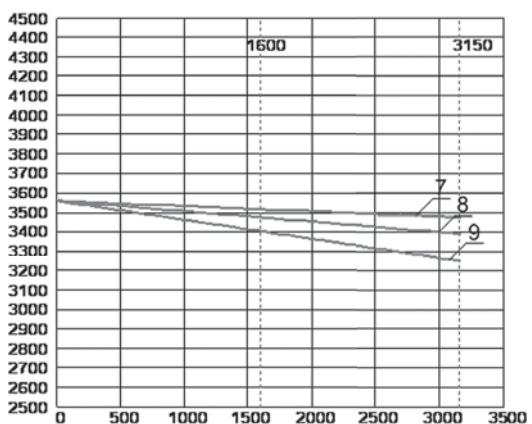
Рисунок 3 – Внешние характеристики выпрямителей повышенного напряжения 6,6 кВ, выполненных по схемам:

4 – 24-пульсовой мостовой;

5 – 12-пульсовой мостовой;

6 – 6-пульсовой мостовой.

$U_{d\delta}$, В



Id_{δ} , А

Рисунок 4 – Внешние характеристики типовых выпрямителей

напряжением 3,3 кВ, выполненных по схемам:

7 – 24-пульсовой мостовой;

8 – 12-пульсовой мостовой;

9 – 6-пульсовой мостовой.





Таблица 1— Результаты расчета внешних характеристик 6-, 12-, 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6; 13,2 кВ

№ варианта	Тип преобразователя	Схема выпрямления	Выпрямленное напряжение х.х. U_{d0} , В	Выпрямленное напряжение при номинальном токе $U_{dн}$, В	Уменьшение выпрямленного напряжения ΔU_d , В
1.	Выпрямитель 13,2 кВ / 800 А	24-пульсовая	14227	13900	327
		12-пульсовая	14227	13550	677
		6-пульсовая	14227	13000	1227
2.	Выпрямитель 6,6 кВ / 1600 А	24-пульсовая	7114	6950	164
		12-пульсовая	7114	6780	334
		6-пульсовая	7114	6500	614
3.	Выпрямитель 3,3 кВ / 3150 А	24-пульсовая	3557	3480	77
		12-пульсовая	3557	3400	157
		6-пульсовая	3557	3250	307

Для определения параметров сглаживающих устройств тяговых подстанций и оценки влияния преобразователей на линии связи необходимо знать величины высших гармоник выпрямленного напряжения.

Эквивалентное мешающее напряжение на выходе выпрямителя до фильтра определяется из выражения

$$U_{ЭМ} = \sqrt{\sum_{k=2}^{48} (U_k \cdot P_k)^2} \quad (5)$$

где

U_k — действующее значение напряжения гармоники k -го порядка;

P_k — коэффициент акустического воздействия по ГОСТ 2679-785.

Эквивалентное мешающее напряжение на выходе преобразователя после фильтра определяется из выражения

$$K_M = \frac{P_1}{S_1} = \frac{I_{1(1)}}{I_1} \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

где

I_1 — коэффициент сглаживания фильтра для гармоники k -го порядка.

В данной статье поставлена задача оценить уровень эквивалентного мешающего напряжения на выходе преобразователей до фильтра.

Для оценки величины высших гармонических составляющих на выходе 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3 кВ; 6,6 кВ и 13,2 кВ разработана методика, составлены алгоритмы и программы расчета на ЭВМ эквивалентного мешающего

напряжения в зависимости от токов нагрузки выпрямителей.

Результаты расчета эквивалентного мешающего напряжения для 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6 и 13,2 кВ во всем диапазоне нагрузок до 3150 А, приведены на рис. 5.

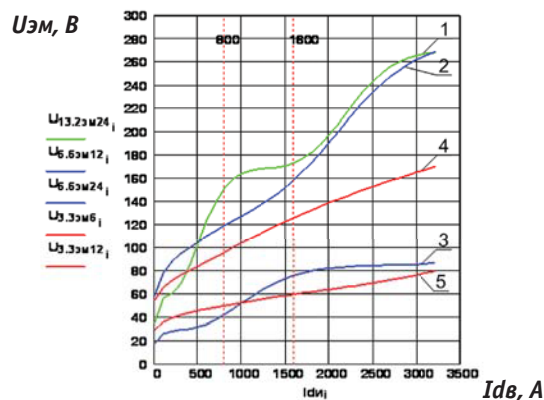


Рисунок 5 — Эквивалентное мешающее (психофотометрическое) напряжение в зависимости от тока нагрузки выпрямителей повышенного напряжения:

1 - выпрямленное напряжение 13,2 кВ; схема — 24-пульсовая мостовая;

2 - выпрямленное напряжение 6,6 кВ; схема — 12-пульсовая мостовая;

3 - выпрямленное напряжение 6,6 кВ; схема — 24-пульсовая мостовая;

4 - выпрямленное напряжение 3,3 кВ; схема — 6-пульсовая мостовая;

5 - выпрямленное напряжение 3,3 кВ; схема — 12-пульсовая мостовая.



Результаты расчета эквивалентного мешающего напряжения для номинальных нагрузок 3150 А, 1600 А и 800 А преобразователей на 3,3, 6,6 и 13,2 кВ соответственно сведены в табл. 2.

При одинаковых нагрузках эквивалентное мешающее напряжение 6, 12 и 24 преобразователей напряжением 6,6 кВ значительно выше, чем у соответствующих 6-, 12- и 24-пульсовых преобразователей напряжением 3,3 кВ. А эквивалентное мешающее напряжение преобразователей на 13,2 кВ еще выше, чем у преобразователей на 6,6 кВ и 3,3 кВ.

Однако, как видно из графиков на рис. 5 и результатов расчета, приведенных в таблице 2 (за счет снижения номинальных токов с 3150 А до 1600 А и 800 А) эквивалентное мешающее напряжение на выходе 24-пульсового выпрямителя на 13,2 кВ и на выходе 12-пульсового выпрямителя на 6,6 кВ не превышает значений ЭМН на выходе 6-пульсового выпрямителя на 3,3 кВ, что не требует усиления фильтрующего устройства, применяемого в этом случае.

Следует отметить, что ЭМН на выходе 24-пульсового выпрямителя напряжением 6,6 кВ при нагрузке 1600 А не превышает ЭМН на выходе 12-пульсового выпрямителя напряжением 3,3 кВ при нагрузке 3150 А, что позволяет использовать более простые однозвенные резонансно-аперриодические фильтрующего устройства, имеющие меньшую стоимость.

Одним из основных энергетических показателей эффективности работы преобразовательного оборудования является коэффициент мощности.

Коэффициент мощности K_M многопульсовых преобразователей равен отношению активной мощности P_1 к полной S_1 [2—4]:

$$K_M = \frac{P_1}{S_1} = \frac{I_{1(1)}}{I_1} \cdot \cos \varphi_{1(1)} = K_{И} \cdot K_C, \quad (7)$$

где K_M — коэффициент мощности;
 $K_{И}$ — коэффициент искажения формы кривой сетевого тока,

$$K_{И} = \frac{I_{1(1)}}{I_1};$$

K_C — коэффициент сдвига первой гармоники тока относительно напряжения, $K_C = \cos \varphi_{1(1)}$;

$I_{1(1)}$ — действующее значение первой гармоники тока;

I_1 — действующее значение полного несинусоидального тока;

$\cos \varphi_{1(1)}$ — угол сдвига первой гармоники относительно напряжения.

Коэффициент искажения $K_{И}$ формы сетевого тока m — пульсовых выпрямителей при работе на х. х. можно определить из выражения [1, 2]

$$K_{И} = \frac{m}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right), \quad (8)$$

где m — кратность пульсаций кривой выпрямленного напряжения.

$m = 6$ — для 6-пульсовой схемы;

$m = 12$ — для 12-пульсовой схемы;

$m = 24$ — для 24-пульсовой схемы.

Для 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей коэффициент формы $K_{И}$ сетевого тока в зависимости от величины нагрузки изменяется в следующих пределах:

$K_{И}(6) = 0,955 \dots 0,980$ — для 6-пульсовой схемы;

$K_{И}(12) = 0,988 \dots 0,995$ — для 12-пульсовой схемы;

$K_{И}(24) = 0,997 \dots 0,999$ — для 24-пульсовой схемы.

Таблица 2 — Результаты расчета эквивалентного мешающего (психофотометрического) напряжения 6-, 12-, 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6; 13,2 кВ

№ варианта	Тип преобразователя	Схема выпрямления	Эквивалентное мешающее напряжение при токе 3150 А, В	Эквивалентное мешающее напряжение при токе 1600 А, В	Эквивалентное мешающее напряжение при токе 800 А, В
1	Выпрямитель 13,2 кВ / 800 А	24-пульсовая	268	170	152
2	Выпрямитель 6,6 кВ / 1600 А	12-пульсовая	268	160	120
3		24-пульсовая	85	76	43
4	Выпрямитель 3,3 кВ / 3150 А	6-пульсовая	170	125	95
5		12-пульсовая	80	60	50





Коэффициент сдвига КС диодных выпрямителей зависит от углов коммутации токов γ_B и может быть приближенно определен из выражения [2, 3]

$$K_C = \cos \varphi_{I(1)} \approx \cos\left(\frac{\gamma_B}{2}\right), \quad (9)$$

где γ_B – угол коммутации токов диодов выпрямителя.

Более точно коэффициент КС можно определить по формуле [1, 2]

$$K_C = \cos \varphi_{I(1)} = \cos \left[\arctg \left(\frac{\gamma_B - \cos \gamma_B \cdot \sin \gamma_B}{(\sin \gamma_B)^2} \right) \right], \quad (10)$$

Для оценки коэффициента мощности 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3 кВ, 6,6 кВ и 13,2 кВ разработана методика, составлены алгоритмы и программы расчета на ПЭВМ.

Результаты расчета коэффициента мощности для 6-, 12- и 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3 кВ, 6,6 кВ и 13,2 кВ во всем диапазоне нагрузок до 3150 А приведены на рис. 6.

Видно, что при увеличении пульсности преобразователей с 6-пульсовой схемы выпрямления до 12-пульсовой и далее до 24-пульсовой коэффициент мощности выпрямителей растет.

При одинаковых нагрузках с увеличением напряжения преобразователей с 3,3 кВ до 6,6 кВ и

далее до 13,2 кВ коэффициент мощности уменьшается.

В связи с тем что номинальные токи преобразователей с увеличением напряжения уменьшаются с 3150 А для выпрямителей на 3,3 кВ до 1600 А – для выпрямителей на 6,6 кВ и до 800 А – для выпрямителей на 13,2 кВ, определены средние значения коэффициентов мощности выпрямителей при их работе от режима х. х. до соответствующих номинальных токов. Результаты расчета средних значений коэффициентов мощности сведены в табл. 3.

Из анализа графиков на рис. 6 и данных таблицы 3 можно сделать следующие выводы.

У преобразователей с повышенным напряжением 13,2 кВ коэффициент мощности соответствует необходимому уровню только у 24-пульсовой схемы выпрямления, у 6- и 12-пульсовых схем коэффициенты мощности ниже, чем у применяемых 6- и 12-пульсовых выпрямителей на 3,3 кВ.

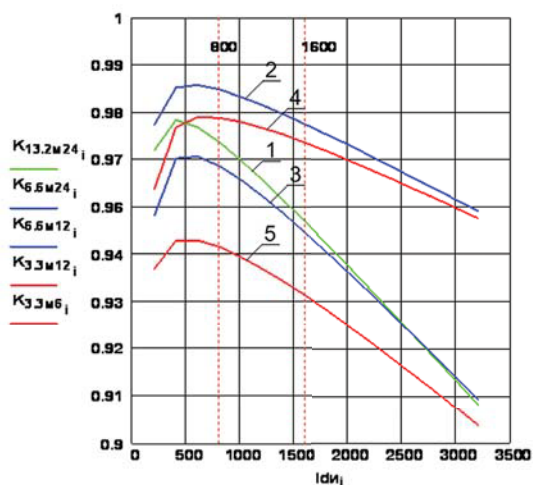
Преобразователи с повышенными напряжениями 6,6 кВ для обеспечения необходимого уровня коэффициента мощности целесообразно применять только по 24- и 12-пульсовым схемам выпрямления; 6-пульсовая схема на 6,6 кВ по этому показателю уступает применяемому на тяговых подстанциях 6 и 12-пульсовым выпрямителям на 3,3 кВ.

Таблица 3 – Результаты расчета коэффициента мощности 6-, 12-, 24-пульсовых выпрямителей напряжением 3,3; 6,6; 13,2 кВ

№ варианта	Тип преобразователя	Схема выпрямления	Максимальное значение коэффициента мощности	Среднее значение коэффициента мощности
1	Выпрямитель 13,2 кВ / 800 А	24-пульсовая	0,978	0,976
2	Выпрямитель 6,6 кВ / 1600 А	24-пульсовая	0,986	0,982
3		12-пульсовая	0,971	0,964
4	Выпрямитель 3,3 кВ / 3150 А	12-пульсовая	0,979	0,971
5		6-пульсовая	0,946	0,929



K_M



I_{dB}, A

Рис. 6. Коэффициент мощности в зависимости от тока нагрузки выпрямителей повышенного напряжения:

- 1 - выпрямленное напряжение 13,2 кВ; схема 24-пульсовая мостовая;
- 2 - выпрямленное напряжение 6,6 кВ; схема 24-пульсовая мостовая;
- 3 - выпрямленное напряжение 6,6 кВ; схема 12-пульсовая мостовая;
- 4 - выпрямленное напряжение 3,3 кВ; схема 12-пульсовая мостовая;
- 5 - выпрямленное напряжение 3,3 кВ; схема 6-пульсовая мостовая.

Из анализа результатов расчета внешних характеристик и энергетических показателей установлено, что из всех рассмотренных вариантов преобразовательных агрегатов повышенного напряжения целесообразно применять при напряжении 13,2 кВ 24-пульсовые, а при напряжении 6,6 кВ 12- и 24-пульсовые схемы выпрямления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов С.Д., Бей Ю.М., Гуральник Я.Д., Чаусов О.Г. Полупроводниковые агрегаты тяговых подстанций. – М.: Транспорт, 1979. – 264 с.
2. Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока. – Л.: Энергия, 1973. – 303 с.
3. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций / Б.С. Барковский, Г.С. Магай, В.П. Маценко и др.; Под ред. М.Г. Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.
4. Неугодников А.Ю. Преобразовательное оборудование с повышенными энергетическими показателями для тяговых подстанций постоянного тока // Электроснабжение железных дорог сегодня и завтра: Сб. научн. тр. – Екатеринбург: УрГУПС. — 2006. – Вып. 53(136). – С. 113–115.

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Широко внедряемые микропроцессорные комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики (МП ЖАТ), такие как микропроцессорные и релейно-процессорные централизации стрелок и сигналов (соответственно МПЦ и РПЦ), центры диспетчерского управления (ЦДУ), микропроцессорные горочные централизации (МП ГАЦ), диктуют требования по обеспечению их бесперебойным электропитанием.

При этом системы электропитания (СЭ), построенные на основе традиционной архитектуры и на устаревшей элементной базе, не могут в полной мере удовлетворить данное требование. Отсутствие в отрасли необходимой нормативной базы и концепции построения бесперебойных СЭ усложнили ситуацию. Поэтому в ЦКЖТ ПГУПС авторами были проведены исследования в области построения систем бесперебойного питания и была разработана СЭ МП ЖАТ на базе устройств электропитания микропроцессорных комплексов УЭП-МПК с применением устройств бесперебойного питания (УБП). В октябре 2004 г. УЭПМПК была введена в эксплуатацию на станции С-Петербург-Сортировочная-Московская, а в июне 2007 г. принята в постоянную эксплуатацию и рекомендована к тиражированию. Данная СЭ относится к категории систем электропитания с полным аккумуляторным резервом. Ее обобщенная структура приведена на рис. 1.

В состав СЭ входят следующие функциональные элементы:

- вводные устройства, содержащие средства отключения и защиты;
- комплектные распределительные устройства КРУ, содержащие коммутационные приборы, шины питания, средства защиты автоматики и контроля, вторичные источники электропитания (трансформаторы, выпрямители и преобразователи);
- система бесперебойного питания (СБП);
- автономные источники электропитания - аккумуляторные батареи (АБ) и дизель-генераторные агрегаты (ДГА).

Вводные устройства аккумуляторной батареи (ВУБ) и фидеров (в т.ч. ДГА) (ВУФ) обеспечивают:

- видимый разрыв цепей согласно нормам пожарной безопасности;
- дистанционное отключение по команде дежурного по станции (ДСП);
- учет потребляемой электроэнергии;
- токовую защиту и защиту от перенапряжений.

Комплектное распределительное устройство гарантированного питания КРУ обеспечивает:

- автоматический ввод резерва (АВР) и формирование шины гарантированного питания (ШГП);
- защиту от перегрузок и перенапряжений;
- контроль и диагностику;
- гальваническую развязку нагрузки от питающей сети с помощью изолирующего трансформатора (ИТ).

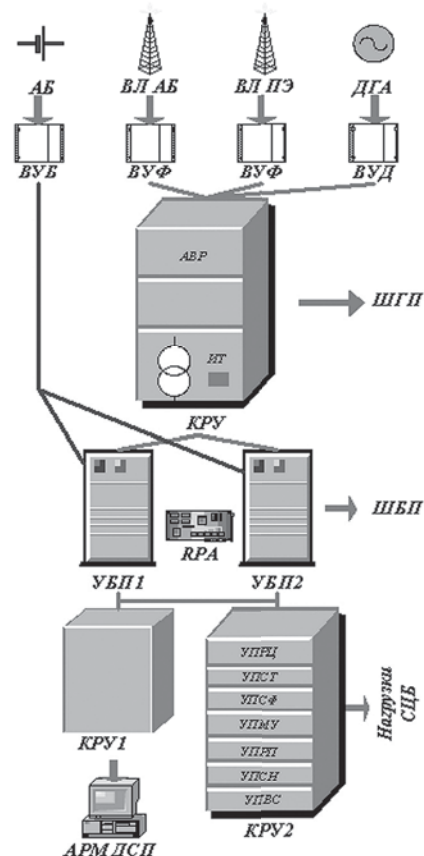


Рисунок 1— Структура системы электропитания УЭП-МПК

СБП состоит из двух УБП, включенных в параллельную резервированную архитектуру (RPA). Каждый УБП имеет свою АБ. На выходе СБП формируется шина бесперебойного питания ШБП.

