


ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛ

- 
- **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ**
 - **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**
 - **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОВЗОВ**



ТЕМА НОМЕРА:

**МИРОВОЙ ОПЫТ РЕФОРМИРОВАНИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

**Главному редактору
журнала «Транспорт Урала» — 70!**



Уважаемый Александр Васильевич!

Редакция журнала «Транспорт Урала»
сердечно поздравляет Вас с юбилеем.

Благодарим Вас от всей души
за большой личный вклад
в становление и развитие нашего журнала.

Здоровья Вам и счастья на долгие годы!

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

Ефимов Александр Васильевич, канд. техн. наук, профессор, президент УрГУПС

Зам. главного редактора

Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Научный редактор

Асадченко Виталий Романович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Члены редакционного совета

Смолянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Ковалев Рудольф Николаевич, д-р техн. наук, профессор, УГЛТУ

Петров Михаил Борисович, д-р техн. наук, Институт экономики УрО РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аккерман Геннадий Львович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Александров Александр Эрнстович, канд. техн. наук, доцент, УрГУПС

Антропов Владимир Алексеевич, д-р экон. наук, профессор, УрГУПС

Аржанников Борис Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Бачурин Николай Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Баутин Сергей Петрович, д-р физ.-мат. наук, профессор, УрГУПС

Боровских Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, УГЛТУ

Бушуев Сергей Валентинович, канд. техн. наук, доцент, УрГУПС

Галкин Александр Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Глушко Марат Иванович, д-р техн. наук, с.н.с., УО ВНИИЖТ

Готлиб Борис Михайлович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Грицык Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, РГУПС

Десятых Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент, УрГУПС

Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, президент холдинга

ООО «Стратег» (Москва)

Кузнецова Елена Юрьевна, д-р экон. наук, профессор, УГТУ-УПИ

Кузнецов Константин Борисович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Ларин Олег Николаевич, канд. техн. наук, профессор, ЮУрГУ (Челябинск)

Наговицын Виктор Степанович, д-р техн. наук, ОАО «ВНИИАС» (Москва)

Павлюков Александр Эдуардович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Пикалин Юрий Анатольевич, д-р экон. наук, Свердловская ж. д. — филиал

ОАО «РЖД»

Плахотич Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, УрГУПС

Рачек Светлана Витальевна, д-р экон. наук, профессор, УрГУПС

Резник Леонид Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, ТГНГУ (Тюмень)

Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., УрГУПС

Самуйлов Валерий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Сергеев Борис Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Скоробогатов Семен Макеевич, д-р техн. наук, член-корр. РААС,

профессор, УрГУПС

Тимофеева Галина Адольфовна, д-р физ.-мат. наук, профессор, УрГУПС

Туранов Хабидулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, УДГУ

(Ижевск)

Ялышев Юрий Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор, УрГУПС

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

| | |
|---|----|
| ЕФИМОВ А. В., САЙ В. М. / Транспортный полигон высокоскоростных испытаний — необходимое условие развития железнодорожного транспорта страны | 2 |
| ВЕРЕСКУН В. Д. / Мировой опыт реформирования организации производства и управления железнодорожным транспортом | 7 |
| ВЕРЕСКУН В. Д. / Организационно-технологическая надежность взаимодействия производственных процессов организации движения и инфраструктуры железнодорожного транспорта | 9 |
| САЙ В. М., СИЗЫЙ С. В., АФАНАСЬЕВА Н. А. / Согласование программ развития ОАО «РЖД» с региональными программами развития транспортной инфраструктуры | 13 |
| ВЛАДИМИРСКАЯ И. П. / Транспортные системы с адаптивной структурной технологией | 17 |
| ДАВЫДОВ А. В., РУБЕЖАНСКИЙ П. Н. / Методические подходы к измерению показателей системы управления перевозочным комплексом | 19 |
| ВОСКРЕСЕНСКАЯ Т. П., ПОКРОВСКАЯ О. Д. / Инновационно-методологический подход к обоснованию создания в регионе сети терминалов как единого транспортно-экспедиционного пространства (на примере Кемеровской области) | 23 |
| ПУГАЧЕВ И. Н. / Развитие городских транспортно-распределительных систем | 28 |
| БУДАЛИН С. В., ЛЯХОВ С. В. / Оценка состояния грузового автотранспорта Свердловской области | 32 |
| АЛЕКСАНДРОВ Д. А. / Выбор метода для построения системы обнаружения врезок в магистральные нефтепроводы | 35 |
| КОНСТАНТИНОВ К. В., ДОРНИЧЕВ А. В. / Вейвлет-технологии в области вибродиагностики объектов железнодорожного транспорта | 39 |
| АВИЛОВ В. Д., КЛИМОВИЧ А. В., КОБОАР А. А., ЛЕНДЯСОВ А. С. / Методика расчета графика движения поезда с учетом распределенных по длине параметров | 43 |

АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА

| | |
|--|----|
| ПОЛЕВОЙ Ю. И. / Относительная рельсовая цепь | 47 |
|--|----|

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

| | |
|--|----|
| ОЛЕНЦЕВИЧ В. А. / Вертикальные колебания вагона с грузом при движении подвижного состава по волнам неровности пути | 49 |
| ЧЕРЕПОВ О. В., ОЛЕНЦЕВИЧ В. А. / Вертикальные колебания вагона как одноосного экипажа с упругой подвеской при наличии силы сухого трения | 54 |

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

| | |
|--|----|
| СКОВОРОДНИКОВ Е. И., АНИСИМОВ А. С. / Результаты исследований влияния элементов турбокомпрессора на работу тепловозного дизеля | 59 |
| БУЙНOSОВ А. П., ХУДОЯРОВ Д. Л. / Влияние упрочнения гребней на ресурс бандажей колесных пар | 63 |

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

| | |
|---|----|
| КОВАЛЕВ А. А., ЛОБАНОВА Г. С., НЕСМЕЛОВ Ф. С. / Разработка метода расчета наклона опоры контактной сети на основе учета деформационных характеристик грунта | 69 |
| КОНДРАТЬЕВ А. И., ЛИ В. Н., ИГНАТЕНКО И. В., ХИМУХИН С. Н. / Методика входного неразрушающего контроля зажимов контактной сети | 72 |

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

| | |
|--|----|
| АРХИПОВ Г. Ф., ШЕВЦОВ В. И. / Диагностические модели технического состояния пожарных и аварийно-спасательных автомобилей | 75 |
|--|----|

ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|---|----|
| БУЛАЕВ В. Г. / Экологическая безопасность тепловозов | 78 |
| АНИСИМОВ И. А., ИВАНОВ А. С. / Токсичность газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации | 83 |
| ТУРСЕНЕВ С. А. / Предупреждение самовозгорания при транспортировке углей железнодорожным транспортом | 86 |
| БУРАК В. Е., СУББОТИНА Т. О. / Акустический режим пассажирского вагона | 90 |

АННОТАЦИИ

| | |
|-----------------|----|
| Аннотации | 93 |
|-----------------|----|

ТРАНСПОРТНЫЙ ПОЛИГОН ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ — НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА СТРАНЫ¹

4. Уральский транспортный испытательный полигон: общее представление

Принципиальные схемы испытательного полигона

На основании анализа отечественного и зарубежного опыта строительства и эксплуатации можно предложить два принципиальных варианта схем испытательного полигона.

Первый — «два кольца». При таком варианте участок полигона, предназначенный для испытания нескоростного подвижного состава (со скоростями до 120 — 150 км/ч), располагается обособленно от высокоскоростного участка (см. рис. 5 и 6 из работы [1]). Достоинства размещения — наличие на скоростном участке только одного пошерстного стрелочного перевода. Такая схема безопаснее, так как организация движения поездов на одном участке практически не зависит от проводимых испытаний на другом.

Основной недостаток данного варианта заключается в том, что полигон, занимающий десятки километров, еще больше вытягивается, становится менее компактным и соответственно занимает большую площадь. Это удорожает сооружение полигона и увеличивает эксплуатационные расходы.

Второй — «кольцо в кольце». Достоинство этого варианта — компактность, так как участок для организации нескоростного движения и вся инфраструктура обслуживания полигона находятся внутри участка высокоскоростного движения.

При такой схеме во время высокоскоростных испытаний въезд на территорию полигона железнодорожному подвижному составу и автотранспорту будет ограничен. Безусловно, этот недостаток можно обойти, соорудив развязку в двух уровнях для железнодорожного транспорта и организовав движение автотранспорта под малыми мостами. Однако это удорожает строительство полигона.

Данная схема менее безопасна: с одной стороны, является несколько как пошерстных, так и противощерстных стрелочных переводов, лежащих на скоростном участке, а с другой — организация движения поездов на одном участке повлияет на поездные испытания на другом.

Варианты схем представлены на рис. 7 — 11.

На рис. 7 показан вариант размещения скоростного и нескоростного участков по схеме «кольцо в кольце».

Участок для испытаний высокоскоростного подвижного состава — это две прямых протяженностью 18 — 20 км, сопряженных кривыми участками радиусом около 6 000 — 6 300 м, а также участок для испытаний подвижного состава при скоростях 120 — 150 км/ч. При этом малое кольцо находится внутри большого.