СБП обеспечивает:

- непрерывность электропитания средств вычислительной техники и нагрузок СЦБ;
- необходимое качество питающего напряжения;
- содержание АБ;
- контроль и диагностику входных и выходных параметров, а также своего внутреннего состояния.

КРУ1 – комплектное распределительное устройство электропитания оборудования автоматизированных рабочих мест (АРМ) ДСП – обеспечивает:

электропитание ПЭВМ и средств отображения АРМ ДСП;

электропитание сетевого оборудования локальной вычислительной сети (ЛВС);

защиту от перегрузок и поражения электротоком обслуживающего персонала.

КРУ2 комплектное распределительное устройство бесперебойного питания обеспечивает:

электропитание нагрузок СЦБ с помощью устройств питания рельсовых цепей (УПРЦ), стрелок (УПСТ), светофоров (УПСФ), маршрутных указателей (УПМУ), релейных приборов (УРПР), собственных нужд (УПСН) и внепостовых схем (УПВС);

защиту от перегрузок и перенапряжений со стороны напольных устройств;

контроль и диагностику выходных параметров и собственного состояния.

Экономическая эффективность заключается в сокращении задержек в движении поездов при нарушениях внешнего энергоснабжения и снижении отказов дорогостоящего микропроцессорного оборудования по причине некачественного электропитания. Повышение безопасности движения поездов достигается за счет уменьшения влияния человеческого фактора и сокращения нештатных ситуаций, при которых человек-оператор вынужден выполнять функции, реализуемые аппаратурой СЦБ в штатном режиме работы и имеющей на несколько порядков большую вероятность безопасной работы, чем человек [1].

В период опытной эксплуатации УЭП-МПК на станции С-Петербург-Сортировочная-Московская Октябрьской ж.д. была выявлена закономерность, заключающаяся в неравномерном характере загрузки СБП в зависимости от технологии и объемов работы станции, размеров движения, степени заполнения приемоотправочных путей и т.п. Статистически, на основе протоколов работы СБП определен характер потребления мощности нагрузками и установлено, что предельные значения потребления обусловлены увеличением потребляемой мощности кратковременно стрелочными электроприводами и продолжительно – рельсовыми

цепями при максимальном заполнении путей. При этом до 95% общего времени наработки СЭ загрузка СБП не превышала 20-30% от максимально возможной нагрузки, на которую она была рассчитана. Обнаруженная закономерность упрощенно представлена на рис. 2. При этом в основной временной интервал, длиной t_1 , потребляемая мощность невелика и равна $P_{ср}$. Промежутку $t_1 - t_2$ соответствует увеличенное потребление электроэнергии, обусловленное технологическим процессом работы станции.

$$P = P_{ср} \text{ при } 0 < t < t_1 \text{ и } t_2 < t < t_n$$

$$P = P_{макс} \text{ при } t_1 < t < t_2$$

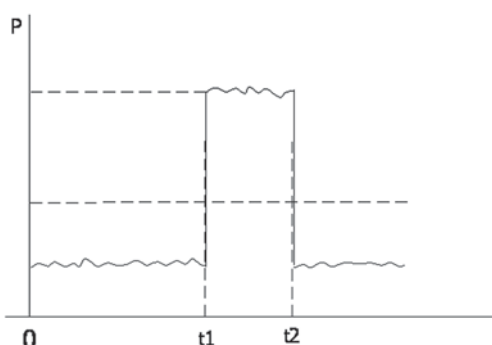


Рисунок 2 – Характер потребления мощности нагрузкой

Очевидно, что повышение коэффициента использования ресурсов влечет снижение стоимости оборудования по отношению к единице выполняемой работы. В связи с этим возникает задача выбора оптимальной мощности вводных устройств, а также выпрямительных, преобразовательных устройств и емкости аккумуляторной батареи, составляющих СБП.

Другим негативным аспектом малого значения коэффициента использования СБП является сокращение времени безотказной работы ДГА. Мощность ДГА рассчитывается исходя из мощности СБП. При этом для ДГА крайне неблагоприятна работа на нагрузку, составляющую менее 30% от его номинальной мощности [2], что имеет место в 95% случаев. В то же время ДГА в первые моменты времени после запуска не может взять на себя более 60% мощности от своего номинального значения. Следовательно, необходимо обеспечить, чтобы мощность, отбираемая от ДГА, находилась в пределах от 30 до 60% его номинальной мощности. Реализация данного требования напрямую зависит от выбора мощности СБП



с обеспечением необходимой степени ее загруженности, т. е. от оптимизации работы СБП.

Для использования оптимизационных методов при проектировании СЭ следует разработать «скелетную схему» функционирования системы, т. е. структуру взаимосвязей оптимизируемых узлов. Тогда задача оптимизации сводится к выбору таких параметров составляющих элементов и режимов их работы, которым соответствует наилучшее значение характеристического показателя качества функционирования СЭ.

Скелетную схему СЭ составляют следующие элементы (рис. 3):

- вводные устройства;
- аккумуляторная батарея;
- выпрямитель - зарядное устройство (В);
- инвертор (И).

Для соединения в проекте непрерывно действующей СБП с нагрузкой, характеризующейся неравномерным потреблением электроэнергии, предлагается подход решения задачи простой системы управления запасами [3].



Рисунок 3 – Скелетная схема системы электропитания

Рассмотрим возможные проекты. В самом простом случае мощность СБП можно выбрать с максимально возможным потреблением электроэнергии нагрузками поста ЭЦ $P_{\max}$. При этом в течение продолжительного интервала времени, которому соответствует среднее потребление электроэнергии $P_{\text{ср}}$, работа СБП будет осуществляться с недогрузкой. С другой стороны, можно было бы выбрать такой режим работы СБП, который бы позволял обеспечить требуемую энергию в нормальном режиме, а для обеспечения пиковых нагрузок использовать энергию, запасенную в АБ. В интервалах времени, когда потребление незначительно, осуществляется подзаряд АБ (пополнение запаса) для последующего использования при увеличении потребления. При этом оптимальная емкость батареи $E_{\text{опт}}$ будет складываться из емкости неприкосновенного запаса для обеспечения нагрузки при отсутствии фидера и дополнительной емкости, компенсирующей пиковое потребление.

Все промежуточные проекты отличаются от рассмотренных различными сочетаниями использования запасов накопленной электроэнергии в АБ. Задача заключается в том, чтобы выбрать оптимальный проект.

Как отмечено ранее, оптимизируемая структура СЭ включает вводное устройство внешних фидеров, выпрямитель, аккумуляторную батарею и инвертор. Характеристики энергопотребления и пиковых нагрузок предполагаются заданными, так как определяются внешними по отношению к системе факторами и зависят от эксплуатационной работы станции. Характеристический показатель качества проекта естественно выбрать в виде полных затрат, которые включают затраты на эксплуатацию питающей установки, а также капитальные вложения, связанные с приобретением оборудования СЭ. Основными независимыми переменными являются: 1) мощность ввода СЭ $P_{\text{в}}$; 2) проектная мощность инвертора $P_{\text{инв}}$; 3) проектная емкость батареи $E_{\text{пр}}$. Предполагается, что основной характеристикой СЭ является мощность нагрузок $P_{\text{н}}$, при этом должно обеспечиваться их непрерывное питание от АБ при отсутствии входного фидера в течение 1 ч.

Модель системы включает основные соотношения, с помощью которых можно описать взаимосвязи независимых переменных. Пусть $E_{\max}$ – максимальная энергия АБ. Из рис.2 следует, что количество дополнительной электроэнергии, которое должно быть запасено в АБ, равняется площади, ограниченной кривой потребления между точками t_1 и t_2 , $P_{\max}$ и $P_{\text{ср}}$.

Тогда:

$$E_{\text{доп}} = (P_{\max} - P_{\text{ср}}) (t_2 - t_1). \quad (1)$$

Инвертор должен быть рассчитан на возможность обеспечения максимальных пиковых нагрузок ЭЦ с учетом к.п.д. преобразователя k . Тогда работа СЭ определяется из условия:

$$A \geq [P_{\text{ср}} t_1 + P_{\max} (t_2 - t_1)] / k. \quad (2)$$

При этом должен обеспечиваться подзаряд АБ в период снижения нагрузок. Характеристический показатель качества проекта включает капитальные вложения в оборудование вводных и выпрямительных устройств:

$$C_1 = a_1 + a_2 P,$$

где a_1 и a_2 – эмпирические параметры, связанные с затратами на комплектацию оборудования, где константа a_1 – независимая составляющая от производительности СЭ, а коэффициент a_2 связан с изменением мощности P .



Капитальные затраты на АБ находятся с помощью зависимости:

$$C_2 = (b_1 + b_2 + b_3) S_{\text{бат}},$$

где b_1, b_2, b_3 – эмпирически определяемые константы, отражающие удельные зависимости капитальных вложений на приобретение (b_1), эксплуатационные расходы на капитальный ремонт (b_2) и содержание (b_3) АБ.

Таким образом, функцию полных издержек можно записать в следующем виде:

$$Z = a_1 + a_2 P + (b_1 + b_2 + b_3) S_{\text{бат}}. \quad (3)$$

Задача оптимизации заключается в том, чтобы минимизировать функцию (4) путем соответствующего выбора значений P и S , удовлетворяющих (1) и (2).

Решение сформулированной задачи в существенной степени зависит от параметров ($P_{\text{ср}}, P_{\text{макс}}, t_1$ и t_2). Если изобразить линии уровня функции полных затрат на плоскости с координатами P и S , то можно найти точку минимума.

Определение в этом случае оптимальной емкости АБ представляет собой классическую задачу оптимизации, для решения которой предлагается использовать так называемую модель определения наиболее экономичного размера заказа. В рамках этой модели принимается спрос λ равномерным в течение года. Стоимость выполненной работы (преобразованной энергии) СЭ составляет P . Стоимость используемой электроэнергии от фидеров равна C_f . Накопление излишней энергии в АБ нецелесообразно, поскольку стоимость хранения отлична от нуля и составляет h (затраты на эксплуатацию).

Рис. 4 иллюстрирует изменение объема запаса с течением времени. Для того, чтобы упростить задачу, предполагаем, что спрос удовлетворяется немедленно, а пополнение осуществляется сразу же, как только запасы иссякают (доходят до критического значения на уровне «А»).

В точке «0» объем запасов равен B , затем при увеличении размеров движения в СЭ расходуется часть электроэнергии АБ, и запас уменьшается с интенсивностью λ и достигает предельного значения в точке C . Дальнейшее использование запаса недопустимо, поскольку он представляет собой «неприкосновенный запас» для обеспечения аварийного режима в случае пропадания внешних фидеров. Следующий такт должен обеспечивать восстановление запаса (заряд АБ) и последующее его использование.

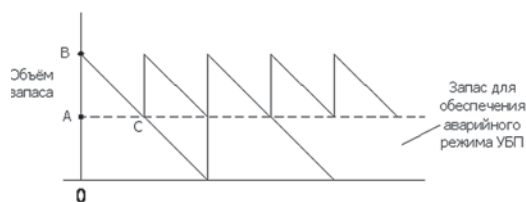


Рисунок 4 – График управления запасами АБ

Треугольник ABC представляет собой один цикл управления запасами, повторяющийся во времени. Задача заключается в определении оптимального значения B на интервале CA . Обозначим соответствующие переменные через $S_{\text{бат}}$ и T . Поскольку T есть величина промежутка времени, в течение которого при скорости расходования λ истощается запас $S_{\text{бат}}$, имеем $T = S_{\text{бат}} / \lambda$. Таким образом, задача сводится к нахождению оптимального значения $S_{\text{бат}}$. Когда $S_{\text{бат}}$ мало, переменная T также принимает малое значение. При этом частота заказов велика и требуется меньшая емкость АБ, но увеличиваются издержки на водновыпрямительные устройства. С другой стороны, наличие большой емкости АБ (запасов) приводит к увеличению затрат на хранение (эксплуатационные расходы на содержание, капитальный ремонт и собственно капитальные вложения в АБ). В этом случае задача управления запасами состоит в определении оптимального значения $S_{\text{бат}}$, которому соответствует минимум годовых затрат:

$$f(S_{\text{бат}}) = (\lambda P / S_{\text{бат}} + \lambda C + h S_{\text{бат}} / 2);$$

$$f'(S_{\text{бат}}) = (-\lambda P / S_{\text{бат}}^2 + (h/2));$$

$$f''(S_{\text{бат}}) = (2\lambda P / S_{\text{бат}}^3) > 0 \text{ при } S_{\text{бат}} > 0.$$

Решая уравнение при $f'(S_{\text{бат}}) = 0$, получим

$$S_{\text{бат}} = \sqrt{2\lambda P / h} > 0.$$

Таким образом, оптимальный размер емкости АБ равен

$$S_{\text{бат}} = \sqrt{2\lambda P / h}, \quad (4)$$

что в теории управления запасами соответствует наиболее экономичному размеру заказа.

Практическая ценность полученных результатов состоит не только в снижении затрат на СЭ, но и в организации оптимального содержания АБ, особенно в районах с надежным энергоснабжением, обеспечивая продление ее срока службы. В противном случае эксплуатирующему персоналу необходимо было бы периодически разряжать АБ для тренировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котик М.А., Емельянов А.М. . Природа ошибок человекаоператора (на примерах управления транспортными средствами). – М.: Транспорт, 1993. – 252 с.
2. Цыркин М.И., Гольдинер А.Я., Головки В.В., Соколов С.В. . Статические и дизельные агрегаты резервного электропитания. – СПб.: Чистый лист, 2002. – 116с.
3. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. – Кн.1. – М.: Мир, 1986. – 352 с.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОМ УЧАСТКЕ МАГИСТРАЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В статье рассматриваются вопросы совершенствования контроля и прогнозирования показателей качества электрической энергии на электрифицированных железных дорогах переменного тока, предложен метод определения вклада тяговой нагрузки и потребителя на искажения показателей качества электрической энергии в различных точках рассматриваемой энергосистемы.

Железнодорожный транспорт – один из крупнейших потребителей электроэнергии, качество которой напрямую влияет на эксплуатацию основного оборудования: сокращение срока службы изоляции электрических машин и аппаратов; ухудшение работы батарей конденсаторов в компенсирующих устройствах; сбои работы систем управления, релейной защиты автоматики, телемеханики, связи и вычислительной техники и др.

В свою очередь, обеспечивая высокие тягово-энергетические характеристики, эксплуатируемый на сети железных дорог переменного тока электроподвижной состав (ЭПС) оказывает влияние на качество электроэнергии в питающих сетях. В то же время способность электрооборудования ЭПС выполнять свои функции зависит от качества электроэнергии питающей системы.

Результаты многочисленных измерений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в условиях эксплуатации и вычислительных экспериментов, проведенных сотрудниками Омского государственного университета путей сообщения, и данные других авторов [1] позволяют сделать вывод, что снижение качества электрической энергии в трехфазных сетях наряду с другими отрицательными последствиями сопровождается дополнительными потерями в элементах этих сетей и дополнительными затратами на оплату электроэнергии. Поэтому необходимо решать комплексно вопросы улучшения ПКЭ и выявлять степень влияния несимметричной нагрузки на ПКЭ в точках присоединения тяговых подстанций к электроэнергетической системе и в точках присоединения потребителей.

На сети железных дорог ежегодно происходит увеличение грузо- и пассажироперевозок, наблюдается увеличение нагрузок потребителей, присоединенных как к высоковольтным линиям электропередачи (от которых запитаны тяговые подстанции), так и к шинам районной нагрузки тяговых подстанций. Эти факторы непосредственно влияют на искажения показателей качества электрической энергии в различных точках

энергосистемы. Чтобы определить возможное искажение ПКЭ [1, 2], которое вносит как сама тяговая нагрузка, так и другие потребители электроэнергии в конкретной точке энергосистемы, необходимо проводить прогнозирование искажения ПКЭ в рассматриваемых точках [3, 4].

Для прогнозирования степени влияния несимметричной нагрузки на ПКЭ в точках присоединения тяговых подстанций к электроэнергетической системе и в точках присоединения потребителей возможно применение имитационного математического моделирования исследуемых участков железной дороги. Это можно выполнить следующим образом.

1. Выделяются из сложной трехфазной системы несимметричные части, которые представляют собой однофазные системы. В результате этих преобразований получается симметричная трехфазная часть системы и ряд однофазных. Выделенные части в зависимости от числа полученных полюсов образуют двухполюсники и четырехполюсники. Разделение электроэнергетической системы на трехфазный многополюсник и неограниченное количество двух и четырехполюсников позволяет анализировать сложную систему по ее составным частям.

2. Выполняется моделирование трансформаторов тяговых подстанций. При этом схема замещения вторичной обмотки тягового трансформатора описывается системой уравнений относительно комплексов ЭДС, напряжений и токов в момент времени $t=0$. Полученная модель представляется двух-полюсниками, включающими в себя источник ЭДС и собственное комплексное сопротивление обмотки,

$$\underline{Z}_T = R_T + jX_T$$

3. Моделируются:

режимы любой тяговой подстанции уровнем и соотношением ЭДС вторичных обмоток тяговых трансформаторов. При таком подходе внешняя система электроснабжения считается системой бесконечной



мощности, и процессы в тяговой сети могут влиять лишь на ее токовый режим. Если в расчетной схеме учитывается ЛЭП, питающая ТП, то указанные условия относятся к шинам районных энергетических подстанций;

параметры элементов системы для расчета электрических величин в электроэнергетической системе, содержащей электротяговую нагрузку переменного тока и потребителя, получающего питание от шин тяговых подстанций и системы внешнего электроснабжения;

межподстанционные участки тяговой сети без отличия погонных (первичных) параметров сети на промежуточных станциях и разъездах, т.е. они считаются однородной линией;

электротяговые нагрузки на частотах высших гармоник как активно индуктивные

$$\underline{Z}_n = R_n + j \cdot \omega \cdot L_n$$

где R_n эквивалентное активное сопротивление; L_n эквивалентная индуктивность; $\underline{Z}_n$ эквивалентное комплексное сопротивление.