Достоинства схемы 1 испытательного полигона: компактность расположения всей инфраструктуры; на скоростном

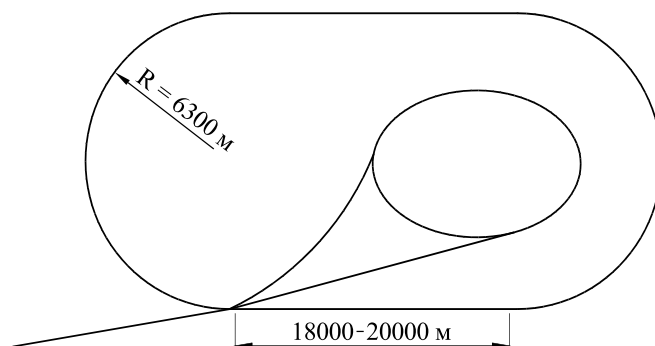


Рисунок 7 — Схема 1 испытательного полигона

участке имеются две протяженные прямые; можно сократить протяженность подъездных путей.

Недостатки схемы 1 испытательного полигона: подъездной путь от станции примыкания к испытательному полигону непосредственно примыкает к скоростному участку; расположение малого кольца, а значит, и всей другой инфраструктуры внутри большого создает некомфортные условия работы, связанные с обеспечением безопасности во время проведения испытаний; возникает необходимость устройства переездов.

Схема 2 (тоже размещение малого кольца внутри большого) представлена на рис. 8. Участок для испытаний высокоскоростного подвижного состава также представляет собой два прямых участка протяженностью 18 — 20 км, сопряженных кривыми участками радиусом около 6 000 — 6 300 м. Малое кольцо, аналогично большому, — это два прямых участка, сопряженных кривыми участками радиусом 2 500 — 4 000 м. В данной схеме, в отличие от предыдущей, внутри малого кольца есть перемычка в виде двух обратных кривых, сопряженных прямой вставкой.

Недостатки схемы 1 и схемы 2 схожи. Самый большой недостаток схемы 2: подъездной путь от станции примыкания к испытательному полигону непосредственно примыкает к скоростному участку.

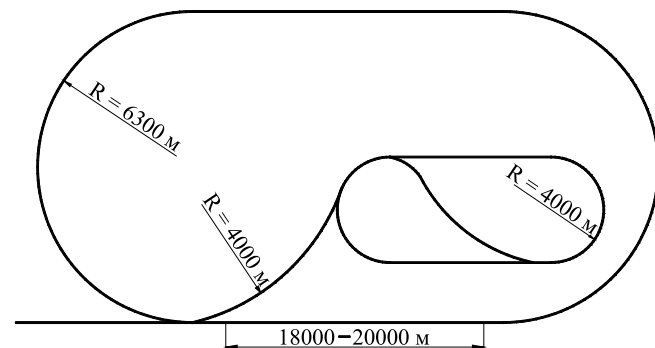


Рисунок 8 — Схема 2 испытательного полигона

¹ Продолжение. Начало см. «Транспорт Урала». 2009. № 2 — 4.



Схема 3 (рис. 9) — это кольцо для испытаний высокоскоростного подвижного состава, представляющее собой два прямых участка протяженностью 18 — 20 км, сопряженных кривыми радиусом около 6 000 — 6 300 м, а также малое кольцо для испытаний при скоростях до 120 км/ч. Малое кольцо находится вне большого.

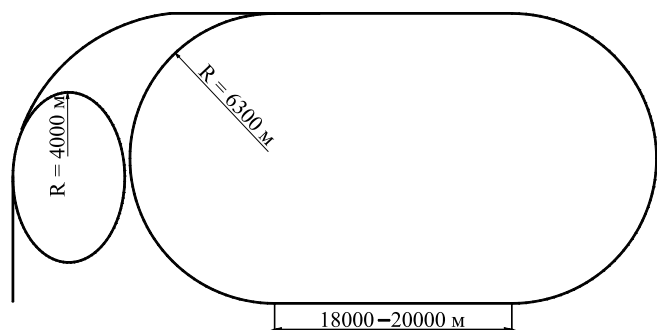


Рисунок 9 — Схема 3 испытательного полигона

Достоинства данной схемы: простота строительства (элементы полигона представляют собой простые геометрические фигуры); наличие только одного пересечения с большим кольцом (пошерстная стрелка находится на прямой); возможность безопасного доступа ко всей инфраструктуре даже во время проведения испытаний высокоскоростного подвижного состава; более высокий уровень общей безопасности проведения испытаний.

Существенным недостатком схемы 3 является большее по сравнению со схемами 1 и 2 путевое развитие малого кольца.

На рис. 10 показана схема 4. В ней сочетаются большое кольцо в форме восьмерки (одно пересечение в двух уровнях) и малое кольцо с прямым участком длиной около 150 м и кривой радиусом 4 000 м.

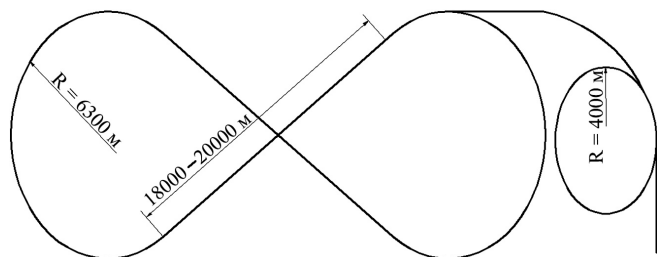


Рисунок 10 — Схема 4 испытательного полигона

Достоинства данной схемы подобны достоинствам схемы 3: только одно пересечение с большим кольцом; возможность безопасного доступа ко всей инфраструктуре даже во время проведения испытаний высокоскоростного подвижного состава.

Помимо этого путевое развитие размещается на меньшей площади.

Недостатки схемы 4: необходимость устройства пересечения путей большого кольца в двух уровнях; эксплуатация двух кривых с углом поворота около 270°.

На рис. 11 изображена схема 5. Это кольцо для испытаний высокоскоростного подвижного состава, представляющее собой два прямых участка протяженностью 18 — 20 км, сопряженных кривыми участками радиусом около 6 000 — 6 300 м, а также участок (в виде восьмерки) для испытаний подвижного состава при скоростях 120 — 150 км/ч. Малое кольцо находится вне большого.

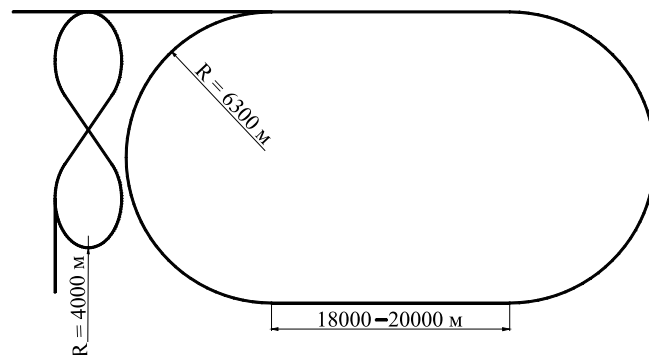


Рисунок 11 — Схема 5 испытательного полигона

Достоинства данной схемы аналогичны достоинствам всех схем с расположением малого кольца вне большого: только одно пересечение с большим кольцом; возможность безопасного доступа ко всей инфраструктуре даже во время проведения испытаний высокоскоростного подвижного состава; более высокий уровень общей безопасности проведения испытаний; возможность уменьшения площади земли, потребной для строительства полигона (за счет сооружения пересечения путей в двух уровнях).

Основные недостатки схемы 5: дополнительное путевое развитие, необходимое для подъезда от малого кольца к большому; необходимость сооружения пересечения путей малого кольца в двух уровнях.

В заключение необходимо отметить, что предложенные выше схемы путевого развития полигона не могут быть реализованы в том виде, в каком они представлены на рисунках. Окончательная схема может быть определена после выбора на местности расположения полигона, проведения инженерных изысканий, трассирования и проектирования плана и профиля.

Внутрипроизводственное путевое развитие испытательного полигона

Внутри нескоростного участка устраивается промышленная площадка, на которой возводится необходимая инфраструктура (транспортная вспомогательная, административно-хозяйственная и научно-исследовательская).



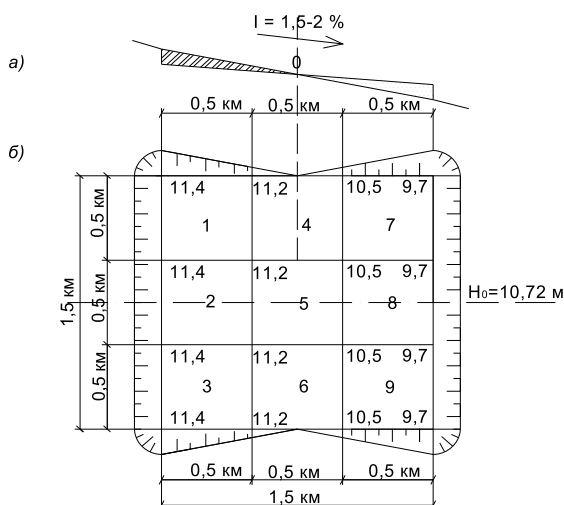


Рисунок 12 — Схема планировки площадки:
а — схема продольного профиля; б — план площадки

Подготовка площадки. Предполагается, что промышленная площадка будет сооружена с уклоном $i=0-0,5\%$; при устройстве площадки планируется соблюдение нулевого баланса земляных масс (рис. 12).

Объем разрабатываемого грунта (вырезка) для устройства площадки составит 525 тыс. m^3 , а отсыпанного в насыпь под площадку — 506 тыс. m^3 . Возникшая разница в объемах — 19 тыс. m^3 — будет направлена для отсыпки насыпей нескоростного участка полигона.

В зависимости от результатов трассирования возможны следующие станции примыкания подъездного пути полигона к путям железнодорожного участка Екатеринбург — Нижний Тагил: при западном варианте — ст. Мурзинка, при восточном — ст. Нейво-Рудянка или ст. Невьянск. Предполагаемая длина подъездного пути при западном варианте — 1 — 2 км, а при восточном — 2 — 3 км.

Предложена продольно-поперечная схема размещения путевого развития транспортной вспомогательной инфраструктуры полигона (рис. 13). Наименование и назначение путей представлены в табл. 7.

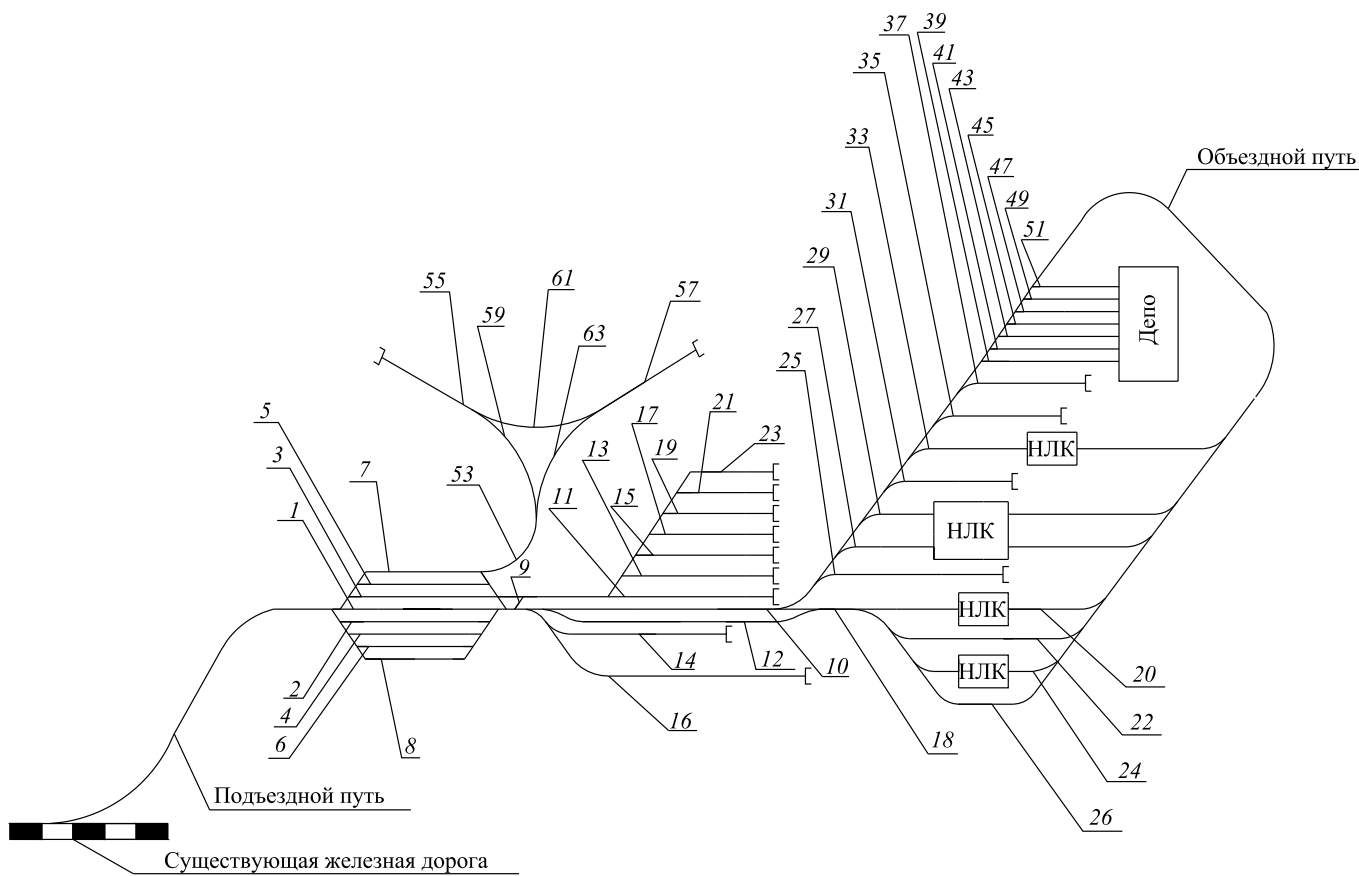


Рисунок 13 — Транспортная вспомогательная инфраструктура полигона



Таблица 7 — Пути транспортной вспомогательной инфраструктуры и их назначение

| Путь | Назначение | Длина, м |
|--|---|---------------|
| Подъездной путь | Соединение полигона со станцией примыкания | 1 000—3 000 |
| Станционные пути 1 — 8 | Приемо-отправочные. Путь № 2 длиной 1 050 м | 7 000 |
| Соединительный путь 9 | Соединение станции полигона и парка отстоя | 50 |
| Соединительный путь 10 | Соединение станции с путями НЛК и путями депо | 800 — 1 000 |
| Испытательный путь 12 | Сортировочная горка для испытания вагонных замедлителей | 800 — 1 000 |
| Испытательный путь 14 | Путь для определения осевых нагрузок и массы отдельных единиц подвижного состава | до 200 |
| Испытательный путь 16 | Тупик для сброса подвижного состава | 500 — 700 |
| Пути отстоя 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 | Пути для стоянки пожарных, снегоочистительных, восстановительных поездов | 3 000 |
| Соединительный путь 18 | Путь для соединения сортировочной горки с НЛК | 200 |
| Подъездные пути 20, 24 | Подъездные пути к НЛК | 2 300 |
| Маневровые пути 22, 26 | Пути для маневров возле НЛК | 500 |
| Пути отстоя 25, 29, 33 | Пути отстоя подвижного состава, прибывшего на испытания | 300 |
| Подъездные пути 27, 29, 33 | Подъездные пути к НЛК | 1 000 |
| Путь 37 | Автоматическая мойка подвижного состава | 50 — 100 |
| Деповские пути 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51 | Пути для въезда и выезда из депо | 700 — 1 000 |
| Соединительный путь 53 | Путь для соединения станции с треугольником | 150 |
| Треугольник 59, 61, 63 | Для разворота подвижного состава | 300 |
| Пути 55, 57 | Вспомогательные пути для треугольника | 200 |
| Объездной путь | Объезд подвижным составом депо и НЛК; в целях безопасности при чрезвычайных ситуациях на полигоне | 2 000 — 3 000 |
| Общая протяженность всех вспомогательных путей, км | | 21,0 — 25,0 |

Потребность в основных материалах для сооружения верхнего строения станционных и подъездных путей приведена в табл. 8.

Прогнозное трассирование

Для прогнозирования объемов, стоимости и сроков строительства строительно-монтажных работ выполнено пробное трассирование скоростного участка протяженностью 73 км по варианту 3 как самого неблагоприятного по инженерно-геологическим условиям (см. рис. 1 из работы [2]).

План трассы и продольный профиль показаны на рис. 14 и 15.

Таблица 8 — Потребность в основных материалах для сооружения верхнего строения станционных и подъездных путей полигона

| Материалы | Потребность | |
|------------------------------------|---------------------|---------|
| | в среднем на 1 км | всего |
| Рельсы Р 65, т | 130 | 3 250 |
| Рельсы Р 50, т | 13 | 325 |
| Скрепление типа КБ 65, т | 0,968 | 24,2 |
| Скрепление другое, т | 0,05 | 1,25 |
| Накладки, т | 3,8 | 95,12 |
| Болты, т | 0,211 | 5,28 |
| Шпалы ж/б марки Ш-1-1, шп. | 1 440 | 36 000 |
| | 1 600 | 40 000 |
| | 1 840 | 46 000 |
| | 2 000 | 50 000 |
| Шпалы деревянные, шп. | 1 440 | 1 800 |
| | 1 600 | 2 000 |
| Стрелочные переводы, шт. | Все марки крестовин | 58 |
| Балласт щебеночный, м ³ | 960 | 24 000 |
| Песчаная подушка, м ³ | 830 | 20 750 |
| Геотекстиль, м ² | 4 500 | 112 500 |