4. Производится расчет токов и напряжений отдельно для каждой гармоники, так как преобразователи ЭПС представляют собой нагрузку, которая дважды коммутируется в пределах полупериода питающего напряжения. Фактически напряжение и ток при этом не являются синусоидальными и содержат высшие гармоники.

С использованием предлагаемого алгоритма, выполняется итерационное моделирование участка электрифицированной железной дороги переменного тока на основе расчетов переходных процессов.

Расчет переходных процессов в цепях с распределенными параметрами содержит два основных этапа.

Вначале рассчитываются распределения напряжений и токов вдоль линий для двух моментов времени – в момент времени $t = 0$ и $t = i$. Определение установившихся распределений сводится к расчету стационарных режимов, входящих в состав системы линий (участков контактной сети) и трансформаторов тяговых подстанций.

Далее решается задача составления соответствующей системы уравнений (математической модели). Определяются соотношения в форме рядов Фурье для представляющих интерес напряжений и токов.

Одним из основных элементов такой системы является тяговый трансформатор. Составленные математические уравнения тягового трансформатора входят в общую математическую модель системы и в предложенном способе имеют свои особенности.

При рассмотрении переходных процессов в цепях с распределенными параметрами расчет осуществляется в два этапа. На первом этапе выполняется определение установившихся распределений напряжения

и тока в момент $t = 0$. При этом схема замещения вторичной обмотки тягового трансформатора описывается системой уравнений относительно комплексов ЭДС, напряжений и токов. На втором этапе расчета переходных процессов формируются аналогичные по структуре соотношения в операторной форме, связывающие левую и правую стороны вторичной обмотки трансформатора.

Каскадная схема замещения удобна с точки зрения формирования соответствующей ей математической модели: конечная система уравнений формируется по уравнениям звеньев, контурные и узловые уравнения составляются только в пределах каждого звена. В матричной форме такой схеме соответствует ленточная матрица коэффициентов, наиболее удобная с точки зрения построения алгоритмов для решения любой задачи. Наиболее просто при этом формируется (в числовом и в символьном виде) алгоритм последовательных подстановок, лежащий в основе метода Гаусса.

При составлении имитационной модели любого участка энергетической системы погрешности эквивалентирования сопротивлений при рассмотрении всех элементов энергосистемы, без учета генераторов энергетической системы, принципиально не могут превосходить наибольшую из погрешностей суммируемых сопротивлений (не более 5 %). Это относится к сопротивлениям прямой и обратной последовательности, используемым для расчета несинусоидальности и несимметрии напряжения.

Из сложной электрической цепи выделяется произвольная часть с независимыми источниками таким образом, что ее физическое состояние не изменится. В результате этого систему внешнего электроснабжения отделяем от системы тягового электроснабжения, сетей районов электроснабжения и потребителей.

В качестве источника питания берется часть электрической системы, где сосредоточена преобладающая генерирующая мощность, которую рассматривают как источник бесконечной мощности.

По предложенному методу во всех узлах рассматриваемого участка определяются действующие значения напряжений и токов прямой и обратной последовательностей в каждой ветви и соответственно для каждого потребителя (тяговая нагрузка потребителя, подключенного к энергосистеме, сетей районов электроснабжения). Также определяются значения суммарного искажения в узлах по коэффициентам искажения синусоидальности кривой напряжения и несимметрии напряжения по обратной последовательности. Таким образом, данная методика позволяет получить необходимые значения для расчета долевого вклада потребителя и энергосистемы в искажение ПКЭ.

Прогнозирование фактического вклада потребителя в искажение показателей качества электрической





энергии для основной фазы А проводится следующим образом.

Определяется влияние несимметричной нелинейной нагрузки на искажение коэффициентов показателей качества электрической энергии в точках присоединения тяговых подстанций к электрической системе. Порядок прогнозирования фактической доли каждого потребителя в искажениях ПКЭ в различных узлах энергосистемы покажем на примере прогнозирования фактической доли потребителя в искажениях коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности в рассматриваемых узлах энергосистемы.

Вначале прогнозируются суммарные искажения данного показателя в различных точках энергосистем. Затем для конкретного узла энергосистемы осуществляется прогнозирование долевого вклада несимметричной нагрузки потребителя, присоединенного в других точках данной энергосистемы, на изменение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности. Прогнозирование основано на математическом моделировании, которое выполняется в следующей последовательности:

- определяется долевым вкладом несимметричной тяговой нагрузки на коэффициент k_{2U} во всех точках присоединения тяговых подстанций к энергетической системе;
- определяется суммарное влияние несимметричной тяговой нагрузки и несимметричной нагрузки потребителя на коэффициент k_{2U} в точках присоединения тяговых подстанций к энергетической системе;
- строятся математические модели, позволяющие определить долевым вкладом несимметричной нагрузки потребителя в искажении коэффициента k_{2U} в других точках присоединения тяговых подстанций к энергетической системе.

Далее выполняется прогнозирование долевого вклада тяговой нагрузки в искажение показателей качества электрической энергии в узлах энергетической системы:

- проводится прогноз влияния электротяговой нагрузки при изменении тока нагрузки электроподвижного состава в диапазоне от 50 до 300 А на изменение коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения и несимметрии напряжения по обратной последовательности в точках присоединения тяговых подстанций к электроэнергетической системе;
- определяется фактический вклад в искажение ПКЭ несимметричной нагрузки в узлах электроэнергетической системы.

Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности с вычетом влияния тяговой нагрузки при рассматриваемых трех вариантах определяется по формуле:

$$k_{2U_{\text{на шинах ВН ТП}}} = k''_{2U_{\text{на шинах ВН ТП}}} - k'_{2U_{\text{на шинах ВН ТП}}} \quad (1)$$

$$\text{где } k''_{2U_{\text{на шинах ВН ТП}}} = f(k_{2U_{\text{нагрузки+тяги}}})$$

суммарное влияние несимметричной нагрузки потребителей и несимметричной нагрузки электроподвижного состава на коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности;

$$k'_{2U_{\text{на шинах ВН ТП}}} = f(I_{\text{ФКС}})$$

– влияние несимметричной нагрузки электроподвижного состава на коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности в точках присоединения тяговой подстанции к электроэнергетической системе.

По расчетным данным, при отсутствии тяговой нагрузки строятся зависимости влияния несимметричной нагрузки на коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности на шинах высокого напряжения тяговых подстанций.

На основании полученных зависимостей получаем математические модели прогнозирования суммарных k_{2U} . Математические модели прогнозирования коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности строятся с точностью до 0,01 %. Ошибка аппроксимации ничтожно мала, а коэффициент корреляции близок к единице.

По этим математическим моделям рассчитываются в соответствии с формулой (1) коэффициенты несимметрии напряжения по обратной последовательности в точках присоединения тяговых подстанций к линиям электропередачи при изменении коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности нагрузки потребителя.

Фактический вклад в искажения ПКЭ энергосистемы и потребителя в точке присоединения тяговой подстанции к энергосистеме начинается с определения виновника искажения рассматриваемого показателя качества электроэнергии. Для этого определяется фазовый сдвиг $\varphi(UI)$ между составляющими напряжения и тока в точке присоединения потребителя. Фазовые сдвиги $\varphi(UI)$ определяются по следующей формуле

$$\varphi(UI) = \beta_U - \alpha_I \quad (2)$$

где β_U – фазовый угол составляющей напряжения в рассматриваемой точке прямой (β'_U) и обратной (β''_U) последовательности;

α_I – фазовый угол составляющей тока k-ого потребителя, присоединенного к данной точке, либо энергетической системы.

По расчетным данным, в каждой точке присоединения потребителя к энергетической системе опреде





ляются источники $p=x$ гармонических составляющих токов в соответствии со стандартом.

В любой энергетической системе, содержащей электротяговую нагрузку, необходимо в соответствии с методом, рассмотренным выше, выделить составляющую искажений ПКЭ в рассматриваемом узле энергосистемы, которая обусловлена суммой искажений ПКЭ со стороны всех тяговых подстанций, присоединенных к этой энергосистеме. В результате в исследуемом узле энергосистемы определяем численное значение рассматриваемого ПКЭ.

При следующем шаге необходимо определить долю несимметричного потребителя в рассматриваемый ПКЭ. Используя принцип наложения, выявляем степень участия энергосистемы и потребителя в формировании общего искажения в конкретном узле. Затем расчетным путем находим напряжение и токи прямой и обратной последовательности, привносимые в данный узел со стороны энергосистемы, по формуле [3, 4]:

$$\dot{U}_{vA}'' = |\dot{U}_{vA} - \dot{U}_{vA}'|, B \quad |\dot{i}_{vA}''| = |\dot{i}_{vA} - \dot{i}_{vA}'|, A. (3)$$

В каждом узле, к которому присоединен потребитель, определяется суммарный вклад в искажение не-синусоидальности $p=x$ гармонических составляющих напряжения и тока по следующим формулам:

$$|\dot{U}_{\sum(v)A}^{(1)фв}| = |\sum \dot{U}_{(v)A}^{(1)}|, B \quad |\dot{i}_{\sum(v)A}^{(1)фв}| = |\sum \dot{i}_{(v)A}^{(1)}|, A, (4)$$

где $|\dot{U}_{\sum(v)A}^{(1)фв}|$, $|\dot{i}_{\sum(v)A}^{(1)фв}|$;

– вклад в искажение несинусоидальности $p=x$ гармонических составляющих напряжения и тока потребителей;

$$= |\sum \dot{U}_{(v)A}^{(1)}|, |\sum \dot{i}_{(v)A}^{(1)}|$$

– сумма $p=x$ гармонических составляющих напряжения и тока, источником которых выступают потребители.

$$|\dot{U}_{\sum(v)A}^{(1)фв}| = |\sum \dot{U}_{(v)A}^{(1)}|, B \quad |\dot{i}_{\sum(v)A}^{(1)фв}| = |\sum \dot{i}_{(v)A}^{(1)}|, A, (5)$$

где $|\dot{U}_{\sum(v)A}^{(1)фв}|$, $|\dot{i}_{\sum(v)A}^{(1)фв}|$;

– вклад в искажение несинусоидальности $p=x$ гармонических составляющих напряжения и тока, привносимый из энергосистемы;

$$|\sum \dot{U}_{(v)A}^{(1)}|, |\sum \dot{i}_{(v)A}^{(1)}|$$

– сумма $p=x$ гармонических составляющих напряжения и тока, источником которых являются потребители.

Методом наложения вычлняются фактические источники как $p=x$ гармонических составляющих, так и источники искажений по коэффициенту несимме-

трии напряжения по обратной последовательности в каждом узле энергосистемы, к которому присоединен потребитель.

Таким образом, использование предложенного метода позволяет получить окончательное выражение для определения фактического вклада каждого потребителя в искажение качества электрической энергии, а также фактический вклад, привносимый в точку измерения со стороны потребителей, подключенных к этой энергосистеме в других местах.

Фактический вклад в искажение синусоидальности напряжения и искажение симметрии напряжения в точке измерения расчетной системы рассчитывается по указанным ниже формулам:

для потребителя в искажение несимметрии напряжения и тока:

$$\Delta K_{2U}^{ф.в.} = \frac{|\dot{U}_{1A}^{(2)}| \cdot 100}{|\dot{U}_{1A}^{(1)} + \dot{U}_{1A}^{(2)}|}, \Delta K_{2I}^{ф.в.} = \frac{|\dot{i}_{1A}^{(2)}| \cdot 100}{|\dot{i}_{1A}^{(1)} + \dot{i}_{1A}^{(2)}|} (6)$$

энергосистемы в искажение несимметрии напряжения и тока:

$$\Delta K_{2U}^{ф.в.} = \frac{|\dot{U}_{1A}^{(2)} - \dot{U}_{1A}^{(2)}|}{|\dot{U}_{1A}^{(1)} + \dot{U}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100, \Delta K_{2I}^{ф.в.} = \frac{|\dot{i}_{1A}^{(2)} - \dot{i}_{1A}^{(2)}|}{|\dot{i}_{1A}^{(1)} + \dot{i}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100 (7)$$

Фактический вклад в искажение синусоидальности кривой напряжения и тока потребителя будет равен:

$$\Delta K_U^{ф.в.} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} |\dot{U}_{vA} - \dot{U}_{vA}'|^2}}{|\dot{U}_{1A}^{(1)} + \dot{U}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100, \Delta K_I^{ф.в.} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} |\dot{i}_{vA} - \dot{i}_{vA}'|^2}}{|\dot{i}_{1A}^{(1)} + \dot{i}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100 (8)$$

n -й гармонической составляющей напряжения и тока:

$$\Delta K_{vU}^{ф.в.} = \frac{|\dot{U}_{vA} - \dot{U}_{vA}'|}{|\dot{U}_{1A}^{(1)} + \dot{U}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100, \Delta K_{vI}^{ф.в.} = \frac{|\dot{i}_{vA} - \dot{i}_{vA}'|}{|\dot{i}_{1A}^{(1)} + \dot{i}_{1A}^{(2)}|} \cdot 100 (9)$$

Следовательно, долевой вклад каждой из сторон можно определить как:

$$\Delta d_i^{ф.в.} = \frac{\Delta K_{iU}^{ф.в.}}{\Delta k_A} \cdot 100; \Delta d_{ii}^{ф.в.} = \frac{\Delta K_{ii}^{ф.в.}}{\Delta k_{iA}} \cdot 100; (10)$$

$$\Delta d_i^{ф.в.} = \frac{\Delta K_{iU}^{ф.в.}}{\Delta k_{iA}} \cdot 100; \Delta d_{ii}^{ф.в.} = \frac{\Delta K_{ii}^{ф.в.}}{\Delta k_{iA}} \cdot 100,$$

где

$$\Delta K_{iU}^{ф.в.}, \Delta K_{ii}^{ф.в.}, \Delta K_{iU}^{ф.в.}, \Delta K_{ii}^{ф.в.} \rightarrow$$



– фактический вклад соответственно энергосистемы и потребителя в ухудшение качества электроэнергии по i -му виду искажения;

$$\Delta k_{iA}$$

– показатель качества электроэнергии в данном узле, который определяется для коэффициентов несимметрии напряжения и тока по обратной последовательности:

$$\Delta k_{iA} = k_{2U} = \frac{|\dot{U}_{iA}^{(2)}| \cdot 100}{|\dot{U}_{iA}^{(1)} + \dot{U}_{iA}^{(2)}|}; \Delta k_{iA} = k_{2I} = \frac{|\dot{I}_{iA}^{(2)}| \cdot 100}{|\dot{I}_{iA}^{(1)} + \dot{I}_{iA}^{(2)}|} \quad (11)$$

коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения и тока:

$$\Delta k_{iA} = k_{UA} = \frac{\sqrt{\sum_{v=3}^{\infty} |\dot{U}_{vA}^{(1)} + \dot{U}_{vA}^{(2)}|^2}}{|\dot{U}_{iA}^{(1)} + \dot{U}_{iA}^{(2)}|} \cdot 100; \Delta k_{iA} = k_{IA} = \frac{\sqrt{\sum_{v=3}^{\infty} |\dot{I}_{vA}^{(1)} + \dot{I}_{vA}^{(2)}|^2}}{|\dot{I}_{iA}^{(1)} + \dot{I}_{iA}^{(2)}|} \cdot 100 \quad (12)$$

Расчет остальных фаз производится аналогично.

Для прогнозирования доли каждого потребителя в искажения ПКЭ в других точках энергосистемы целесообразно использовать методы математического моделирования, суть которых состоит в выявлении зависимости и тесноты связи между коэффициентами ПКЭ и характером нагрузки потребителей.

Прогнозирование показателей качества электрической энергии с помощью моделирования дает возможность оценивать изменения ПКЭ на шинах тяговых подстанций в зависимости от изменения токов нагрузки в межподстанционных зонах. Это, в свою очередь, позволит определить мероприятия по применению необходимых мер для поддержания этих показателей в пределах установленных норм [5], а также определить размеры предполагаемых надбавок к тарифам на электроэнергию, раз-

работать мероприятия и средства повышения качества электроэнергии.

Выводы

1. Предложенная имитационная модель электрифицированного участка железной дороги переменного тока позволяет представить составные части энергетической системы, смоделировать фазы вторичных обмоток трансформаторов, режимы работы тяговых подстанций, параметры энергетической системы, межподстанционные зоны тяговой сети, несимметричную нагрузку, токи и напряжения высших гармоник в рассматриваемой системе. В результате этого при принятых допущениях система электроснабжения может рассматриваться как каскадное соединение сосредоточенных и распределенных звеньев, каждое из которых представлено соответствующим активным или пассивным двухполюсником или четырехполюсником.

2. Метод прогнозирования влияния несимметричной нелинейной

нагрузки на искажения коэффициентов показателей качества электрической энергии в точках присоединения тяговых подстанций к электрической

системе, основанный на предложенном имитационном моделировании, позволяет провести прогнозирование долевого вклада тяговой нагрузки на искажение показателей качества электрической энергии в узлах энергетической системы, определить фактический вклад в искажение ПКЭ несимметричной нагрузки в узлах электроэнергетической системы, а также фактический вклад в искажение показателей качества электроэнергии систем внешнего и тягового электроснабжения и потребителя в точке присоединения тяговой подстанции к системе внешнего электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 15334.015.5022002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – В 2 ч. – Ч. 2. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 48 с.
2. ГОСТ 1310997. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 31 с.
3. Ларин А. Н. Контроль показателей качества электрической энергии на электрифицированных железных дорогах переменного тока // Омский научный вестник. – 2006. – № 6. – С. 92–95.
4. Ларин А. Н. Влияние тяговой нагрузки на несимметрию напряжения на шинах тяговой подстанции // Ресурсосберегающие технологии в структурных подразделениях ЗападноСибирской железной дороги: Материалы научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2005. – С. 202–208.
5. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии. – М.: Энергия, 1984. – 368 с.

СИСТЕМНЫЕ ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПНЕВМОСТРУКТУР

Современные системы промышленной автоматизации характеризуются магистрально-модульной организацией параллельной работы многопроцессорных информационно-управляющих систем (ИУС) [1]. Проблема асинхронного согласования многопоточного межпроцессорного взаимодействия ставит задачу конструирования вычислительных преобразователей информации (ВПИ) с программируемой структурой в управляющей или исполнительной частях системы автоматизации. Одним из решений многомерной коммутации направленных потоков является включение в состав системы логической программной матрицы (ЛПМ) – управляемой изотропной среды с матричной пространственной структурой.

Структурными элементами ЛПМ являются ячейки преобразования информации и связи между ними. Анализ функциональных свойств программных матриц может быть проведен на основе структурных моделей с использованием булевой алгебры, которые позволяют определить только логику работы ЛПМ на границах тактов безразмерного дискретного времени. Такой подход практически не дает информации о динамических и пространственных свойствах элементов структуры ЛПМ внутри рабочего объема.

В то же время конструктивные возможности и ограничения пространственной организации структурных элементов в изотропной среде существенно сказываются на быстроте действия и оперативной гибкости ВПИ. Предметом рассмотрения настоящей статьи являются системные графовые модели изотропных сред программируемых пневмоматриц.

Постановка задачи. Для математического описания структурных свойств системы взаимосвязанных элементов часто применяют графовые модели [2]. Топологию сложной системы можно интерпретировать как граф, множество вершин которого представляют элементы системы, а множество дуг между вершинами моделируют связи между элементами. Графовая модель значительно сокращает вычислительные затраты на определение инвариантных характеристик множества подобных систем, структурно изоморфных этому классу графов. Рассмотрим задачу формализованного описания программируемой пневмоматрицы как управляемой изотропной среды с регулярной пространственной структурой для изучения ее логических, динамических и пространственных характеристик с позиций системной графовой модели [3].

Анализ булевой модели логики программируемых матриц. Однородные среды, настраивающиеся

на реализацию определенного дискретного автомата, управляемого входными настроечными кодами, обладают главным достоинством: синтез дискретного автомата сводится, по существу, лишь к нахождению настроечных кодов на основе булевых функций, описывающих множество состояний автомата.

Рассмотрим логическую модель программируемых матричных пневмоструктур в базисе булевой алгебры [4, 5]. Программная матрица с детектирующими элементами [4], описывается булевыми функциями вида:

$$\begin{cases} f_1 = (y_1 \cdot s_3 + y_2 \cdot s_2 + y_3 \cdot s_1) \cdot \bar{c} \\ f_2 = (y_1 \cdot s_6 + y_2 \cdot s_5 + y_3 \cdot s_4) \cdot \bar{c} \\ f_3 = (y_1 \cdot s_9 + y_2 \cdot s_8 + y_3 \cdot s_7) \cdot \bar{c} \\ f_4 = (y_1 \cdot s_{12} + y_2 \cdot s_{11} + y_3 \cdot s_{10}) \cdot \bar{c} \end{cases} \quad (1)$$

где $s_1, s_2, \dots, s_{12}$ – настроечные входы ЛПМ, y_1, y_2, y_3 – информационные входы, f_1, f_2, f_3, f_4 – выходы ЛПМ; c – сигнал обнуления выходов. Рассматриваемая структура ЛПМ размерностью $3 \times 4 \times 12$ представлена на рис. 1 [4].

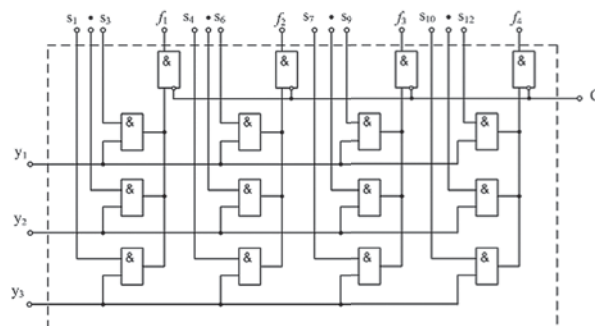


Рисунок 1 – Логическая схема матричной структуры



Структура ЛПМ симметрична относительно входов. Конструкция программных матриц предполагает подачу информационного сигнала только на один из входов (y_1, y_2, y_3) в каждый дискретный момент времени. Следовательно, для нахождения всех значений выходов (f_1, f_2, f_3, f_4) достаточно хранить таблицу истинности только для одной строки матрицы (например, при $y_1 = 1, y_2 = 0, y_3 = 0$ и $c = 1$).

Возможности управления состоянием матрицы (1) можно расширить множеством промежуточных настроечных кодов [5]:

$$\begin{cases} f_1 = (y_1 \cdot s_3 \cdot \overline{s_{3,6}} + y_2 \cdot s_2 \cdot \overline{s_{2,5}} + y_3 \cdot s_1 \cdot \overline{s_{1,4}}) \cdot \overline{c} \\ f_2 = (y_1 \cdot s_6 \cdot \overline{s_{3,6}} + y_2 \cdot s_5 \cdot \overline{s_{2,5}} + y_3 \cdot s_4 \cdot \overline{s_{1,4}}) \cdot \overline{c} \\ f_3 = (y_1 \cdot s_9 \cdot \overline{s_{9,12}} + y_2 \cdot s_8 \cdot \overline{s_{8,11}} + y_3 \cdot s_7 \cdot \overline{s_{7,10}}) \cdot \overline{c} \\ f_4 = (y_1 \cdot s_{12} \cdot \overline{s_{9,12}} + y_2 \cdot s_{11} \cdot \overline{s_{8,11}} + y_3 \cdot s_{10} \cdot \overline{s_{7,10}}) \cdot \overline{c} \end{cases} \quad (2)$$

где $s_{3,6}, s_{2,5}, s_{1,4}, s_{9,12}, s_{8,11}, s_{7,10}$ – промежуточные настроечные входы ЛПМ. Назначение остальных входов и выходов аналогично предыдущей ЛПМ. Расширенная структура ЛПМ размерностью $3 \times 4 \times 12 \times 6$ представлена на рис.2 [5].

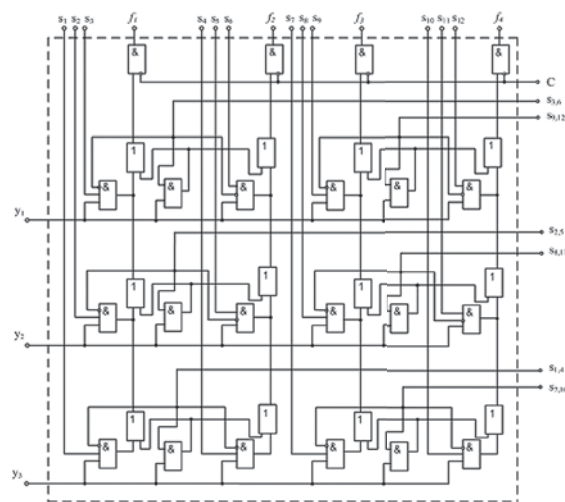


Рисунок 2 – Логическая схема матричной структуры

В этой конструкции также присутствует симметрия относительно входов матрицы, поэтому таблицу истинности данной матрицы достаточно представить для первой строки ($y_1 = 1, y_2 = 0, y_3 = 0$ и $c = 1$) и соответствующих ей настроечных входов $s_3, s_{3,6}, s_6, s_9, s_{9,12}, s_{12}$.

Таким образом, управление внутренней структурой ЛПМ для формирования требуемого выходного кода f_1, f_2, f_3, f_4 , осуществляется сменой настроечных s_3, s_6, s_9, s_{12} и промежуточных $s_{3,6}, s_{9,12}$ кодов. Для схемы на рис. 2 настроечный код $s_3, s_{3,6}$

, $s_6, s_9, s_{9,12}, s_{12}$ представлен кодовой комбинацией 001010.

Если записать полную таблицу для всего множества значений настроечных кодов в зависимости от выходных функций, то получим таблицу, левая часть которой содержит все возможные выходные кодовые слова, а правая часть разделена на три области, которые соответствуют смене состояний при подаче команды на один из трех входов (y_1, y_2 или y_3). Учитывая, что рассматриваемые программные матрицы, имеют фиксированные входы настройки, то правую часть таблицы можно использовать как матричную «карту настройки памяти».

Особенно эффективен данный подход при перепрограммировании внутренней структуры ЛПМ. Входными данными для такой операции являются требуемые выходные кодовые слова программируемой ЛПМ. Применение «карт настройки памяти» для матричных структур позволяет конфигурировать настроечный код путем выборки необходимой карты для каждой комбинации выходных кодовых слов, взамен специальных алгоритмов реконфигурации ЛПМ.

Анализ кодов управления логическими функциями рассмотренных схем и соответствующих им таблиц истинности позволяет сделать следующие выводы.

1. Для матричной конструкции с максимальным числом детектирующих элементов $m \times n$ (1) выходное кодовое слово, представленное m – позиционным кодовым словом ($f_1, f_2, \dots, f_m$), для каждой из n входных строк полностью совпадает со значениями настроечного кода для данной строки. Следовательно, каждому выходному слову соответствует определенный настроечный код. Поэтому программирование такой матричной структуры не требует разработки специального алгоритма.

2. При использовании матричных структур (2) выходному m – позиционному кодовому слову для каждой строки сопоставляется $(3m/2)$ – позиционный настроечный код при четном m и $(3^{(m-1)}/2)$ позиционный при нечетном m .

3. Настроечные коды для матриц обеих конструкций однозначно определяют множество кодовых слов на выходах матриц.

4. Технологическое программирование матриц предложенной конструкции возможно с помощью наложения «карт настройки памяти» на структуру матрицы.

Анализ структурной организации программных матриц на основе графов. Булева модель программируемых структур, как видим, позволяет определить только логическую функцию, реализуемую программируемой матрицей. Но такой подход не отражает структуру связей и практически не дает информации о топологии программных матриц и динамических характеристиках элементов. Возможности теории



графов для анализа структурных свойств пространственной ЛПМ также ограничены. Например, системная модель, построенная на основе k -дольных графов, отражает многомерность бинарных отношений между множествами входных, выходных и настроечных сигналов ЛПМ, при этом остальная информация о структурных элементах теряется. Поскольку структурные элементы и связи между ними по конструктивным причинам располагаются в разных областях рабочего пространства, занимаемого изотропной средой, то для отображения их динамических и пространственных характеристик требуется специальная интерпретация графовых моделей с учетом специфики задачи.

Общую характеристику структуры топологического пространства совокупности связанных физических объектов (частично упорядоченных множеств, цепей, систем, однородных сред), пригодную для составления системных графовых моделей с явным отображением структурных свойств, содержит определение системного графа G как множества элементов $v_i \in V^n$, связанных с множеством элементов $v_j \in V^m$ множеством гомеоморфных отношений $e_{ij} \in E(G)^{n \times m}$ [3]. Такое определение системного графа дает общую модель, содержащую одно математическое ядро для различных интерпретаций элементов графа. Действительно, пусть имеются две интерпретации e_{ij} и e'_{ij} . Тогда разность $v_i = e_{ij} v_j$ и $v_i = e'_{ij} v_j$, дает тождество $e_{ij} \cong e'_{ij}$. Из гомеоморфизма отношений метрически связанных топологических пространств дискретных множеств $V^n \times V^m = E(G)^{n \times m}$ следуют тождества $e_{ij} \equiv e'_{ij}$, $v_i \equiv v'_i$ и $v_j \equiv v'_j$. Независимость формы отношений элементов системного графа $v_i = e_{ij} v_j$ от разных смысловых значений символов e_{ij} , v_i и v_j означает инвариантность математического ядра системного графа. Отметим, что системный граф может быть структурно изоморфен физически реализуемым объектам не только в линейных векторных пространствах, но и, в силу своих тензорных свойств, в нелинейных средах [3].

Поэтому наиболее близкой системной графовой моделью для отображения инвариантных свойств матричных однородных структур является k -дольный системный граф, структура топологического пространства которого индуцирована из метрически связанного топологического пространства $V^1 \times V^n \dots \times V^m = E(G)^{1+n+\dots+m}$ на k дискретных множествах $v_i \in V^1$, $v_j \in V^n, \dots, v_h \in V^m$, гомеоморфным отображением $e_{i,j,\dots,h} \in E(G)^{1+n+\dots+m}$. В этом случае множество вершин системного графа соответствует множеству входных, выходных и промежуточных переменных, соответствующих функциональным характеристикам конструктивно реализованных каналов связи (каналов распространения изотропной среды), а дугам графа – множество гомеоморфных отношений между этими переменными, реализуемых конструктивно функциональными ячейками преобразования информации (пневмоэлементами).

Сформированная таким образом системная графовая модель, моделирующая ЛПМ для конструкции [4] размерностью 3×4 , представлена на рис.3 [4].

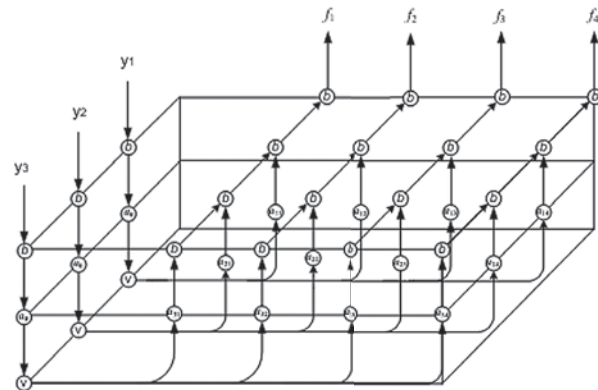


Рисунок 3 – Системный граф матричной пневмоструктуры (1)

Кружками на графе с индексом b обозначены переходы в верхнюю плоскость, с индексом v – в нижнюю плоскость, а с индексом a – переход в среднюю плоскость. Для наглядности изображения трехслойной структуры по периметру графа проведены линии трех уровней (плоскостей). Ячейки графа b и v обеспечивают безусловные переходы, а переход через ячейки с индексом a – будет зависеть от соответствующего каждой из этих ячеек состояния («0» или «1»), обусловленного настроечным кодом sp . Таким образом, дуги графа с индексом a – имитируют работу детектирующих элементов в ЛПМ и образуют матрицу отношений $\{A\}^T$:

$$[F] = [A]^T \cdot [Y]$$

где

$$[F] = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4]^T \text{ вектор выходов,}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \text{ матрица отношений,}$$

$$[Y] = [y_1 \ y_2 \ y_3]^T \text{ вектор входов.}$$

Это векторно-матричное уравнение может быть записано в виде системы уравнений:





$$\begin{cases} f_1 = a_{11} \cdot y_1 + a_{21} \cdot y_2 + a_{31} \cdot y_3 \\ f_2 = a_{12} \cdot y_1 + a_{22} \cdot y_2 + a_{32} \cdot y_3 \\ f_3 = a_{13} \cdot y_1 + a_{23} \cdot y_2 + a_{33} \cdot y_3 \\ f_4 = a_{14} \cdot y_1 + a_{24} \cdot y_2 + a_{34} \cdot y_3 \end{cases} \quad (3)$$

Из (3) и системы уравнений (1), описывающих булеву модель программной матрицы [4], следует, что матрица отношений определяется настроечными кодами:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} s_3 & s_2 & s_1 \\ s_6 & s_5 & s_4 \\ s_9 & s_8 & s_7 \\ s_{12} & s_{11} & s_{10} \end{bmatrix}$$

и систему уравнений (1), без учета сигнала обнуления выходов – с, можно представить в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_3 & s_2 & s_1 \\ s_6 & s_5 & s_4 \\ s_9 & s_8 & s_7 \\ s_{12} & s_{11} & s_{10} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$$

Для конструкции матричной пневмоструктуры размерностью 3x4 [5] системный граф представлен на рис.4.

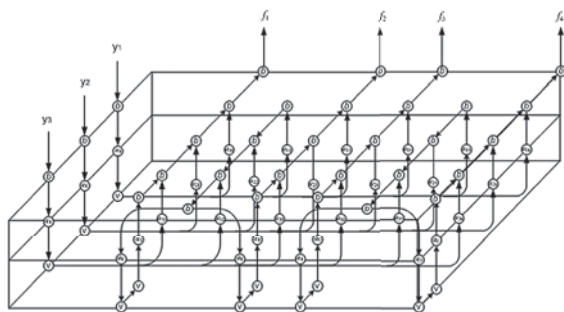


Рисунок 4 – Системный граф матричной пневмоструктуры [5].