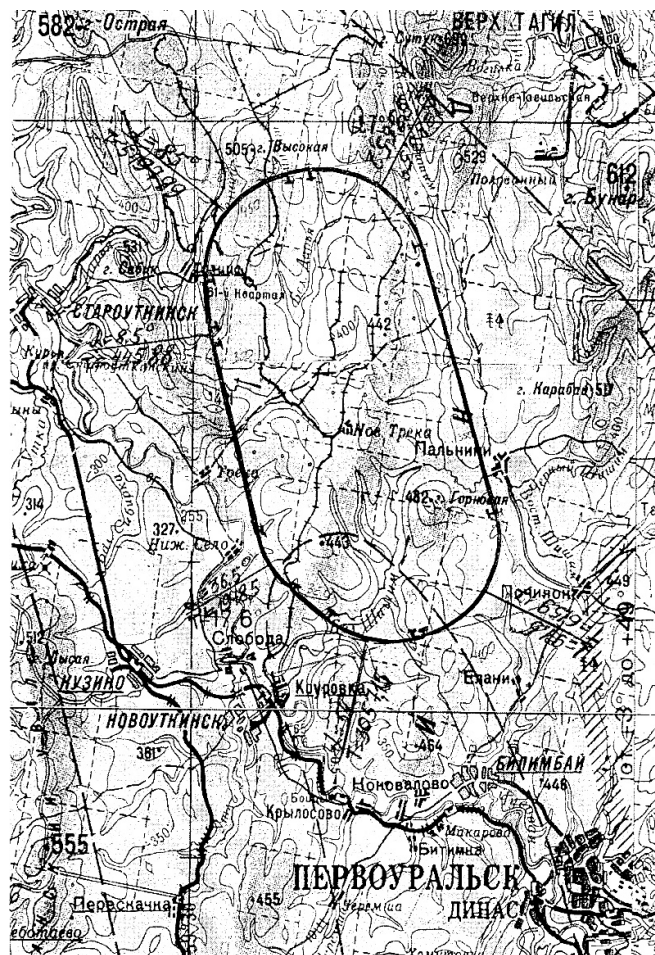


Рисунок 14 — План трассы по варианту 3

5

Январь — Март

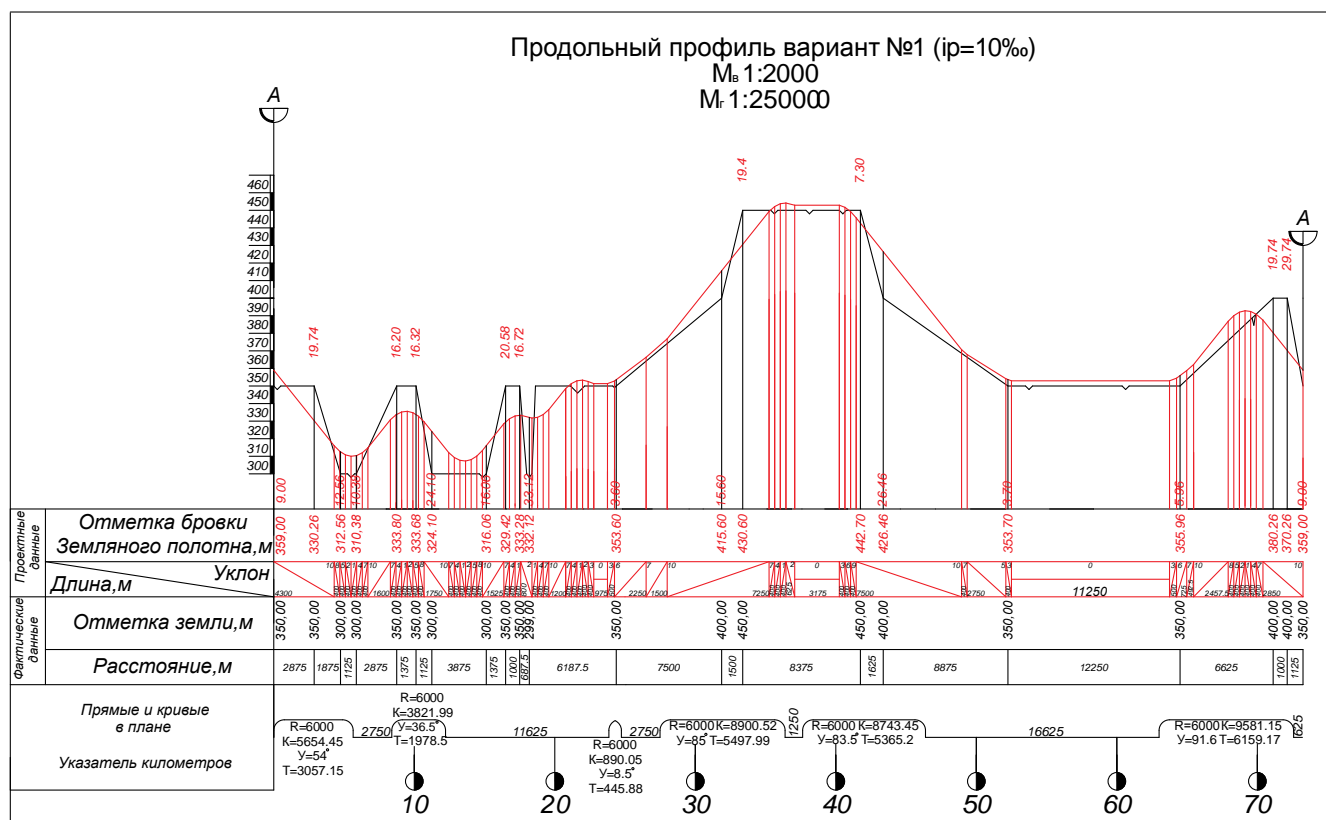


Рисунок 15 — Профиль трассы по варианту 3

Некоторые характеристики плана и профиля по варианту 3 приведены в табл. 9.

Продолжение следует.

Таблица 9 — Характеристики плана и профиля по варианту 3

| Показатель | | Значение | Примечание |
|------------------------------|--------------|----------|---------------|
| Протяженность трассы, км | | 73,2 | |
| Минимальный радиус кривой, м | | 6 000 | При $i = 10‰$ |
| Протяженность прямых, км | | 47,3 | 64,6% |
| Протяженность кривых, км | | 25,9 | 35,4% |
| Максимальный уклон, ‰ | | 10,0 | — |
| Длина элемента, м | минимальная | 400 | — |
| | максимальная | 11 250 | При $i = 0‰$ |
| Глубина выемки, м | средняя | 9,2 | — |
| | максимальная | 29,7 | — |
| Высота насыпи, м | средняя | 7,8 | — |
| | максимальная | 26,4 | — |
| Протяженность, км | выемок | 18,4 | 25,1% |
| | насыпей | 54,8 | 74,9% |
| Объем, тыс. м ³ | выемок | 1 656 | — |
| | насыпей | 4 055 | — |

Литература

1. Ефимов А.В., Сай В.М. Транспортный полигон высокоскоростных испытаний — необходимое условие развития железнодорожного транспорта страны // Транспорт Урала. 2009. № 4. С. 3 — 9.
2. Ефимов А.В., Сай В.М. Транспортный полигон высокоскоростных испытаний — необходимое условие развития железнодорожного транспорта страны // Транспорт Урала. 2009. № 3. С. 3 — 7.
3. Ефимов А.В., Сай В.М. Транспортный полигон высокоскоростных испытаний — необходимое условие развития железнодорожного транспорта страны // Транспорт Урала. 2009. № 2. С. 3 — 8.



Владимир Дмитриевич Верескун, канд. техн. наук, ректор Сибирского государственного университета путей сообщения (Новосибирск)

МИРОВОЙ ОПЫТ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Третьим этапом реформирования железнодорожного транспорта предусматривается разделение инфраструктуры и перевозок. Вместе с тем до настоящего времени отсутствуют детальные просчеты всех экономических последствий такого решения.

В модели рынка ОАО «РЖД» и MacKinsey предлагается оставить за РЖД статус общественного перевозчика и не разделять эти виды деятельности. Основным аргументом такого подхода является сложность технологических процессов, которая приведет к значительному повышению эксплуатационных расходов и росту тарифной нагрузки на грузоотправителей. Расходы на перевозку и содержание инфраструктуры, по расчетам Института проблем естественных монополий (ИПЕМ), увеличатся до 232 млрд руб., или на 32% от сегодняшнего уровня. Конкуренция ради конкуренции может привести к неудовлетворительным результатам.

Рассмотрим отдельные аспекты реформ железнодорожного транспорта в сфере организации производства и управления [1, с. 3].

Компании инфраструктуры Италии, Германии, Нидерландов и две железные дороги Швейцарии (Swiss Federal Railways и BLS) создали альянс European Economic Interest Group (EEIG) Corridor A с целью совершенствования эксплуатации интенсивно используемых европейских грузовых коридоров. Основная задача новой структуры состоит в повышении провозной способности и обеспечения эксплуатационной совместимости. Для получения желаемого результата планируется внедрение к 2015 г. европейской системы управления движением (ERTMS).

Планом оздоровления железных дорог Греции намечено сокращение численности персонала к 2011 г. на 2 — 3 тыс. человек из ныне работающих 7 тыс. В то же время предполагается увеличение численности машинистов для сокращения времени переработки, пересмотр практики обслуживания и ремонта технических средств, анализ принадлежащей национальной железнодорожной компании Греции недвижимости, действующих правил безопасности, порядка инспектирования состояния инфраструктуры и оценки рисков, подготовка на этой основе соответствующих рекомендаций технического и организационного плана [1, с. 4].