Назначение элементов а, b, v аналогично предыдущему графу. Дуги графа с индексом а0 соответствуют безусловному переходу в среднюю плоскость при работе дешифратора и сквозном переходе через среднюю плоскость. С учетом булевой модели матрицу отношений запишем в виде:

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \cdot a_{12} & a_{12} \cdot a_{13} & a_{14} \cdot a_{15} & a_{15} \cdot a_{16} \\ a_{21} \cdot a_{22} & a_{22} \cdot a_{23} & a_{24} \cdot a_{25} & a_{25} \cdot a_{26} \\ a_{31} \cdot a_{32} & a_{32} \cdot a_{33} & a_{34} \cdot a_{35} & a_{35} \cdot a_{36} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Тогда

$$[F] = [A]^T \cdot [Y],$$

где

$$[F] = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4]^T \quad \text{вектор выходов,}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \end{bmatrix} \quad \text{матрица отношений,}$$

$$[Y] = [y_1 \quad y_2 \quad y_3]^T \quad \text{вектор входов.}$$

Перепишем полученное уравнение в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} f_1 = d_{11} \cdot y_1 + d_{21} \cdot y_2 + d_{31} \cdot y_3 \\ f_2 = d_{12} \cdot y_1 + d_{22} \cdot y_2 + d_{32} \cdot y_3 \\ f_3 = d_{13} \cdot y_1 + d_{23} \cdot y_2 + d_{33} \cdot y_3 \\ f_4 = d_{14} \cdot y_1 + d_{24} \cdot y_2 + d_{34} \cdot y_3 \end{cases} \quad (5)$$

Из системы уравнений (2), описывающей булеву модель программной матрицы [6], и уравнения (4) определим матрицу отношений в настроечных кодах:

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} s_3 \cdot \overline{s_{3,6}} & s_2 \cdot \overline{s_{2,5}} & s_1 \cdot \overline{s_{1,4}} \\ s_6 \cdot \overline{s_{3,6}} & s_5 \cdot \overline{s_{2,5}} & s_4 \cdot \overline{s_{1,4}} \\ s_9 \cdot \overline{s_{9,12}} & s_8 \cdot \overline{s_{8,11}} & s_7 \cdot \overline{s_{7,10}} \\ s_{12} \cdot \overline{s_{9,12}} & s_{11} \cdot \overline{s_{8,11}} & s_{10} \cdot \overline{s_{7,10}} \end{bmatrix}$$

Теперь систему уравнений (5), без учета сигналов обнуления выходов – с, можно представить в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_3 \cdot \overline{s_{3,6}} & s_2 \cdot \overline{s_{2,5}} & s_1 \cdot \overline{s_{1,4}} \\ s_6 \cdot \overline{s_{3,6}} & s_5 \cdot \overline{s_{2,5}} & s_4 \cdot \overline{s_{1,4}} \\ s_9 \cdot \overline{s_{9,12}} & s_8 \cdot \overline{s_{8,11}} & s_7 \cdot \overline{s_{7,10}} \\ s_{12} \cdot \overline{s_{9,12}} & s_{11} \cdot \overline{s_{8,11}} & s_{10} \cdot \overline{s_{7,10}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$$

Таким образом, системную графовую модель матричной структуры любой сложности можно представить матрицей отношений, позволяющей определить открытые переходы и функции на выходе системного графа, не прослеживая подробно все связи сложной структуры.

Анализ динамических характеристик ЛПМ.

Основными технологическими характеристиками рабочей среды пневмоматриц являются давление газа p и его плотность ρ . В качестве модели газовой среды допустимо принять модель идеального газа с уравнением состояния $p = \rho RT$, где T – температура, $R = R_0 / \mu$ – газовая постоянная. Такая среда оказывает сопротивление изменению объема и



плотности своих частиц, в ней возникают внутренние напряжения, которые для изотропных сред характеризуются по существу скалярной величиной – давлением p . Процессы изменения давления $p = p(x, t)$ и плотности $\rho = \rho(x, t)$ идеального газа подчиняются неоднородному одномерному волновому уравнению гиперболического типа:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = v_c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + f(x, t)$$

Для свободного адиабатического течения $pV^\gamma = p_0 V_0^\gamma = \text{const}$ и $f(x, t) = 0$. В этом случае скорость распространения v_c фронта плоской волны определится из формулы:

$$v_c^2 = \left. \frac{dp}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} = \frac{\gamma \cdot p_0}{\rho_0}$$

где

p_0, ρ_0 – невозмущенные значения давления и плотности среды,

$\gamma = c_p / c_v = 1,4053$ – показатель адиабаты воздуха,

c_p, c_v – удельные теплоемкости среды при постоянном давлении и постоянном объеме, соответственно.

Постоянное значение скорости фронта v_c дает основание рассматривать динамическую модель распространения среды по каналу связи как инерционное звено с коэффициентом передачи k_c и постоянной времени:

$$\tau_c: \tau_c \frac{dp}{dt} + p = k_c p_u,$$

где

p_u – входное давление среды в канал при срабатывании пневмовентилей,

$k_c = \frac{p_k}{p_u}$ – коэффициент передачи канала,
 p_k – выходное давление среды в канале,

$\tau_c = \tau_k + \tau_f = \tau_k \left(1 + \ln \frac{p_k}{p_u} \right)$ – постоянная времени канала,

$\tau_k = \frac{l_k^*}{v_c}$ – время распространения фронта в канале,

$\tau_f = \frac{l_k^*}{v_c} \ln \frac{p_k}{p_u}$ – время сглаживания профиля фронта,

l_k^* – характерный размер канала.

Область предельного быстрогодействия рассматриваемых пневмоматриц, содержащих $n \times m \times h$ входов/выходов с максимальным числом детектирующих элементов, приведена на рис. 5.

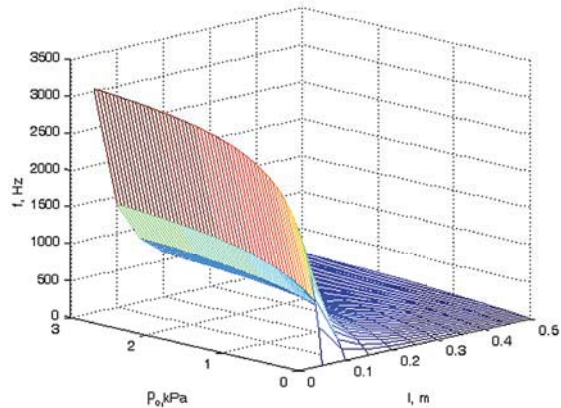


Рисунок 5 – Область предельного быстрогодействия пневмоматриц

Выбрав в качестве переменной состояния x давление p , а в качестве входного воздействия u давление на входе p_u , запишем динамическую модель в пространстве состояний:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx + Du$$

где $A = \left[-\frac{1}{\tau_c} \right]$, $B = \left[\frac{k_c}{\tau_c} \right]$, $C = 1$, $D = 0$.

Граф структурной схемы этой модели приведен на рис. 6 а.

В общем случае динамическая модель каждого элемента ЛПМ представляется в технологических переменных состояния элементарным графом (рис. 6, а), внутренние связи которого могут быть стянуты в точку при анализе системных свойств (рис. 6, б).

Анализ топологии рабочего пространства ЛПМ. Рассмотрим в топологическом пространстве R^3 замкнутую область Q , имеющую неоднородное распределение плотности среды по своему объему. Разобьем замкнутую область Q произвольным образом на n частичных областей Q_i , $i = \overline{1, n}$. Выберем в каждой частичной области Q_i произвольную точку и $(\xi_i, \eta_i, \zeta_i) \in Q_i$ приближенно примем, что в

пределах Q_i плотность среды постоянна и равна $\rho_i = \rho(\xi_i, \eta_i, \zeta_i)$. Определим в разбиении $T = \{Q_1, \dots, Q_n\}$ замкнутой области Q для каждой частичной области Q_i , $i = \overline{1, n}$ ее объем ΔV_i и диаметр d_i . Значение $\rho(\xi_i, \eta_i, \zeta_i)$ умножим на объем ΔV_i и составим интегральную сумму $S(T) = \sum_{i=1}^n \rho(\xi_i, \eta_i, \zeta_i) \cdot \Delta V_i$.

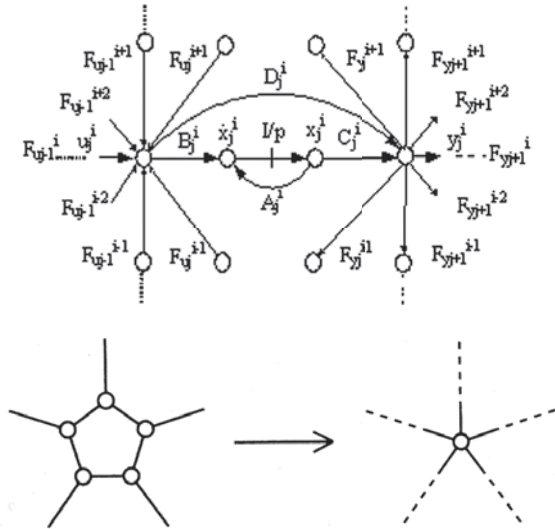


Рисунок 6 – Графовая модель динамики единичного элемента ЛПМ: (а), и схема ее отображения в системный граф (б)

Потребуем теперь, чтобы разность $|S(T) - I| \leq d(T)$ была ограничена $0 < d(T) < D$, где

$$I = \int_Q \rho(x, y, z) dV = \rho(x_0, y_0, z_0) V, \quad \rho(x_0, y_0, z_0) —$$

некоторая точка в области Q . Тогда множество шаров $Q_{d, \delta} = \{q \in R^n \mid \|q - d(T)\| < \delta\}$ объемом ΔV_i , ограниченных замкнутыми частичными областями Q_i , является компактным топологическим пространством. Следо-

вательно, $Q = \bigcup_{i=1}^n Q_i$ — компакт, являющийся линейно связным множеством $Q_i \in Q$ в пространстве R^n . Таким же свойством связности обладает локально компактное пространство R^3 , поскольку объединение Q любого семейства (Q_i) , $i \in N$, связных частей топологического пространства, имеющих попарно непустые пересечения ε_i , связно [6].

Таким образом, множество связных частичных областей Q_i замкнутой ограниченной области Q пространства R^3 задано множеством диаметров $(d_1, d_2, \dots, d_n)$. Соединим центры множества диаметров d_i , расположенных в точках $(\xi_i, \eta_i, \zeta_i) \in Q_i$, попарно непересекающимися кривыми ε_i . Полученное множество с индуцированной из R^3 структурой топологического пространства назовем полным графом изотропной среды.

Теперь каждому элементу ЛПМ, занимающему частичную область Q_i объемом ΔV_i можно поставить в соответствие вершину v_i графа, а каждой области пересечения ε_i частичных областей Q_i поставить в соответствие ребро e_i графа. Множество диаметров d_i с координатами центров (ξ_i, η_i, ζ_i) определяет множество характерных размеров* элементов ЛПМ. Расположение элементов ЛПМ в координатном пространстве R^3 определяется радиус вектором $r_i = r(x_i, y_i, z_i)$ центра частичной области Q_i .

Преимуществом представления ВПИ с программируемой структурой в виде системных графов является возможность анализа их функциональных, динамических и пространственных характеристик на основе одной системной модели. Это открывает возможности реализовать системный подход к созданию разнообразных исполнительных программно-управляемых устройств с регулярной пространственной структурой на основе жидких и газообразных однородных физических сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухопад Ю.Ф. Микроэлектронные информационноуправляющие системы. — Иркутск, 2004. — 404 с.
2. Biggs N. L. Algebraic graph theory. — Cambridge Univ. Press, 1974. — 527 p.
3. Мухопад Ю.Ф., Пашков Н.Н.. Системное моделирование технологических процессов // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды X Междунар. науч. практ. конф. — Ч 1. — СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2006. — 326 с.
4. Программная матрица для пневматических систем управления дискретного действия: Патент РФ на полезную модель № 62717 / Ю.Ф. Мухопад, А.Ф. Бовкун, А.З. Комков. — Оpubл. в бюл. № 12. — 27.04.2007.
5. Программная матрица для пневматических систем управления дискретного действия: Положительное решение о выдаче патента РФ рег. — № 2006141042/22(044816) от 20.11.2006 / Ю.Ф. Мухопад, А.Ф. Бовкун, А.З. Комков.
6. Шварц Л. Анализ. — М.: Мир, 1972. — Т. I. — 824 с. — Т. II. — 528 с.



КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕВОДА ТРАНСПОРТА НА КОМПРИМОВАННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В УСЛОВИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ



Преимущества природного газа в качестве экологически безопасного моторного топлива неоспоримы. Одним из главных движущих мотивов увеличения доли природного газа в хозяйственной деятельности человека становится необходимость сокращения парникового эффекта.

Российская Федерация имеет благоприятные условия для использования газа в качестве моторного топлива, в первую очередь за счет огромных его запасов. Кроме того, единая система газоснабжения обеспечивает подачу природного газа в большинстве населенных пунктов России.

Несмотря на это, процент использования альтернативных видов топлива остается крайне незначительным, что связано со следующими социально-экономическими проблемами:

- отсутствие законодательной базы и иных нормативных правовых актов, регулирующих и стимулирующих использование газа в качестве моторного топлива;

- недостаточное осознание обществом значимости экологических проблем по сравнению с другими социальными вопросами;

- прекращение автозаводами выпуска машин с газобаллонным оборудованием и сокращение парка автотранспорта на газомоторном топливе;

- низкая загруженность существующих автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) (загруженность 10-15%) и отсутствие широко развитой сети АГНКС, в связи с их нерентабельностью;

- отсутствие стимулирования перевода транспорта на газ как у эксплуатирующих организаций, так и у производителей газотопливного оборудования;

- недостаточная информативность владельцев транспортных средств о преимуществах использования газового топлива;

- высокие единовременные затраты на создание инфраструктуры по переводу автотранспорта на газ, а также по обслуживанию и ремонту транспорта, переведенного на газ.

Для решения этих социально-экономических проблем необходимы следующие действия:

- законодательные акты как на уровне субъектов, так и на федеральном уровне, которые бы регламентировали все моменты использования газа как автомобильного топлива. Здесь необходимо закрепление ответственных за каждым этапом про-

граммы перевода транспорта на газовое топливо как со стороны законодательной, так и исполнительной власти;

- широкое экологическое просвещение о состоянии окружающей природной среды и влиянии транспорта на ее загрязнение. Разъяснение об экологической чистоте газового топлива.

- разработка двигателей автомобилей, приспособленных работать только на газовом топливе, с изменением основных показателей работы двигателя. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей в низкотемпературных условиях.

- планомерный перевод муниципального транспорта и транспорта сельхозтоваропроизводителей на питание газовым топливом. Применение передвижных АГНКС.

- проведение рекламных кампаний о преимуществах газового топлива относительно традиционных источников энергии.

- введение системы кредитования как предприятий, так и частных владельцев для перевода автомобилей на газ.

Для решения проблемы и обеспечения возможности использования природного газа в качестве моторного топлива на территории Уральского федерального округа правительство Тюменской области, ОАО «Запсибгазпром» при участии ТюмГНГУ разработали областную целевую программу «Развитие сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и парка газобаллонных автомобилей на территории Уральского федерального округа Российской Федерации» [1].

Стратегическими целями программы являются:

- сокращение вредных техногенных выбросов в атмосферу.

- снижение негативного влияния автотранспорта на окружающую среду и здоровье населения.

- уменьшение расхода на горюче-смазочные материалы и повышение моторесурса двигателей.

- экономию жидких видов топлива.

Для достижения этих целей были сформулированы задачи:





-наращивание парка автомобилей, в том числе муниципальных образований, автотранспортных и сельскохозяйственных предприятий, использующих метан в качестве топлива.

-развитие сетей АГНКС (выбор мощности АГНКС и места их установок)

-организация пунктов сервисного обслуживания и ремонта автомобильного газобаллонного оборудования.

-создание нормативноправовой базы для стимулирования использования природного газа в качестве моторного топлива.

Программа содержит следующие этапы.

1. План мероприятий

Программа рассчитана на 3 года и будет осуществляться в несколько этапов (табл. 1).

Таблица 1 – Этапы реализации программы

Этап	Количество автомобилей, переведенных на газ	Стоимость, (тыс. руб)	Количество построенных АГНКС	Стоимость, (тыс. руб)
1	400	32000	4 (Тюмень)	24000
2	600	48000	5 (1-Тюмень+4 районы)	30000
3	800	64000	6 (районы области)	36000

Одновременно планируется разработать правовые и административные основы областной политики в сфере развития экологически чистого и безопасного автомобильного транспорта, обеспечивающего стимулирование инвестиций в соответствующие экономические и научно-технические проекты и программы, а также стимулирование эксплуатации более экономически безопасных автомобилей на основе газообразных видов топлива предприятиями и организациями.

Реализация программы приведет к устойчивому снижению вредного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и здоровье населения, существенному уменьшению затрат на топливо и издержек на содержание автомобилей.

В ходе осуществления мероприятий по реализации программы планируется достигнуть следующих положительных результатов (табл. 2).

Таблица 2 – Планируемое снижение выбросов вредных веществ

Этап	Снижение выбросов, т
1	1700
2	2400
3	3300

При этом снижение затрат на топливо составит 37,5%.

2. Система мероприятий

ПЕРЕВОД ТРАНСПОРТА И СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ НА СЖАТЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

В г. Тюмени и районах Тюменской области наиболее предпочтительным представляется частичная замена традиционных видов моторного топлива на компримированный природный газ ввиду его низкой себестоимости и практической неограниченности этого ресурса в стране. Использование метана в качестве моторного топлива позволяет снизить выбросы в атмосферу оксидов углерода и оксидов азота на 30-70%, а также уменьшить дымность отработавших газов в 8 – 10 раз. В связи с изложенным расширение использования КПГ на автомобильном транспорте является одним из важных направлений повышения экологической безопасности автотранспорта.

В течение 3-х лет в соответствии с графиком планируется осуществить поэтапный перевод 1800 единиц муниципальных и сельскохозяйственных транспортных средств на использование КПГ в качестве моторного топлива.

Для этого автомобили поставляются для переоборудования на специализированное предприятие, которым в соответствии с существующими техническими нормами производится установка газобаллонного оборудования.

Стоимость газобаллонного оборудования приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Стоимость газобаллонного оборудования

Вид транспортного средства	Стоимость, тыс. руб.
Грузовой	100
Автобусы	63
Легковой	40
Сельхозтехника (К-700, МТ-380)	115





Перевод сельскохозяйственной техники и муниципального транспорта на КПГ планируется осуществить за счет средств областного бюджета на 70% и муниципального бюджета на 30%. Также предусматривается привлечение частных инвестиций. Объем финансирования составит 144 млн руб.: средства областного бюджета — 100 млн. руб., муниципального бюджета — 44 млн. руб.

Ожидаемый результат от перевода автотранспортных средств на использование КПГ в качестве моторного топлива:

-сокращение техногенных выбросов в атмосферу за счет внедрения КПГ на транспорте в качестве моторного топлива на 7400 т в год;

-экономический эффект от использования газообразного моторного топлива вместо жидкого 240 млн руб.;

-экономия 22000 т жидких видов топлива.

СТРОИТЕЛЬСТВО СЕТИ КОМПАКТНЫХ АГНКС НА ТЕРРИТОРИИ Г. ТЮМЕНИ И В РЕГИОНАХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью реализации программы является строительство ряда компактных АГНКС средней и малой мощности, позволяющих обеспечить КПГ муниципальный автотранспорт и сельскохозяйственную технику.

За три года предполагается осуществить строительство 15 АГНКС на территории юга области и города Тюмени.

Положительным эффектом реализации данного пункта программы должно стать создание 95 дополнительных рабочих мест. Общий объем финансирования строительства АГНКС в регионах Тюменской области составляет 90 млн руб., в том числе из муниципального бюджета 30 млн руб.

Приобретение передвижных автогазозаправщиков на территории сельскохозяйственных районов области составит 60 млн. руб.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПУНКТОВ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Целью мероприятия является поддержание в технически исправном состоянии и проведение необходимых профилактических работ используемого на подвижном составе газобаллонного оборудования. В рамках мероприятия проводятся работы по организации пунктов сервисного обслуживания газобаллонной аппаратуры. В результате реализации данного мероприятия создается 2 стационарных и 2 передвижных пун-

кта сервисного обслуживания и 18 новых рабочих мест.

Объем финансирования по данному пункту составляет 12 млн. руб.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В рамках исполнения данного пункта программы планируется разработать систему стимулирования использования организациями и предприятиями природного газа в качестве моторного топлива, а также организовать периодическое освещение в средствах массовой информации вопросов состояния окружающей среды, акцентируя внимание населения на преимуществах использования КПГ на автомобильном транспорте перед традиционными жидкими видами топлива.

В качестве мер, стимулирующих предприятия и организации к переводу транспорта на газообразное топливо, планируется осуществлять следующие действия:

-выплата субсидий из областного бюджета на строительство АГНКС – до 75% от суммы затрат;

-льготное целевое кредитование перевода автотранспорта на природный газ для физических и юридических лиц.

3. Ресурсное обеспечение реализации программы

Реализация Программы потребует затрат в объеме 313 млн руб. (в ценах 2006 года), в том числе (табл. 4):

-средства областного бюджета – 234 млн руб.;

-средства муниципального бюджета – 74 млн руб.;

-средства ОАО «Запсибгазпром» – 5 млн руб.

Таблица 4 – Ресурсное обеспечение реализации программы

Источник финансирования	Объем финансирования по этапам, млн руб.		
	1	2	3
Средства областного бюджета	56	78	100
Средства муниципального бюджета	34	20	20
Средства ОАО «Запсибгазпром»	5		
Общий объем финансирования на весь срок реализации программы	93	98	120

Объем финансирования реализации программы может корректироваться в сторону увеличения.





4. Механизм реализации программы

В роли заказчика программы от правительства Тюменской области выступает Главное управление строительства Тюменской области. Заказчик совместно с ОАО «Запсибгазпром» готовит предложения по первоочередным инвестиционным проектам, направленным на реализацию пунктов программы, а именно:

- создание центров переоборудования автомобилей на КПП, а так же пунктов ремонта и сервисного обслуживания газобаллонного оборудования;
- развитие сети АГНКС для обеспечения газомоторным топливом автотранспорта предприятий, частных предпринимателей и индивидуальных владельцев;
- создание внутрихозяйственной сети АГНКС для обслуживания муниципальных автобусов и грузового автотранспорта.

Строительство объектов (центров переоборудования автотранспорта, АГНКС, пунктов ремонта и сервисного обслуживания газобаллонного оборудования) должно осуществляться на специально отведенных для этих целей земельных участках, месторождение которых определяется по согласованию с Департаментом земельных ресурсов на средства участников программы.

Координационный совет ОАО «Запсибгазпром» совместно с Департаментом экономики правительства Тюменской области выступает координатором и заказчиком строительства объектов дорожно-транспортной инфраструктуры для обеспечения транспорта природным газом в качестве моторного топлива и выполняет следующие обязательства:

- Осуществляет подготовку плана реализации мероприятий Программы на соответствующий финансовый год, исходя из финансовых потребностей;
- производит оценку эффективности программных мероприятий, а также затрат на их реализацию;
- организует управление реализацией мероприятий Программы путем определения конкретных исполнителей программных мероприятий и заключение контрактов с исполнителями и инвесторами;
- осуществляет разработку и реализацию мер по привлечению финансовых, материальных и иных необходимых ресурсов для реализации пунктов программы;
- осуществляет меры по налаживанию межмуниципального сотрудничества в области перевода автомобильного транспорта на природный газ с администрациями муниципальных образований юга Тюменской области;
- обеспечивает научно-техническое и информационное сопровождение программы;

-осуществляет систематический контроль за реализацией программы.

Контроль за целевым использованием денежных средств возлагается на Департамент финансов и налоговой политики правительства Тюменской области.

5. Оценка эффективности экологических и социально-экономических последствий реализации программы

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Прогнозируемое снижение выбросов вредных техногенных веществ в атмосферу составит 7400 т в год за период реализации программы. Расчет сокращения техногенных выбросов от использования природного газа в качестве моторного топлива представлен в табл. 5.

Таблица 5 – Расчет сокращения выбросов

Этап	Вид топлива	Годовой расход топлива, т, м ³	Удельный выброс вредных веществ на 1 т топлива, кг.	Снижение уровня выбросов, т
1	Бензин	5068	510	
	Газ	5574	157	1710
2	Бензин	7108	510	
	Газ	7818	157	2398
3	Бензин	9727	510	
	Газ	10698	157	3281
Итого	Бензин	21903	510	
	Газ	24090	157	7389

ОЖИДАЕМЫЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Реализация мероприятий настоящей программы позволит получить экономический эффект от реализации в стоимости жидкого и газообразного топлива в размере около 240 млн руб. Расчеты представлены в табл. 6.





Таблица 6 – Расчет экономического эффекта от замены жидкого топлива на газообразное

Этап	Вид транспорта	Кол-во	Норма расхода [2] на 100 км.		Средне-годовой пробег, тыс км.	Расход всего			
			Жидкое топливо, л	Газ, м³		Жидкое топливо		Газ	
						Всего, т	Стоимость, тыс руб.	Всего, тыс. м³	Стоимость, тыс руб.
1	Легковой	120	15	16,5	43	774	13158	851	4683
	Автобусы	120	34	37,4	38	1550	26350	1705	9380
	Грузовой	160	35	38,5	49	2744	46648	3018	16601
	Всего	400				5068	86156	5574	30664
2	Легковой	250	15	16,5	43	1613	27421	1774	9757
	Автобусы	120	34	37,4	38	1550	26350	1705	9377
	Грузовой	230	35	38,5	49	3945	67065	4339	23865
	Всего	600				7108	120836	7818	42999
3	Легковой	310	15	16,5	43	2000	34000	2199	12095
	Автобусы	160	34	37,4	38	2067	35139	2274	12507
	Грузовой	330	35	38,5	49	5660	96220	6225	34238
	Всего	800				9727	165359	10698	58840
Итого		1800				21903	372351	24090	132503

ПРИМЕЧАНИЕ:

расчеты велись при средней стоимости 1 л бензина А-92 – 17 руб., компримированного природного газа – 5,50 руб.

В результате реализации программы планируется получить экономию жидких видов топлива в объеме около 21900 т.

Таким образом, реализация результатов программы позволит достичь значительного экологического и социально-экономического эффекта для всего региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и парка газобаллонных автомобилей на территории Уральского федерального округа Российской Федерации: Областная целевая программа /Правительство Тюменской области. – Тюмень, 2006. — 21 с.
2. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте: Руководящий документ №Р3112194036603 /Министерство транспорта РФ. – Москва, 2001. – 87с.

О РАСПОЛОЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ПРАВИЛАМ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

В настоящее время понятие «конфликтная зона» как в научной, так и в нормативной литературе строго не определено и допускает разное толкование. В статье предложен вариант более точного определения данного понятия, даны конкретные предложения по введению изменений в действующий ГОСТ, позволяющие повысить безопасность движения на автомобильных дорогах.

Одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на автомобильных дорогах является нарушение правил перестроения (8 – 12%, по данным ГИБДД г.Екатеринбурга). Из-за неправильного расположения транспортных средств (ТС) на проезжей части увеличивается площадь конфликтной зоны на дороге, что затрудняет маневрирование и может привести к столкновению ТС в попутном направлении.

В настоящее время понятие «конфликтная зона» как в научной, так и в нормативной литературе строго не определено и допускает разное толкование. Попробуем дать более точное и полное понятие этого термина. Конфликтная зона – это участок дороги, площадь которого ограничена траекториями движения габаритных точек ТС при пересечении, слиянии (разделении) транспортных потоков в одном уровне. Очевидно, что величина площади конфликтной зоны будет изменяться при различных способах расположения ТС на проезжей части.

Проблемой является то, что действующие правила дорожного движения (ПДД) не всегда четко регламентируют место расположения ТС на дороге, предоставляя самостоятельно решать этот вопрос «самим водителям с учетом ширины проезжей части, габаритов транспортных средств и необходимых интервалов между ними» (п. 9.1 ПДД) [1]. Такое требование ПДД не способствует снижению количества ДТП на автомобильных дорогах, а скорее, наоборот, ведет к их значительному росту.

Границы полосы движения на автомобильных дорогах однозначно может определить только дорожная разметка. «Если проезжая часть разделена на полосы линиями разметки, движение транспортных средств должно осуществляться строго по обозначенным полосам. Наезжать на прерывистые линии разметки разрешается лишь при перестроении» (п. 9.7 ПДД) [1].

Исходя из определения п.1.2 ПДД, что «Полоса движения – любая из продольных полос проезжей части, обозначенная или не обозначенная разметкой и имеющая ширину, достаточную для движения автомобилей в один ряд», делаем вывод, что на одной полосе могут разместиться, например, и два малогабаритных автомобиля [1]. Очевидно, что при таком варианте расположения ТС на полосе движения

вероятность ДТП резко возрастает. Для примера: ширина ВАЗ-1111 и «Ниссан-Микра» равна 1565 и 1595 мм соответственно. Предположение подтверждается, если взглянуть в СНиП 2.07.0189, где указывается ширина полосы движения для большинства магистральных улиц и улиц местного значения, равная 3,0 3,5 м [2].

Таким образом, отсутствие в ПДД конкретных указаний по вопросу расположения ТС на проезжей части и реальное отсутствие дорожных разметки и знаков на российских дорогах возлагает на водителя значительную долю ответственности за безопасность дорожного движения. В этих условиях от водителя требуется усиленное внимание к дорожной обстановке, что приводит к его быстрой усталости, увеличению времени реакции и, значит к повышению вероятности ДТП.

Еще запутаннее ситуация по анализу ПДД с определением взаиморасположения на дороге безрельсового ТС и трамвая. Актуальность данной проблемы отразил в своих исследованиях [3] зам. начальника экспертнокриминалистического центра ГУВД Челябинской области, полковник милиции Городокин В.А.: «в отношении кого законодатель предполагает решать проблему безопасности?».

Городской общественный транспорт (ГОТ) является частью системы транспорта, а также областью взаимодействия трех и более общих подсистем:

- города как социально-экономического образования;
- транспорта как отрасли, выполняющей услуги по перевозке;
- населения (клиентов).

Конечная цель системы ГОТ – повышение качества обслуживания населения города в целом. С этой точки зрения ГОТ (в частности, трамвай) должен иметь преимущество по отношению к личному транспорту, но п. 9.6 ПДД разрешает «движение безрельсовых ТС по трамвайным путям попутного направления, расположенным слева на одном уровне с проезжей частью, когда заняты все полосы данного направления, а также при объезде, обгоне, повороте налево или развороте с учетом п. 8.5 ПДД» [1].

Получается, что именно в момент, когда все полосы заняты (например, при заторе), безрельсовые ТС будут дви-

гаться по трамвайным путям в целях скорейшего проезда данного участка дороги, и среди этих автомобилей будет двигаться вагон трамвая. Когда, например, любое безрельсовое ТС снизит скорость или полностью остановится, также будет вынужден снизить скорость движения или остановиться трамвай, а это несоблюдение водителями безрельсовых ТС требования «уступить дорогу» (рис.1).

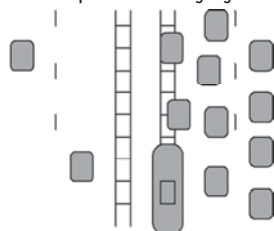


Рисунок 1 –
Расположение безрельсовых ТС на трамвай-
ных путях в соответствии с ПДД

Ситуация становится еще более сложной, когда впереди появляется перекресток. ПДД предписывают «поворот налево и разворот выполнять с трамвайных путей, если знаками 5.15.1 или 5.15.2 либо разметкой 1.18 не предписан иной порядок движения. При этом не должно создаваться помех трамваю» (п. 8.5 ПДД) [1]. Водитель безрельсового ТС при отсутствии обозначенных знаков и разметки выезжает на трамвайные пути попутного направления для осуществления маневра, убедившись в отсутствии трамвая. П.13.4 ПДД обязывает при повороте налево или развороте «уступить дорогу ТС, движущимся со встречного направления прямо и направо» [1]. Водитель ТС будет выполнять это требование и нарушать п.8.5 ПДД при появлении трамвая в попутном направлении (рис. 2).

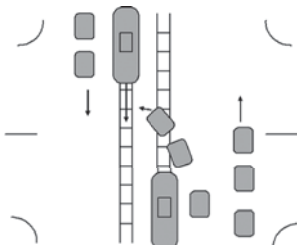


Рисунок 2 –
Поворот налево (разворот) безрельсовых ТС
с трамвайных путей в пределах перекрест-
ка в соответствии с ПДД

Если предположить, что движение малоинтенсивное и никто из водителей не выезжает на трамвайные пути ни на перегоне, ни перед перекрестком, когда установлен знак 5.15.1 или 5.15.2 либо разметка 1.18, возникает вопрос: «Где располагать ТС на проезжей части?» Определение границ полосы движения и трамвайной линии затруднительно, тем более в ПДД отсутствует термин «трамвайная линия». Автомобилистам самим приходится выбирать место на полосе рядом с трамвайными путями, но при этом трамвай имеет габариты в плане большие, чем колея рельс (рис. 3). Инструкция № 116 определяет границу трамвайного полотна на совмещенном и обособленном полотне равной 0,7м от внешнего рельса с каждой стороны [4].

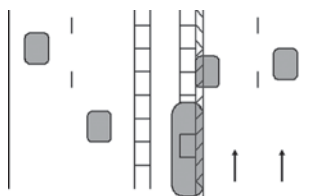


Рисунок 3 –
Расположение безрельсовых ТС рядом с
трамвайными путями в соответствии
с ПДД и образование конфликтной зоны

Для облегчения решения задачи расположения ТС на проезжей части можно просто нанести разметку, разделяющую трамвайную линию и полосы движения, но выясняется, что такой разметки нет. Разметка 1.2.1 обозначает край проезжей части, но является сплошной линией, которую не будут пересекать водители. В местах, где можно выезжать на трамвайные пути, нужна пунктирная разметка, например 1.2.2, но она обозначает край проезжей части на двухполосных дорогах и не пригодна для рассмотренных случаев.

Таким образом, для решения поставленной выше проблемы, на наш взгляд, целесообразно введение в ГОСТ нового пункта, касающегося дорожной разметки, отделяющей полосы движения безрельсовых ТС от трамвайных путей [5]:

- сплошной в местах, где запрещено выезжать на трамвайные пути;
- пунктирной в местах, где разрешено выезжать на трамвайные пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила дорожного движения Российской Федерации / Постановление Совета Министров – Правительства Российской Федерации. № 1090 от 23.10.1993 с изменениями и дополнениями.
2. СНиП 2.07.0189. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. – 56 с.
3. Городокин В.А. Обгон в правилах дорожного движения // Транспорт Урала. – 2006. № 2. – С. 6168. / – №3. – С. 8288.
4. Инструкция № 116. Техническое содержание трамвайного пути. – М.: ГЭТ. – 1992. – 10 с.
5. ГОСТ Р 5125699. Разметка дорожная. Типы и основные параметры. Общие технические требования. – 1999. – 27 с.



ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОРШНЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

В железнодорожном транспорте, сельском и лесном хозяйстве широко применяются двигатели внутреннего сгорания. Они устанавливаются на тепловозы, тракторы и другие транспортные машины.

От работы двигателей, их качеств во многом зависит производительность машин, их экономичность, мощность, потребление горюче-смазочных материалов. На эти параметры существенно влияет число поршневых колец на поршне [1, 2].

В предлагаемой статье изложены методика и результаты исследований по влиянию количества поршневых колец на некоторые показатели двигателей, такие как угар масла, механические потери, пусковые качества и дымность отработавших газов.

Основным вопросом было исследование уга-ра масла в зависимости от количества поршневых колец.

Угар масла в современных двигателях внутреннего сгорания составляет около 1% от расхода топлива, что приводит к большим потерям ГСМ. Ставится задача снизить потери масла и довести их до 0,6-0,7% от расхода топлива. В связи с форсированием ДВС предъявляются повышенные требования к конструкции цилиндропоршневой группы. Это требует повышения качества масла, уменьшения нагара в поршневых канавках и снижения масла на угар. Таким образом, форсирование двигателей по нагрузке и частоте вращения требует изучения тепловой напряженности и особенности конструкции поршня.