Железные дороги Эстонии (Eesti Raudtee, EVR), следуя директивам ЕС, выделяют в 2009 г. отдельные компании — операторов инфраструктуры и грузовых перевозок. Это позволяет Эстонии получить субвенции ЕС на развитие инфраструктуры железных дорог страны [1, с. 6].

Администрация инфраструктуры железных дорог Франции завершила реконструкцию и электрификацию линии длиной 36 км Мотвиль — Монтеролье — Бюше стоимостью 50 млн евро. Проект включал работы по усилению путевой структуры пути, переход линии на автоблокировку и локомотивную сигнализацию, а также автоматизацию заградительных устройств на переездах. Это позволило повысить максимальную скорость движения поездов до 100 км/ч. В результате пропускная

способность однопутной линии выросла до 30 грузовых поездов в сутки, значительно сокращено время их следования.

Реформы на железных дорогах Европы направлены, в частности, на создание конкурентных отношений между операторами грузовых перевозок и на повышение эффективности обслуживания грузоотправителей за счет разделения функций эксплуатации и менеджмента инфраструктуры. Вместе с тем до настоящего времени нет вполне аргументированных оценок отделения функций ведения инфраструктуры от операторской перевозочной деятельности и появления конкуренции между операторами, выполненных на основании глубокого анализа, из-за отсутствия достаточных сведений по таким изменениям. Попытка исследовать выгоды появления и усиления конкуренции как в условиях разделения функций эксплуатации инфраструктуры, так и без него предпринята в Германии, Швеции и Великобритании [2, с. 34]. Либерализация железнодорожного транспорта в каждой из этих стран проведена своим путем.

В модели реформы железнодорожного транспорта Германии полного разделения функций эксплуатации и менеджмента инфраструктуры нет. Сохранена вертикально интегрированная организация в рамках холдинговой структуры [2, с. 35]. Наиболее существенным фактором признано улучшение финансового состояния и повышение эффективности эксплуатационной деятельности по сравнению с необходимостью обеспечить прозрачность для поощрения конкуренции в отрасли. Это связано с тем, что Германия, занимающая центральное место в Европе, имеет сухопутные границы с девятью другими странами, что обуславливает значительный объем перевозок в международных сообщениях, включая транзит. Это особенно привлекательно для сторонних операторов, в качестве которых выступают национальные железные дороги Швейцарии, Италии и Польши наряду с частными компаниями — операторами других стран. Одним из следствий сильной конкуренции является относительно невысокая прибыль в грузовом секторе национальной железной дороги Германии (DB). А это ограничивает способности DB в обеспечении финансирования reinvestиций. Модель Германии рассматривается как комбинация преимуществ открытого доступа с интеграцией функций менеджмента инфраструктуры и эксплуатации в целях оптимизации кооперации.

В 1988 г. в Швеции была создана отдельная государственная администрация железнодорожной инфраструктуры [2, с. 36]. Предполагалось, что разделение функций эксплуатации и менеджмента инфраструктуры сократит нагрузку на бюджет со стороны железнодорожной составляющей транспорта. Операторские функции при этом оставались в руках единственной государственной компании (SJ), которая впоследствии была разделена на шесть, в том числе грузовую (Green



Cargo). К 2007 г. доля других операторов достигла 35%. Конкуренция в железнодорожном секторе оказалась весьма высокой и привела к снижению тарифов и повышению качества обслуживания. Однако финансовое положение Green Cargo остается относительно неустойчивым. Прибыль в 2006, 2007 гг. не превышала 5%. Отделение инфраструктуры для правительства оказалось дорогим мероприятием. Оно пошло на пользу грузоотправителям, но за счет усиления бремени налогоплательщиков.

В 1990-х гг. проведена приватизация Британских железных дорог, направленная на создание благоприятных условий для конкуренции, особенно в сфере грузовых перевозок [2, с. 37]. Из множества рассмотренных правительством вариантов в пассажирских перевозках предпочтение было отдано модели на базе сегментации рынка. Она позволяла сохранять контроль за инфраструктурой. Была осуществлена комплексная реструктуризация, в ходе которой создано около 100 отдельных организаций, связанных регулирующими и контрактными обязательствами. В рамках современной модели отдельные бизнес-структуры, включая инфраструктурную и пассажирских перевозок, являются объектами экономического регулирования. Грузовое обслуживание и лизинг подвижного состава выведены из государственного сектора.

Опыт рассмотренных стран показывает, что открытый доступ позволяет новым операторам привлекать новые объемы грузовых перевозок благодаря предложению лучшего сочетания уровня тарифов (цены) и обслуживания (качество). Объем грузовых перевозок в Германии и Великобритании рос быстрее, чем в других странах ЕС. Это свидетельствует о том, что конкуренция устраивает потребителей.

Эффективность обслуживания грузоотправителей за счет разделения функций эксплуатации и менеджмента инфраструктуры менее очевидна.

Германская модель сохраняет выгоды интеграции и в то же время допускает конкуренцию. Реализация моделей вертикального разделения Швеции и Великобритании привела к дополнительным системным расходам.

Очевидно, что выгоды и затраты, связанные с разделением функций эксплуатации и менеджмента инфраструктуры, могут различаться по странам и регионам внутри страны в зависимости от ряда местных условий — состояния рынков, ограничений по провозной способности и методов регулирования, применимых к железным дорогам.

В работе [3] обосновывается положение о необходимости новых подходов к инвестициям в создание новой и реконструкцию имеющейся инфраструктуры. «Становится все более понятным, что никакой, даже самый современный подвижной состав не может в полной мере реализовать свои технические возможности, если будет обращаться на линиях со слабой пу-

товой структурой, не соответствующей нынешним нагрузкам и скорости движения поездов» [3, с. 9]. Оптимизация обращения поездов может быть эффективной в перевозочной деятельности при условии строительства новой и реконструкции действующей инфраструктуры путем ее усиления. С данной точки зрения можно констатировать возобновление интереса к инвестициям в инфраструктуру в Японии и Европе. Экспертный анализ на железных дорогах разных стран показал, что расходы на инфраструктуру не просто возрастают, а уже опережают затраты на локомотивы и вагоны. То же самое характерно для железных дорог Северной Америки, Китая, Индии и Ирана. Поезда со скоростью более 200 км/ч могут обращаться только на новых и модернизированных линиях. Массовые перевозки требуют должного состояния путевого хозяйства. Почти всегда в качестве основных рассматривались подразделения организации движения поездов, тяги и подвижного состава. Это отразилось на формировании руководящего состава железных дорог. Железнодорожная сеть рассматривалась как нечто застывшее. Предпочтение отдавалось подвижному составу. Деятельность, касающаяся инфраструктуры, относилась к службам пути с минимальными затратами даже на восстановление разрушенных во время войн железных дорог по причине насущной потребности в подвижном составе. Так, Национальным обществом железных дорог Франции (SNCF) даже в период развернувшейся электрификации до конца 1970-х гг. вкладывалось в инфраструктуру не более 20% ежегодных средств. В середине 1990-х гг. в результате радикальной реструктуризации SNCF инфраструктуре было возвращено надлежащее место, как это было сделано ранее в Японии при создании первой в мире сети высокоскоростных линий. Железные дороги Северной Америки быстрее наращивали инвестиции в инфраструктуру, чем в подвижной состав, в целях усиления пути для развития грузовых перевозок.

Директивой 91/440 Европейской комиссии Европа сделала выбор в пользу разделения функций организации эксплуатационной деятельности и управления инфраструктурой с созданием независимых государственных и частных компаний, занимающихся организацией перевозок и управлением инфраструктурой. В настоящее время более чем на десятке национальных сетей европейских железных дорог действует функциональное и/или финансовое разделение.

Учитывая тенденции мирового опыта реформирования организации производства и управления железнодорожным транспортом, а также принципы публичности и обязательности перевозки всех грузов, в том числе оборонного значения, следует уточнить сроки и методы разделения функций инфраструктуры и перевозочного процесса. Необходимо продолжить и профессионально оценить эксперимент, проводимый Октябрьской и Красноярской железными дорогами.

Литература

1. Железные дороги — Проекты — Компании // Железные дороги мира. 2008. № 11. С. 2 — 8.
2. Рыночные реформы и оживление грузовых перевозок в Европе // Железные дороги мира. 2008. № 11. С.34 — 39.
3. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года: Постановление Правительства Российской Федерации от 17.06.08 № 877-п. URL: <http://doc.rzd.ru>.



ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В основу совершенствования производственных процессов организации движения и инфраструктуры железнодорожного транспорта должно быть положено взаимодействие подразделений ОАО «РЖД» на всех иерархических уровнях с контрагентами на основе выделения оказываемых друг другу потребительских услуг.

Системная оценка эффективности такого взаимодействия должна проводиться на основе исследований с применением методов математического моделирования по всем фазам реализации проектов реформирования и может быть выражена организационно-технологической надежностью (ОТН).

Методологические положения системной оценки организации производственных систем железнодорожного транспорта и результатов его деятельности в новых экономических условиях требуют научного обоснования и должны базироваться на концепции сквозного структурного контроля, направленного на повышение производительности труда и снижение затрат в сфере производства и управления.

Реализация третьего этапа реформирования железнодорожного транспорта предусматривает разработку ряда информационных, правовых, финансово-экономических, бизнес-моделей взаимодействия в новых организационных структурах внешних и внутренних контрагентов. Так, в модели обмена услугами устанавливается перечень услуг бизнес-единиц ОАО «РЖД».

Инфраструктурный комплекс оказывает услуги по предоставлению пропускных способностей с учетом технологических «окон» в графике движения поездов. Пропускные способности должны обеспечить возможность выполнения запланированного бюджетом Дирекции управления движением объема перевозок и пропуска поездов с установленными скоростями в соответствии с графиком их движения.

Услуги предоставления тягового подвижного состава и локомотивных бригад состоят в обеспечении потребного количества локомотивов эксплуатируемого парка необходимой мощности и контингента локомотивных бригад для тех же целей, что и инфраструктурный комплекс.

Услуга предоставления грузовых вагонов заключается в обеспечении технически исправного состояния в объеме, необходимом для выполнения целевых задач хозяйства перевозок.

В системе фирменного транспортного обслуживания (СФТО) формируется план перевозок на бюджетный год с учетом реально предоставляемых объемов услуг соответствующими дирекциями.

Хозяйство управления движением предоставляет услуги ниток графика бизнес-единицам ОАО «РЖД»:

— ЦФТО — для движения грузовых поездов частных перевозчиков (собственников поездных формирований и доставки грузов);

— Федеральной пассажирской компании, пригородным пассажирским компаниям, независимым перевозчикам пассажиров;

— хозяйствам по ремонту пути, вагонов, сетей и объектов электрификации и электроснабжения, техническому обслуживанию вагонов, территориальным филиалам ОАО «РЖД» при организации хозяйственного движения.

Правовая модель взаимодействия по юридическим и правовым вопросам должна обеспечить урегулирование отношений Дирекции управления движением по оказываемым и получаемым работам и услугам с бизнес-единицами ОАО «РЖД» на основе регламентов взаимодействия, соглашений об уровне оказываемых услуг, типовых нормативов, стандартов, технологических процессов взаимодействия, договоров на оказание услуг.

Информационная модель взаимодействия Дирекции управления движением с бизнес-единицами ОАО «РЖД» регламентирует входящие информационные потоки от:

— инфраструктурного комплекса — данных о наличной пропускной способности, ограничениях пропускной способности (в т. ч. данных об отказах технических средств), заявок на предоставление «окон»; данных о готовности тяги, запросов на перемещение локомотивов на ремонтные предприятия;

— СФТО сводного заказа;

— вагонного хозяйства — данных о результатах технического осмотра вагонов;

— Федеральной пассажирской компании, пригородных пассажирских компаний и независимых перевозчиков пассажиров — заявок на предоставление ресурсов пропускной способности.

Выходящие информационные потоки по соответствующим службам включают:

— заявки на пропускную способность, график предоставления «окон» для проведения работ;

— заявку на тягу в грузовом движении (ТПС, локомотивные бригады), заявку на тягу для спецманевров (ТПС, локомотивные бригады);

— данные о пропускных способностях, о технических возможностях выполнения начально-конечных операций, о коммерческом состоянии грузовых вагонов, прочие данные о технических ограничениях на перевозки, информацию для корректировки сводного заказа.

В финансово-экономической модели взаимодействия Дирекции управления движением с производственным комплексом предусматривается система взаимоотношений, основанная на бюджетном планировании расходов, связанных с основной производственной деятельностью.

Каждый из поименованных объектов управления, а также ряд других являются сложными иерархически организованными



ными системами со всеми вытекающими отсюда особенностями. Они могут быть охарактеризованы следующим образом.

1. Все эти системы являются целенаправленными, ибо для любого элемента этих структур всегда можно выделить основную цель или группу целей, которые преследуются ими в процессе своего функционирования.

2. Наличие целей предполагает также и наличие альтернатив или способов их достижения. Иными словами, достижение любой цели возможно в процессе движения рассматриваемого элемента по различным траекториям.

3. Система и ее любой элемент функционирует в среде, которая налагает на нее ограничения по трудовым, финансовым и материально-техническим ресурсам. Кроме того, система имеет и внутренние ограничивающие условия.

4. Принятию любых управляющих или организационных решений, связанных с выбором траектории движения или ее реализацией, предшествуют определенным образом организованные информационные процессы. Иными словами, управляющие решения принимаются на основе первичной информации, поступающей с объекта управления и из окружающей его среды.

5. Все элементы организаций имеют иерархическую структуру, которой присущи:

- вертикальная соподчиненность;
- право вмешательства вышестоящих руководителей в действия нижестоящих;
- взаимозависимость действий вышестоящих и нижестоящих элементов иерархической структуры.

В силу изложенного всестороннее описание субъектов перевозочного процесса возможно при использовании большого комплекса формализованных описаний (КФО).

Как известно, одним из важнейших инструментов познания окружающей нас действительности (в том числе и систем управления) являются так или иначе сконструированные ее модели. В соответствии с общими положениями модель всегда конструируется субъектом исследования (или наблюдателем) для реализации его целей. И одной из них является наиболее адекватное описание реальной системы. Точно так же исследователей интересуют вопросы построения экономико-математических моделей (ЭММ) производства, позволяющих адекватно отражать реальный перевозочный процесс.

Принципы и требования, предъявляемые к моделям, позволяют сформулировать основные требования к КФО. Эти требования на различных стадиях проектирования и внедрения информационных систем (ИС), естественно, будут различными. Причем различия будут в основном касаться уровня детализации, широты и глубины проектных проработок. Совершенно очевидно, что на этапе технического задания (ТЗ), когда уровень знания разработчиком законов функционирования системы невысок, правомочно использование в КФО аппарата отображений. Это позволит структурировать саму проблему, не вникая в детальные подробности механизма протекающих процессов. В дальнейшем в результате изысканий и исследований появится возможность детализировать и конкретизировать эти отображения. Так, на этапе технического проекта (ТП) можно уже будет конструировать и анализировать отдельные варианты алгоритмов функционирования системы, ее подсистем, комплексов задач, а также элементарных модулей. На эта-

пе же рабочего проектирования (РП) появится возможность выбрать окончательный их вариант и разработать рабочие программы, по которым реализуются элементарные задачи.

Укрупненно КФО можно представить состоящим из следующих групп моделей:

- моделей структуры системы и показателей, описывающих ее поведение;
- моделей производственных процессов, протекающих в элементах системы;
- моделей информационных процессов;
- моделей процедур принятия решений.

Охарактеризуем подробнее основные предложения по первым двум группам моделей.

В развернутом виде производственный железнодорожный комплекс является многоэшелонной структурой. В частности, ОАО «РЖД» можно представить трехэшелонной структурой, где на первом эшелоне находится аппарат ОАО «РЖД» (департаменты, службы и т. д.), на втором — филиалы железных дорог, на третьем — дистанции. Все эти элементы взаимосвязаны.

До настоящего времени не создана единая глобальная модель организации производства, позволившая бы с системных позиций решать комплекс оптимизационных задач повышения эффективности работы железнодорожного транспорта. Один из подходов к построению такой модели автор видит в применении комплекса формализованных описаний эшелонированной структуры, каковой является железнодорожный холдинг [1]. Теоретические основы иерархических многоуровневых систем были заложены Месаровичем М., Мако Д., Такахарой И. [2].

Для того чтобы осуществить выбор того или иного варианта функционирования и развития системы, т. е. определить комбинацию одновременно задействованных способов переработки информации, необходимо:

- описать основные свойства и характеристики системы;
- оценить область их рациональных значений;
- наметить критерий (или систему критериев) эффективности выбора приемлемого варианта функционирования системы;
- осуществить выбор в соответствии с принятым критерием.

В самом общем виде основные характеристики системы управления можно разбить на три группы. Первая группа характеристик описывает систему управления количественно, вторая — качественно, а третья характеризует качество вырабатываемой информации. Перечень этих характеристик сведен в табл. 1.

Известно, что от того, какая характеристика выбрана в качестве показателя эффективности, существенно зависит интерпретация результатов исследования сложной системы. Кроме того, характер показателя определяет основные направления исследований сложной системы, а также стратегию ее совершенствования. Другими словами, позиция изучающего и его целевая направленность имеют существенное значение как для исследования процессов управления, так и для качественного проектирования управляющей системы.

С этой точки зрения для выбора основного варианта управляющей системы существенны те показатели и характеристики, которые важны либо с точки зрения эксплуатационника



Таблица 1 — Основные характеристики системы управления производством

| № п/п | Тип показателя | Характеристика | Примечание |
|-------|--|--|---|
| 1 | Количественные характеристики системы | Количество элементарных модулей | |
| 2 | | Время решения комплекса задач управления | Критерий эффективности эксплуатационника |
| 3 | | Объем перерабатываемой информации | |
| 4 | | Объем используемой памяти | |
| 5 | | Трудоемкость эксплуатации системы | |
| 6 | | Трудоемкость проектирования и внедрения | |
| 7 | | Затраты на проектирование и внедрение | Критерий эффективности проектировщика |
| 8 | Качественные характеристики системы | Надежность | |
| 9 | | Помехоустойчивость | |
| 10 | | Оперативность | |
| 11 | | Внедряемость | |
| 12 | | Модернизируемость | |
| 13 | Качественные характеристики информации | Комплексность принимаемых решений (полнота) | Критерий эффективности потребителя информации |
| 14 | | Достоверность принимаемых решений | |
| 15 | | Экономическая эффективность системы управления | Народнохозяйственный критерий |

системы, либо с точки зрения проектировщика, либо, наконец, с народнохозяйственной точки зрения.