Особо остро стоит проблема расхода моторных масел. Это связано с тем, что расход ГСМ составляет около 40% от общего производства нефтепродуктов в стране. На расход масла сильно влияет конструкция деталей цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

Чтобы решить эти вопросы, необходимо проводить исследования по угару масла в двигателях. Теоретические расчеты показали, что масло со стенок цилиндра выгорает более интенсивно в верхней его части [3]. Для подтверждения теоретических исследований были выполнены эксперименты.

Для изучения величины уга-ра масла была оборудована экспериментальная установка (рис. 1). Она состояла из одноцилиндрового дизельного двигателя ОД-9, электрического тормоза переменного тока КИ-1363-Б, пульта управления, устройства для определения величины уга-ра масла, индикатора МАИ-2, дымомера, часов, электротехометра, манометров масла и топлива, термометров воды и масла, трехходового крана, осциллографа.

В процессе исследований снимались следующие показатели:

- частота вращения коленчатого вала, мин¹;
- расходы топлива, воздуха, охлаждающей жидкости, кг/час;
- степень задымленности отработавших газов, %;
- температура отработавших газов воды, масла на входе и выходе из двигателя, деталей цилиндропоршневой группы, °С.

Замер расхода масла на угар определялся по убыванию масла из картера дизеля или из масляного бака при работе двигателя в течение 10 ч на номинальном скоростном режиме при мощности, составляющей 90% от номинальной.

Двигатель до начала испытаний прогревался до оптимального теплового режима ($t_{\text{воды}} = 85^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{масла}} = 80^{\circ}\text{C}$). Для снятия характеристик был выбран следующий режим работы, при котором замерялся угар масла и прорыв газов в картере:

- частота вращения коленчатого вала $n = 1500$ мин¹;
- часовой расход топлива $G_t = 4, 13$, кг/час;
- мощность (90% от номинальной) $N_e = 20$ л.с.;
- угол опережения начала подачи топлива $Q = 28^{\circ}$ п.к.в.;
- температура охлаждающей воды на выходе $t_{\text{в}} = 85^{\circ}\text{C}$;

6. Температура масла на выходе $t_m = 80^{\circ}\text{C}$.

Для получения более стабильных результатов уга-ра масла и количества прорывающихся



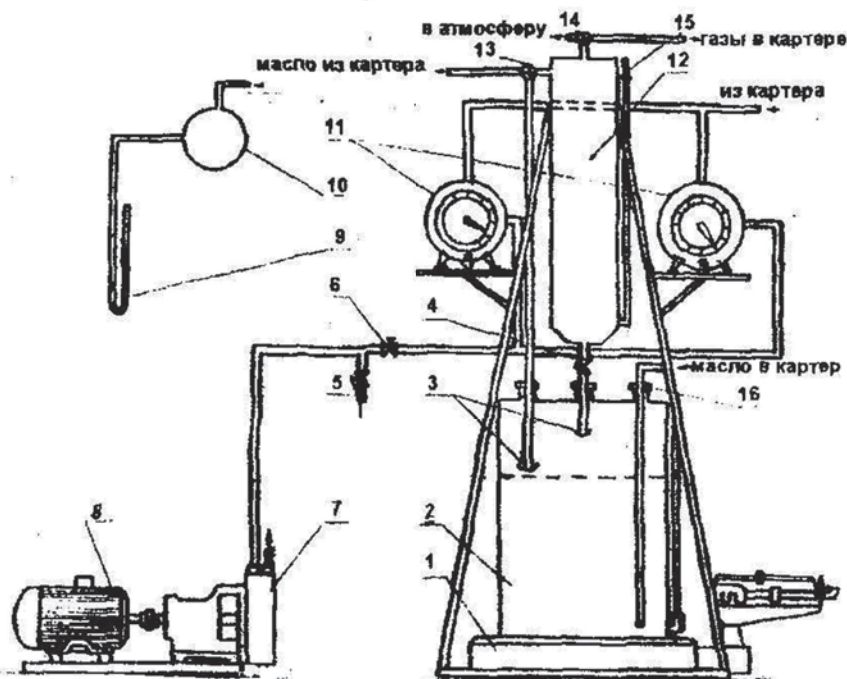


Рис.1. Схема установка для замера угара масла и прорыва газов:
1- весы; 2-масляный бак; 3-маслогасители; 4-кран уровня масла; 5,6-вентили;
7-Вакуумный насос; 8-электродвигатель; 9 - манометр; 10- ресивер; 11-
газовые счетчики; 12-мерный бак; 13,14 -трехходовые краны; 15 -мерная
трубка; 16-уплотнение.

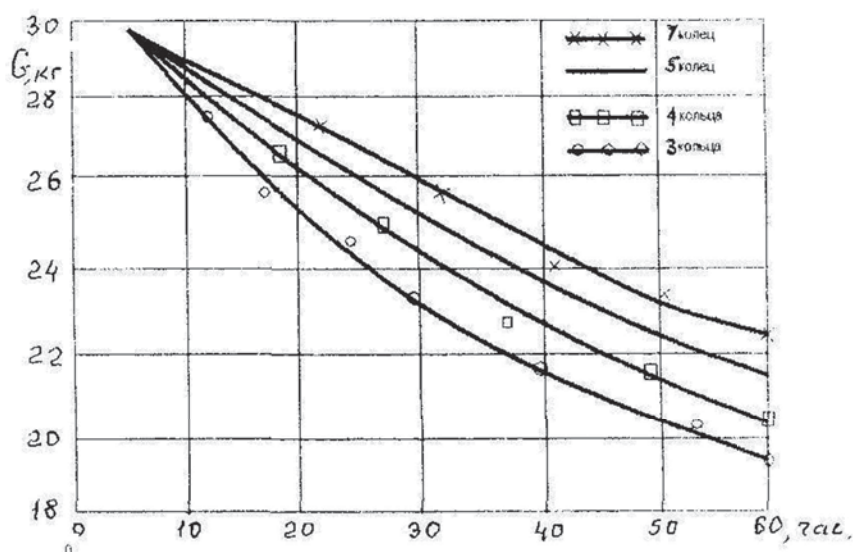


Рис.2. Уменьшение количества масла в системе при испытании дизеля
с разным количеством колец.



газов определяли показатели в течении 60 ч в три этапа по 20 ч непрерывной работы. Замеры проводились с 3-кратной повторностью, через каждый час работы двигателя.

Установка для угара масла и прорыва газов состояла из весов 1, масляного бака 2, маслогазителей 3, крана уровня масла 4, вентилей 5,6, вакуумного насоса 7, электродвигателя 8, манометра 9, ресивера 10, газовых счетчиков 11, мерного бака 12, двух 3-ходовых кранов 13,14, мерной трубки 15, уплотнения 16.

Перед испытанием заливалось свежее масло марки МТ-16П в бак 2, которое взвешивалось с помощью весов 1, перед этим масло из системы смазки полностью сливалось. Первый замер количества масла в системе, а точнее, в масляном баке 2 производился во время работы двигателя, как только устанавливался заданный температурный режим. Масло из двигателя поступало в бак 2 через трехходовой кран 13, минуя бак 12. Количество масла, взвешиваемого при работе в баке 2, объективно отражало изменение (уменьшение количества масла в системе). Предполагалось, что вторая часть масла, которая циркулировала в системе и находилась в трубопроводах, масляном насосе, фильтре, радиаторе, каналах, трущихся сопряжениях и в распыленном состоянии в картерном пространстве, при установившемся режиме работы и неизменных температурах масла и охлаждающей жидкости остается постоянной.

Как показали опыты, такие предположения являются правомерными и по количеству масла в баке можно судить об уменьшении его в системе смазки в целом. Взвешивание масла проводилось с точностью до 0,01 кг.

В конце 60-часовых испытаний масло сливалось из системы смазки двигателя и взвешивалось. Все непредвиденные утечки масла собирались и учитывались при обработке результатов испытания.

Прорыв газов. Замер утечки газов через кольцевое уплотнение поршня проводился 2 методами

1-й метод – при избыточном давлении в картере. При этом картер должен быть достаточно уплотнен. Утечка газов определяется при помощи газового счетчика.

2й метод – с отсосом утечки газов из картера. При этом в картере создают небольшое разрежение с помощью вакуумного насоса и отсасывают газы утечки. Величина утечек замерялась тоже с помощью газового счетчика барабанного типа 11 (рис.1.), который своей входной стороной подключался к картеру дви-

гателя, а выходной – к вакуумному насосу 7 (рис.1). К картеру двигателя присоединялся водяной манометр 9, который служил для контроля давления или разрежения в картере двигателя. Для повышения точности при замере подключались параллельно два газовых счетчика.

Величина разрежения в картере создавалась вакуумным насосом 7 и регулировалась кранами 5 и 6 (она поддерживалась в пределах 15-20 мм.вод.ст.).

Испытания проводились с целью получения материалов для отработки конструкции поршня:

- уточнения профиля образующей боковой поверхности с учетом его температуры, чтобы обеспечить равномерный по высоте зазор между поршнем и цилиндром при работе и, как следствие, уменьшить износ поршня;

- нахождения такого количества и конструкции поршневых колец, при которых получают наименьшие потери на трение и не повышается или уменьшается прорыв газов из цилиндра в картер двигателя и проникновение смазочного масла из картера в цилиндр.

Для выявления эффективности работы измерялись следующие параметры двигателя: мощность, удельный расход топлива, давление газов в цилиндре двигателя (индикаторная диаграмма), температура охлаждающей жидкости (воды) и масла, температура цилиндропоршневой группы, задымленность отработавших газов, прорыв газов из цилиндра в картер, угар смазочного масла, механические потери и продолжительность пуска двигателя.

Были исследованы следующие варианты поршней:

- серийный (7 колец в 5 канавках);
- поршень с 5 кольцами;
- поршень с 3 кольцами и дренажными каналами;
- поршень с 4 кольцами, с различным исполнением профиля колец.

Все поршни оборудовались термopарами, которые располагались по образующей, всего 11 термopар.

Испытания проводились на этом же дизеле ОД-9. Он представляет собой одноцилиндровый отсек серийного дизеля У1Д6. Его мощность 2527 л.с при 1500 мин⁻¹, диаметр цилиндра – 150мм, ход поршня 180мм. Испытание двигателя проводилось в лабораторных условиях при окружающей температуре 15-25°С, барометрическом давлении 740-760 мм.рт.ст. В систему смазки двигателя заливалось масло МТ16П, испытания проводились на летнем дизельном топливе.





Пусковые качества двигателя определялись продолжительностью времени с начала прокручивания коленчатого вала электродвигателем стенда КИ-1363Б до появления первых вспышек топлива.

Это время отмечалось при каждом запуске двигателя и с разным количеством поршневых колец.

На основании проведенных исследований и полученных результатов построены графики (рис.2) свидетельствующие об общей закономерности, и зависимости расхода масла от числа поршневых колец.

Общим для всех вариантов является то, что процесс приработки колец за 50 ч обкатки двигателя не заканчивается и продолжается еще в среднем 30-35 ч. После этого приработка завершается, и расход масла стабилизируется.

Таким образом, применение поршней с меньшим количеством колец и измененной конструкцией маслосъемного кольца обуславливает снижение расхода масла от 24% до 6-9%. Применение радиального рас-

ширителя способствует более равномерному прилеганию кольца к поверхности гильзы и даже обеспечивает некоторое копирование формы гильзы.

ВЫВОДЫ

1. Применение 3 колец снизило расход масла на угар от 24 до 69%

2. Мощность двигателя при изменении количества колец до 3 увеличивалась на 0,5-4,5%, что объясняется уменьшением потерь на трение.

3. Пусковые качества изменились незначительно в сторону улучшения.

4. Механические потери снизились при переходе на поршни с 3 кольцами на 6%, что объясняется меньшим трением.

В целом уменьшение числа поршневых колец упрощает конструкцию поршня, способствует снижению затрат на изготовление поршневой группы, увеличению площади опорной поверхности поршня, повышению прочности и надежности поршня. Применение поршня с 3 кольцами является перспективным и экономически целесообразным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блаер И.П. Уплотняющие свойства поршневых колец // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 2.
2. Морозов А.Г. Технический отчет ТМЗ / А.Г. Морозов и др. – Свердловск, 1978.
3. Рейн В.Ф. Тракторный дизель: составляющие расхода моторного масла на угар // Тракторы и сельхозмашины. – 1995. – № 5.

МОДЕЛИ АКТИВНОГО ПОВОРОТА КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

В статье приведена классификация существующих типов криволинейного движения, указаны их особенности, представлены основные принципы составления математических моделей стационарного и нестационарного поворотов произвольной колесной или гусеничной машины.

Прежде чем переходить к построению моделей движения, рассмотрим различные типы движений и их основные признаки.

Активным поворотом транспортной машины принято считать ее криволинейное движение при некотором управляющем воздействии со стороны водителя. Таким образом, в самом общем случае любое криволинейное движение нестационарно, хотя исследование любой машины, как правило, начинают с рассмотрения стационарного вида. Последнее является основополагающим, где закладываются основные принципы (подходы) и допущения (гипотезы) к описанию возникающих взаимодействий. Кроме того, стационарное движение достаточно легко проверяется на практике посредством проведения простейших экспериментов. Движение системы называется **стационарным**, если все позиционные координаты, непосредственно не входящие в кинетическую энергию, сохраняют свое постоянное значение [1], т.е. **стационарным поворотом** является движение по кругу с постоянным радиусом.

Если же при этом все параметры движения имеют неизменные значения, то движение считается **установившимся**. Наиболее наглядно разницу между этими двумя видами движений можно проследить на примере поворота тихоходной гусеничной машины. В силу малой скорости переходный процесс входа в поворот практически отсутствует. Однако даже при постоянной скорости движения поворот будет установившимся только тогда, когда установятся силовые факторы, возникающие в контакте, т.е. когда гусеница пройдет половину базы (0,5 L) и однозначно определятся траектории всех точек гусеницы [2].

Если при повороте тихоходных машин силы инерции несравнимо малы и ими пренебрегают, то внешние силы и силы сцепления составляют уравновешенную (статическую) систему, а **поворот** считают **статическим**. Хотя понятие «статическое движение» само по себе абсурдно, в теории поворота оно нашло достаточное распространение при составлении простейших моделей стационарного движений [3–5]. В общем случае криволинейное движение представляет собой нестационарный поворот с переменным радиусом, од-

нако при отсутствии инерционных сил в каждый момент времени с определенной долей вероятности, движение можно принять статическим, и движение становится квазистатическим.

Математические модели движения зависят от поставленной задачи, типа движения и делятся на два основных вида:

- модели стационарного (статического, установившегося) движения, в результате которых определяются все кинематические и силовые параметры поворота, представляют собой систему алгебраических уравнений;

- модели нестационарного (квазистатического) движения, в результате которых строится траектория движения транспортного средства, представляющая собой систему дифференциальных или дифференциально-алгебраических уравнений.

Рассмотрим основные принципы составления различных математических моделей поворота.

1. Модель стационарного (установившегося) поворота произвольной колесной или гусеничной машины

Пусть многоопорная машина с n осями ($i=1...n$) и m колесами (гусеницами) на каждой оси ($j=1...m$) поворачивается вокруг центра O с угловой скоростью ω (рис.1).

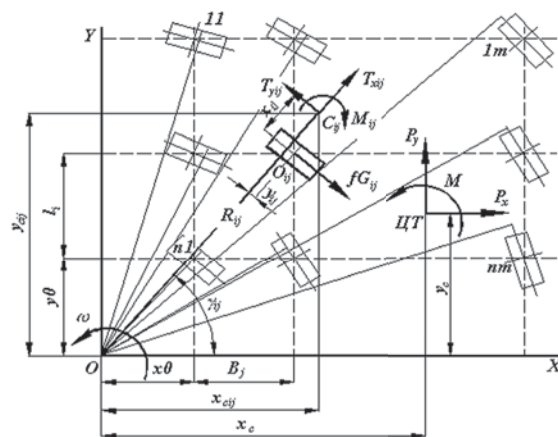


Рис.1 Схема стационарного поворота многоопорной транспортной машины



Введем подвижную систему координат XOY, связанную с машиной, и местные системы $X_{ij}O_{ij}Y_{ij}$, связанные с площадками колес. Силловые факторы, возникающие в контакте каждого из колес (T_{xij}, T_{yij}, M_{ij}), запишем в местных системах как функции координат (x_{ij}, y_{ij}) мгновенных центров скольжения C_{ij} [3,6]:

$$\left. \begin{aligned} T_{xij} &= - \int_{\eta\xi} q \varphi \frac{y_{ij} - \eta}{\sqrt{(x_{ij} - \xi)^2 + (y_{ij} - \eta)^2}} d\xi d\eta \\ T_{yij} &= \int_{\eta\xi} q \varphi \frac{x_{ij} - \xi}{\sqrt{(x_{ij} - \xi)^2 + (y_{ij} - \eta)^2}} d\xi d\eta \\ M_{ij} &= \int_{\eta\xi} q \varphi \sqrt{(x_{ij} - \xi)^2 + (y_{ij} - \eta)^2} d\xi d\eta \end{aligned} \right\} (1)$$

где q – нормальное давление в точке контакта с координатами ξ, η ;

φ – текущее значение коэффициента сцепления в точке с координатами ξ, η .

Запись силловых факторов в виде (1) приводит к возможности учета различных режимов нагружения и движения индивидуально каждой опоры, позволяет отказаться от принципа суперпозиции применительно к силам сцепления и решать силовую и кинематическую задачи поворота одновременно. Введение q и φ под знак интеграла разрешает введение любого закона их изменения.

Сведя силловые факторы T_{xij}, T_{yij}, M_{ij} к неизвестным координатам x_{ij}, y_{ij} , мы получаем уже $2nm$ неизвестных. Добавим координаты центра поворота машины (x_0 и y_0) и получим общее число неизвестных $2nm+2$.

Модель стационарного поворота транспортной машины состоит (2):

- из трех уравнений равновесия;
- уравнений геометрических связей, отражающих взаимное расположение опор;
- уравнений кинематических связей, отражающих принцип управления поворотом [2, 6].

$$\left. \begin{aligned} P_x + P_x^u + \sum (T_{xij} \cos \gamma_{ij} - T_{yij} \sin \gamma_{ij} + f_{ij} G_{ij} \sin \gamma_{ij}) &= 0, \\ P_y + P_y^u + \sum (T_{xij} \sin \gamma_{ij} + T_{yij} \cos \gamma_{ij} - f_{ij} G_{ij} \cos \gamma_{ij}) &= 0, \\ P_y(x_c + x_0) - P_x(y_c + y_0) + M + \sum (T_{yij} R_{ij} - f_{ij} G_{ij} (R_{ij} - x_{ij}) - M_{ij}) &= 0, \\ y_{cij} / x_{cij} &= \tan \gamma_{ij}, \\ V_{ij} / R_{ij} &= \omega, \end{aligned} \right\} (2)$$

где P_x, P_y, M – проекции и момент внешних сил, приведенных к центру тяжести машины;

P_x^u, P_y^u – проекции центробежной силы инерции;

R_{ij} – расстояние от центра поворота машины до мгновенного центра скольжения ij колеса;

X_{cij}, Y_{cij} – координаты мгновенного центра скольжения ij колеса в общей системе координат, связанной с центром поворота всей машины.

При отсутствии сил инерции ($P^u=0$), имеем модель **статического поворота**.

В результате решения системы (2) получаем неизвестные X_{ij}, Y_{ij} и X_0, Y_0 , что позволяет вычислить все силловые и кинематические характеристики поворота [6]:

- по X_0, Y_0 радиус поворота любой точки машины;
- по X_{ij}, Y_{ij} все силловые факторы T_{xij}, T_{yij}, M_{ij} (распределение тяговых и боковых усилий по колесам, нагрузки на узлы моторно-трансмиссионной установки и несущей системы);

– теоретическую скорость колеса (гусеницы) $V_{ij} = \omega R_{ij} = \omega \sqrt{x_{cij}^2 + y_{cij}^2}$;

– действительную скорость колеса (гусеницы) $V_{dij} = \omega (R_{ij} - x_{ij})$;

– буксование колеса (гусеницы) $\delta_{ij} = x_{ij} / \sqrt{x_{cij}^2 + y_{cij}^2}$;

– полное скольжение любой точки контакта с координатами ξ, η

$$k_{\delta ij} = \sqrt{(x_{ij} - \xi)^2 + (y_{ij} - \eta)^2} / \sqrt{x_{cij}^2 + y_{cij}^2};$$

– мощность сопротивления трения каждого колеса (гусеницы) $N_{ij} = \omega M_{ij}$.

2. Модель нестационарного поворота

Уравнения равновесия преобразуются в дифференциальные уравнения движения второго порядка, решение которых дают нам законы изменения координат центра тяжести машины ($X_{цт}, Y_{цт}$) и угла ее поворота (γ) в неподвижной системе координат:

$$\left. \begin{aligned} m a_x &= m \frac{d^2 x_{цт}}{dt^2} = \sum (T_{xij} \cos \gamma_{ij} - T_{yij} \sin \gamma_{ij}) + P_x, \\ m a_y &= m \frac{d^2 y_{цт}}{dt^2} = \sum (T_{xij} \sin \gamma_{ij} + T_{yij} \cos \gamma_{ij}) + P_y, \\ J \varepsilon &= J \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = \sum (T_{yij} R_{ij} - M_{ij}) + M. \end{aligned} \right\} (3)$$

Однако в уравнения (3) входят силловые факторы T_{xij}, T_{yij}, M_{ij} , которые согласно (1) являются функциями координат X_{ij}, Y_{ij} в местных системах. Следовательно, необходимо еще $2nm$ уравнений, включающих эти неизвестные.

В качестве уравнений связи запишем связь между скоростями центров скольжения V_{cij} и центра тяжести машины $V_{цт}$:

$$\vec{V}_{цт} = \vec{V}_{cij} + \vec{V}_{цт(cij)} \quad (4)$$

где $\vec{V}_{цт(cij)}$ – скорость центра тяжести машины во вращательном движении относительно центра скольжения:

$$V_{цт(cij)} = \frac{dy}{dt} \sqrt{(x_{cij} - x_{цт})^2 + (y_{cij} - y_{цт})^2} \quad (5)$$





Проектируя на неподвижные оси координат пп уравнений (4), получим необходимые 2пп уравнений связи.

Эти уравнения представляют собой новый вид уравнений геометрических связей. Вместо уравнений кинематических связей выступают начальные условия и управляющие воздействия, задаваемые в виде законов изменения теоретических скоростей или тяговых (тормозных) усилий.

Таким образом, решение совместной системы дифференциальных (3) и алгебраических (4) уравнений, с учетом (1) и (5) дает возможность построения траектории движения произвольной транспортной машины.

3. Модель квазистатического поворота

Являясь разновидностью нестационарного движения, модель должна включать в себя дифференциальные уравнения. Однако отсутствие инерционных сил позволяет снизить порядок системы:

$$\left. \begin{aligned} dx_{\text{ЦТ}} &= ds \cos \gamma, \\ dy_{\text{ЦТ}} &= ds \sin \gamma, \\ d\gamma &= \frac{ds}{\rho_{\text{ЦТ}}}. \end{aligned} \right\} \quad 6)$$

где ρ_c – радиус кривизны траектории движения центра тяжести;

$ds=Vdt$ – дифференциал дуги кривой траектории в точке.

В совокупности с системой стационарного поворота (2) имеем полную модель квазистатического движения, позволяющую построить траекторию движения и определить все основные его параметры.

Предложенные модели поворота учитывают конструктивные особенности машины, тип движителя, режим нагружения каждого колеса (гусеницы), принцип управления поворотом и особенности трансмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
2. Позин Б.М. Совершенствование параметров промышленных гусеничных тракторов: Дисс. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 1991. – 62 с.
3. Опейко Ф.А. Колесный и гусеничный ход. – Минск, 1960. – 228 с.
4. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М., 1981. – 272 с.
5. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. – М., 1970. – 176 с.
6. Трояновская И.П., Повышение эффективности малогабаритного погрузчика путем улучшения его поворотливости: Дисс. ... канд. техн. наук. – Челябинск: ЧГАУ, 2002. – 167 с.
7. Мицын Г.П., Позин Б.М., Трояновская И.П. Уравнения связей для некоторых случаев стационарного поворота транспортной (тяговой) машины // Вестник УрОПРАТ. – 2001. – № 3. – С. 274 — 277.



СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ Д-180

В настоящее время Россия присоединяется к международным соглашениям в области экологии. На ее территории вводятся новые стандарты, например ГОСТ Р 41.962005, являющийся копией Правил ЕЭК ООН № 96. В Европе, США и многих других странах требования нормативных документов к дизелям внедорожных машин унифицированы, пример Директива ЕЭС № 97/68.

Производимый ООО «ЧТЗ-Уралтрак» дизель Д-180, отвечая действующему ГОСТ 17.2.2.05, не соответствует требованиям перспективных стандартов (табл. 1).

Существуют многократно опробованные технические решения, которые в большинстве случаев приводят к улучшению параметров токсичности дизелей. Среди них – использование охладителя наддувочного воздуха (ОНВ) и системы перепуска отработавших газов (СПГ). Охладитель наддувочного воздуха оказывает влияние на количество подаваемого воздуха в цилиндр и на начальную температуру воздушного заряда в цилиндре. Увеличение количества подаваемого воздушного заряда и снижение температуры начала сжатия благоприятно сказываются на уменьшении выбросов вредных веществ. Рециркуляция отработавших газов приводит к снижению температуры пламени, что ведет к снижению NOx и удельного расхода топлива.

Рециркуляция эффективна на режимах малых и средних нагрузок, причем ее эффективность в дизелях с камерой сгорания в поршне выше, чем в дизелях с камерами других типов. На больших нагрузках рециркуляция уменьшает индикаторный КПД и увеличивает выброс CO. Реальный коэффициент рециркуляции находится на уровне $K_r = 0,08-0,12$ относительно суммарного расхода воздушного заряда и рециркулируемых газов [1].

Для дизеля Д180 с камерой сгорания ЦНИДИ с целью снижения токсичности отработавших газов впервые было предложено использование ранее разработанного в ООО «ЧТЗ-Уралтрак» охладителя наддувочного воздуха типа «воздух-воздух» и разработанной в ОАО «НИИ АТТ» системы рециркуляции с диффузором постоянного сечения, регулирующим количество перепускаемого газа.

Таблица 1 – Выбросы вредных веществ с отработавшими газами дизеля А-180, г/(кВт.ч)

Документ	Оксид углерода (CO)	Углеводороды (CH)	Оксиды азота (NOx)
Требования нормативных документов			
ГОСТ 17.2.2.05-97	10,0	3,0	18,0
ГОСТ Р 41.96-99	5,0	1,3	9,2
ГОСТ Р 41.96-2005 (Правила ЕЭК ООН № 96)	5,0	1,0	6,0
Директива ЕЭС № 97/68/EC Stage II	5,0	1,0	6,0
Д-180 (оценка по результатам сертификационных испытаний)			
Протокол № 1	3,42	0,32	11,46
Протокол № 2	1,55	1,18	21,79
Протокол № 3	1,26	1,77	20,90



Была определена наиболее рациональная величина перепуска отработавших газов для дизеля в различных комплектациях (с ОНВ и без) на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента (рис. 1, 2).

Как следует из графиков (см. рис. 1, 2), а также стандартных (по ГОСТ 18509) характеристик дизеля Д-180, рациональной величиной перепуска отработавших газов является расход $10 \pm 2\%$ от расхода воздуха. При данной величине перепуска происходит снижение удельных выбросов окислов азота без существенного ухудшения показателей дымности и выбросов СО. Выбранное значение коэффициента рециркуляции использовалось при дальнейших исследованиях.

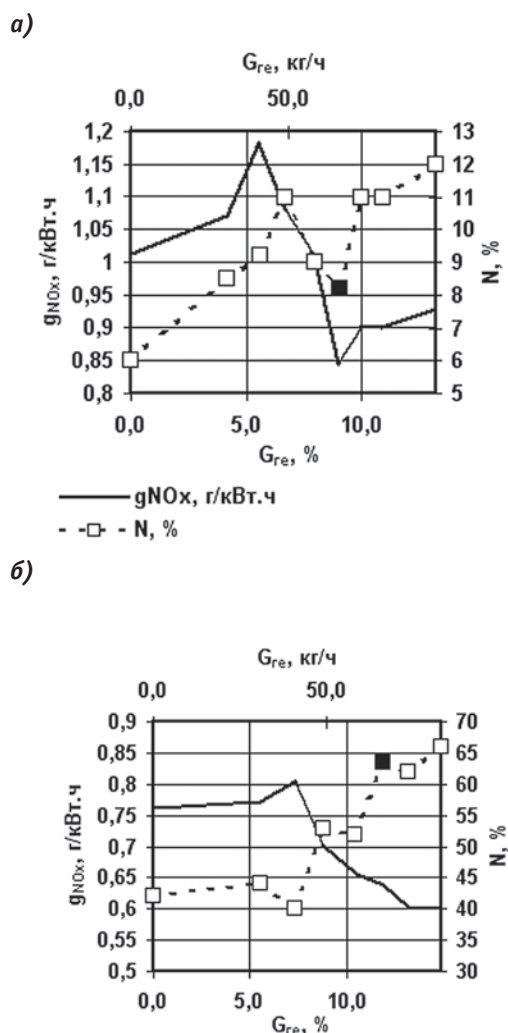


Рисунок 1. Зависимость дымности и содержания окислов азота от величины перепуска отработавших газов (G_{re}) дизеля Д-180 без ОНВ на режиме:

- а) номинальной мощности;**
б) максимального крутящего момента

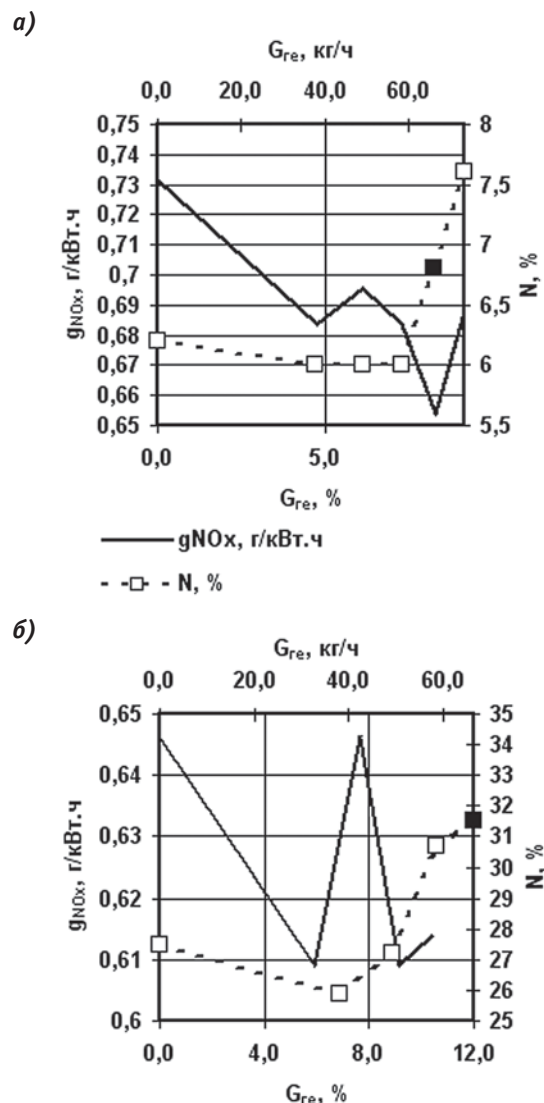


Рисунок 2. Зависимость дымности и содержания окислов азота от величины перепуска отработавших газов (G_{re}) дизеля Д-180 с ОНВ на режиме:
а) номинальной мощности;
б) максимального крутящего момента

На рис. 3а показана зависимость удельных выбросов окислов азота дизелем Д-180 в различных комплектациях. Как следует из диаграммы, применение ОНВ и СПГ, как вместе, так и по отдельности приводит к значительному снижению выбросов NO_x . Наибольший эффект имеет использование только СПГ (без ОНВ). Применение ОНВ и СПГ влечет за собой некоторое увеличение удельных выбросов оксида углерода, однако их величина остается в пределах требований ГОСТ Р 41.96 (рис. 3б), а также к снижению удельных выбросов углеводородов (рис. 3в).

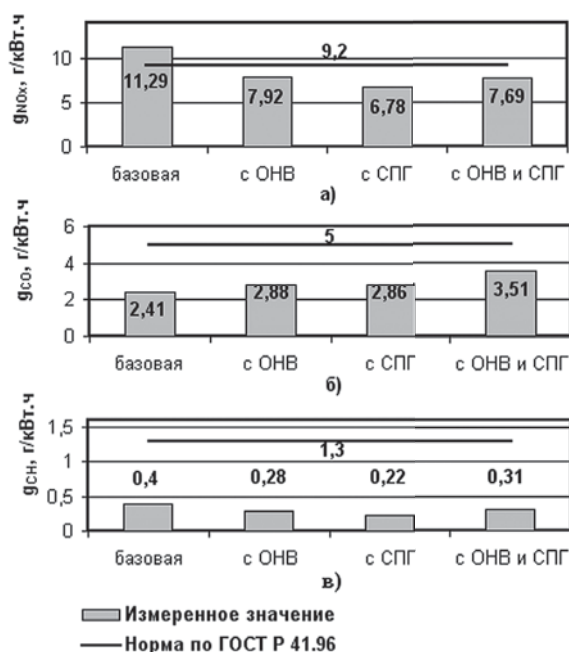


Рисунок 3 — Зависимость удельных выбросов с отработавшими газами дизеля Д-180 в различных комплектациях:
а) окислов азота (NO_x);
б) оксида углерода (CO);
в) углеводородов (CH)

Значения дымности дизеля в различных комплектациях показаны на рис. 4. Наличие СПГ практически не влияет на дымность дизеля.

Как следует из вышесказанного, для снижения токсичности отработавших газов до норм ГОСТ Р 41.96 экономически и технически целесообразно использовать только одно техническое решение (либо ОНВ, либо СПГ). Система перепуска отработавших газов конструктивно проще и дешевле, чем ОНВ, однако ОНВ имеет существенное преимущество – положительное влияние не только на токсичность, но и на другие характеристики дизеля.

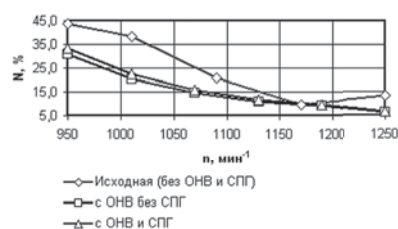


Рисунок 4. Зависимость дымности отработавших газов дизеля Д180 в различных комплектациях в зависимости от частоты вращения

На рис. 5 показаны внешние скоростные характеристики дизеля Д180 в различных комплектациях. Характеристики дизеля без ОНВ (как с СПГ, так и без СПГ) практически не отличаются. Дизель с ОНВ отличается более высокими мощностными и экономическими показателями.

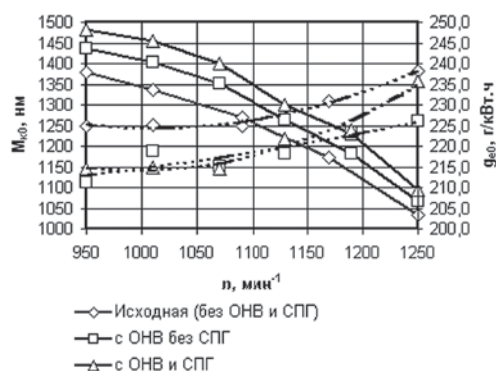


Рисунок 5 — Внешняя скоростная характеристика дизеля Д-180 в различных комплектациях

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие / Владим.гос. ун-т. — Владимир, 2000. — 256 с.