Одной из основных характеристик качества функционирующей системы управления является надежность. Она может быть определена по аналогии с надежностью сложных технических систем с учетом той специфики, которая появляется за счет введения в систему таких трудноформализуемых звеньев, как люди или трудовые коллективы. В этом случае будем оперировать несколько иным понятием — организационно-технологической надежностью.

Организационно-технологической надежностью системы будем называть ее способность выполнять свои функции в заданных условиях при фиксированных требованиях на остальные характеристики системы. За меру ОТН при учете воздействия на систему случайных факторов примем вероятность ее безотказной работы в течение заданного интервала времени.

Анализ структуры системы управления показывает, что ее надежность определяется надежностью программного обеспечения, надежностью вычислительных сетей и других технических средств, участвующих в ее работе, а также надежностью таких ее трудноформализуемых элементов, как люди или отдельные коллективы.

Система программного обеспечения может считаться надежной, если она проверена в период опытной эксплуатации при различных режимах работы и показала себя удовлетворительно. В этом случае надежность системы в основном будет зависеть от надежности системы коммуникаций и ЭВМ, а также надежности социальных элементов системы (людей и их отдельных коллективов) и времени решения задач.

Относительно надежности таких специфических элементов, как люди, следует отметить следующие обстоятельства. Их надежность определена многими факторами, которые зачастую не поддаются даже контролю и находятся вне сферы действия данной системы управления. Однако она может быть существенно повышена за счет таких мероприятий, как повышение деловой квалификации работников, отработка эффективной системы стимулирования и мотивации, улучшение условий труда и быта, совершенствование социальной атмосферы и т. д.

В реально функционирующей системе одновременно работает несколько способов включения экономических модулей (ЭМ). Эти способы будут частично запараллеливать друг друга. Поэтому в качестве надежности системы мы вправе принять выпуклую линейную комбинацию надежности отдельных контуров. Определение коэффициентов линейной комбинации представляет собой самостоятельную задачу, которая здесь не рассматривается.

Обозначим через $\varphi(X)$ надежность системы, a_j — коэффициенты выпуклой линейной комбинации ($a_j \geq 0, \sum_{j=1}^n a_{sj} = 1$), имеем (см. табл. 1)

$$\varphi_8(X) = \sum_{j=1}^n a_{sj} \varphi_{8j}(x_j). \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы системы по любому способу ее функционирования зависит от времени функционирования. При этом удовлетворяются условия [3]:

$$\begin{aligned} 0 \leq \varphi_j(t_j) \leq P_{\text{обр}j} \leq 1; \\ \varphi_j(t_j) \rightarrow \infty \text{ при } t \rightarrow \infty; \\ \varphi_j(t_j) = P_{\text{обр}j}, \varphi_j(\infty) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $P_{\text{обр}j}$ — максимально возможная вероятность безотказной работы системы по j -му варианту; t_j — время работы по j -му варианту.

Этим условиям удовлетворяют закон Вейбулла, логистическая кривая и некоторые другие. Для путевого хозяйства нами экспериментально обоснована логистическая кривая:

$$\varphi_{8j}(t_j) = \frac{1}{\psi_{8j} e^{\mu_{8j} t_j} + 1}.$$

$t_j = a_j x_j$, т. е. время работы по j -му варианту линейно зависит от количества реализуемых в его составе ЭМ. Таким образом,

$$\varphi_{8j}(x_j) = \frac{1}{\psi_{8j} e^{\mu_{8j} t_j} + 1}, \quad (3)$$

где ψ_j, μ_j — параметры логистической кривой (кривой Перла). $0 < \psi < 1$ и $\mu > 0, \mu_j = \mu_j^* a_j$.

Проиллюстрируем применение предложенной модели на объектах службы пути Западно-Сибирской железной дороги.

Известно, что от состояния пути (фактической балльности), дефектности рельсов, негодности шпал зависит участковая скорость. От качества принимаемых организационно-технологических решений зависит в конечном счете уровень безопасности движения поездов. Организационно-технологические решения (ОТР) определим как систему оптимальных технологических и организационных параметров работ на объекте, обеспечивающих достижение целей в пределах заданного ограничения затрат и времени при распределении ресурсов проекта, установленных на стадии планирования. В качестве критерия эффективности ОТР примем организационно-технологическую надежность. Выполним расчеты ОТН по статистическим данным 4-х НОД: дефектности рельсов, негодности шпал и фактическому состоянию пути, выраженному в баллах. Расчет параметров логистической кривой (функции Перла) (3) выполняется методом наименьших квадратов. Организационно-технологическая надежность дефектности рельсов приведена на рис. 1, организационно-технологическая надежность негодности деревянных шпал — на рис. 2 и организационно-технологическая надежность состояния пути — на рис. 3.

На следующем этапе исследований необходимо разработать технические регламенты, установить уровни ОТН, обеспечивающие безопасность движения при заданных участковых скоростях. Постановка задачи выбора оптимального варианта функционирования системы в этом случае сводится к следующему.

1. Найти максимальное значение ОТН системы при заданных ограничениях на дефектность рельсов, негодность деревянных шпал и заданное состояние пути.
2. Найти минимальные значения допустимых дефектностей рельсов, негодности деревянных шпал и состояния пути, обеспечивающих заданный уровень ОТН.
3. Определить состояние системы, обеспечивающее максимальный уровень безопасности при заданных ограничениях на ОТН, дефектность рельсов, негодность деревянных шпал и состояние пути.

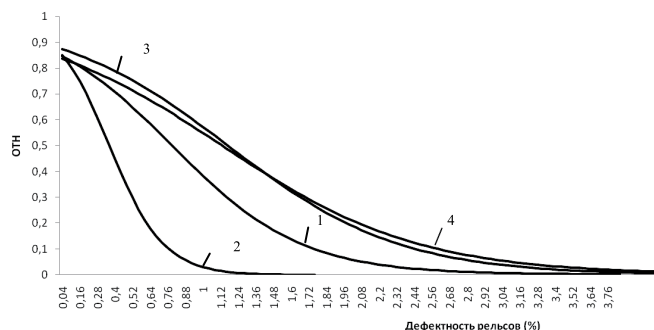


Рисунок 1 — Организационно-технологическая надежность дефектности рельсов:
1 — НОД 1; 2 — НОД 2; 3 — НОД 3; 4 — НОД 4

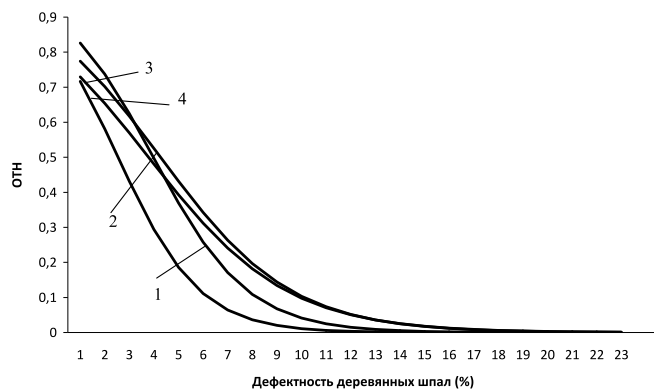


Рисунок 2 — Организационно-технологическая надежность деревянных шпал:
1 — НОД 1; 2 — НОД 2; 3 — НОД 3; 4 — НОД 4

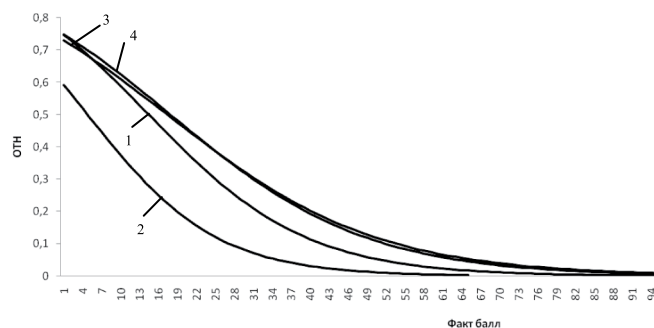


Рисунок 3 — Организационно-технологическая надежность состояния пути:
1 — НОД 1; 2 — НОД 2; 3 — НОД 3; 4 — НОД 4

Литература

1. Верескун В.Д. Совершенствование управления производственными системами железнодорожного комплекса // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2009. № 1. С. 30 — 33.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
3. Докучаев В.Н. О различных постановках экономических задач, относящихся к одному и тому же объекту // Математический анализ экономических моделей / Под ред. К.А. Багриновского и Е.Л. Берлянда; ИЭ и ОПП СО АН СССР. Новосибирск, 1971. С. 38 — 45.



Василий Михайлович Сай, д-р техн. наук, профессор (УрГУПС, Екатеринбург),
Сергей Викторович Сизый, канд. физ.-мат. наук, доцент (УрГУ, Екатеринбург),
Наталья Александровна Афанасьева, инженер (УрГУПС, Екатеринбург)

СОГЛАСОВАНИЕ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ОАО «РЖД» С РЕГИОНАЛЬНЫМИ ПРОГРАММАМИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Взаимоотношения между компанией «Российские железные дороги» и территориально-административными образованиями (субъектами Российской Федерации) строятся на договорных отношениях. В целях повышения эффективности сотрудничества корпорации с региональными структурами разработана математическая модель, в основу которой положена увязка совместных программ взаимодействия, учитывающая интересы сторон.

В основу моделирования процесса взаимодействия положен хорошо проработанный аппарат математической теории игр [1, 2].

В простейшем случае моделируемая ситуация может выглядеть таким образом. Пусть имеются два хозяйствующих субъекта. Положим, что у каждого из них есть набор интересов и задач, для реализации которых в той или иной степени требуется участие второго субъекта. Понятно также, что по каждому интересу существует набор ограничений. Последний, по существу, является готовым набором возможных уступок при согласовании интересов. На основе подходов и методов теории игр возможно согласование интересов и задач этих субъектов.

В исследовании процесса взаимодействия имеют место две задачи, которые необходимо решить для построения обоснованных взаимовыгодных отношений между двумя партнерами: корпорацией «Российские железные дороги» и регионом (субъектом РФ). Первая задача заключается в увязке программ (интересов) двух партнеров. Вторая задача нацелена на определение показателя эффективности взаимодействия с одной и другой стороны.

Для увязки программ ОАО «РЖД» и субъекта РФ разработана многокритериальная игровая модель. Между партнерами складываются определенные отношения, т. е. каждый из игроков имеет перечень задач, подлежащих реализации. Зачастую по некоторым позициям взгляды партнеров не совпадают. Поэтому необходимо найти компромисс между двумя сторонами.

Мера экономической заинтересованности взаимодействия со стороны корпорации — максимизация доходов, со стороны региона — улучшение его состоятельности, с учетом вкладываемых инвестиций в осуществление намеченных проектов, их значимости для каждой из сторон. Под состоятельностью субъекта РФ в данном случае понимается некоторый безразмерный показатель, отражающий уровень его социально-экономического развития.

Для решения поставленной задачи зададим исходные данные:

n — количество инвестиционных проектов;
 d_i — потребность в инвестиции i -го проекта, $i = 1, 2, \dots, n$;
 \underline{a}_i — минимальная сумма, которую может инвестировать в i -й проект первый игрок (ОАО «РЖД»), $i = 1, 2, \dots, n$;
 \bar{a}_i — максимальная сумма, которую может инвестировать в i -й проект первый игрок, $i = 1, 2, \dots, n$;

A — максимальная сумма, которую может инвестировать во все проекты первый игрок;

\underline{b}_i — минимальная сумма, которую может инвестировать в i -й проект второй игрок (областной бюджет), $i = 1, 2, \dots, n$;

\bar{b}_i — максимальная сумма, которую может инвестировать в i -й проект второй игрок, $i = 1, 2, \dots, n$;

B — максимальная сумма, которую может инвестировать во все проекты второй игрок;

p_i — доход первого игрока от реализации i -го проекта;

q_i — доход второго игрока от реализации i -го проекта;

r_i — рейтинг i -го проекта для первого игрока ($r_i \in \{1, 2, \dots, n\}$, r_i — наивысший рейтинг);

s_i — рейтинг i -го проекта для второго игрока.

Неизвестные:

x_i — сумма, инвестируемая в i -й проект первым игроком, $i = 1, 2, \dots, n$;

y_i — сумма, инвестируемая в i -й проект вторым игроком, $i = 1, 2, \dots, n$.

Постановка и решение задачи.

Вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$, удовлетворяющий ограничениям

$$\begin{aligned} \underline{a}_i \leq x_i \leq \bar{a}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq A, \end{aligned} \quad (1)$$

назовем стратегией первого игрока. Через X обозначим множество всех стратегий первого игрока.

Аналогично вектор $y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in R^n$, удовлетворяющий ограничениям

$$\begin{aligned} \underline{b}_i \leq y_i \leq \bar{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ y_1 + y_2 + \dots + y_n \leq B, \end{aligned} \quad (2)$$

назовем стратегией второго игрока. Через Y обозначим множество всех стратегий второго игрока.

Элемент $(x, y) \in X \times Y \subset R^n$ назовем ситуацией, декартово произведение $X \times Y$ — множеством ситуаций.

Введем функцию дохода первого игрока от реализации i -го проекта, $i = 1, 2, \dots, n$:

$$f_i(x_i, y_i) = \begin{cases} p_i, & \text{если } x_i + y_i \geq d_i, \\ 0, & \text{если } x_i + y_i < d_i. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда выигрыш (доходность) первого игрока в ситуации (x, y) имеет вид

$$H_1(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i, y_i).$$



Аналогично вводится функция дохода второго игрока от реализации i -го проекта, $i=1,2,\dots,n$:

$$g_i(x_i, y_i) = \begin{cases} q_i, & \text{если } x_i + y_i \geq d_i, \\ 0, & \text{если } x_i + y_i < d_i, \end{cases} \quad (4)$$

и выигрыш (доходность) второго игрока в ситуации (x, y)

$$H_2(x, y) = \sum_{i=1}^n g_i(x_i, y_i).$$

Множество всех ситуаций $X \times Y$, т. е. множество всех векторов $(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n)$, удовлетворяющих ограничениям (1), (2), представляет собой полиэдр (многогранник) в пространстве R^{2n} .

Рассмотрим в пространстве R^{2n} $2n$ полупространств $P_i^+ = \{(x, y) \in R^{2n} : x_i + y_i \geq d_i\}$, $P_i^- = \{(x, y) \in R^{2n} : x_i + y_i \leq d_i - \varepsilon\}$

($i=1,2,\dots,n$), где ε — малое положительное число. Из этих полупространств образуем непересекающиеся непустые множества вида $Q_k = P_1^* \cap P_2^* \cap \dots \cap P_n^*$, $k=1,\dots,2^n$, где вместо * стоят знаки + или - (всевозможные сочетания знаков + и - дают именно 2^n множеств). В множестве всех ситуаций $X \times Y$ рассмотрим m непустых непересекающихся подмножеств $Z_k = Q_k \cap X \times Y$, $k=1,\dots,m$, где $m \leq 2^n$. Каждое из множеств Z_k представляет собой выпуклый ограниченный многогранник. Считаем, что $Z_k = \emptyset$, если $k=m+1,\dots,2^n$. Очевидно, для всех k ($1 \leq k \leq m$) функции f_i , g_i и, следовательно, $H_1(x, y)$, $H_2(x, y)$ постоянны на множестве Z_k так, как в выражениях (3) и (4) справедливо одно из неравенств $x_i + y_i \geq d_i$ или $x_i + y_i < d_i$ (одно и то же для всех $(x, y) \in Z_k$). В каждом множестве Z_k выберем по одному представителю z_k (можно произвольному, но для определенности возьмем тот элемент, на котором функционал

$f(x, y) = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i$ — суммарные инвестиции обоих игроков во все проекты — достигает наименьшего значения). Другими словами, $z_k = (x^{(k)}, y^{(k)}) = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}, y_1^{(k)}, y_2^{(k)}, \dots, y_n^{(k)})$ — это решение задачи линейного программирования: $f(x, y) \rightarrow \min$, $(x, y) \in Z_k$.

Определим функцию $R_1(x, y)$ — рейтинг ситуации (x, y) для первого игрока. Отсортируем векторы доходов $h_k = (f_1(x_1^{(k)}, y_1^{(k)}), f_2(x_2^{(k)}, y_2^{(k)}), \dots, f_n(x_n^{(k)}, y_n^{(k)}))$, $k=1,\dots,m$, по убыванию координаты i с рейтингом $r_i=1$, затем по убыванию координаты i с рейтингом $r_i=2$ и т. д. После этого, когда все векторы лексикографически упорядочены: $h_{k_1}, h_{k_2}, \dots, h_{k_m}$, положим $R_1(x, y)=1$, если $(x, y) \in S_{k_1}$ (в частности, $R_1(z_{k_1})=1$); $R_1(x, y)=2$, если $(x, y) \in S_{k_2}$ и т. д. $R_1(x, y)=m$, если $(x, y) \in S_{k_m}$. Аналогично определяется функция $R_2(x, y)$ — рейтинг ситуации (x, y) для второго игрока.

Среди всех ситуаций $z_k = (x^{(k)}, y^{(k)})$, $k=1,\dots,m$, выберем ситуации, оптимальные по Парето. Ситуация $z^* = (x^*, y^*)$ называется оптимальной по Парето (или Парето-оптимальной), если не существует более предпочтительной для обоих игроков ситуации $z = (x, y)$, т. е. такой, что $H_1(x^*, y^*) \leq H_1(x, y)$, $H_2(x^*, y^*) \leq H_2(x, y)$, $R_1(x^*, y^*) \geq R_1(x, y)$, $R_2(x^*, y^*) \geq R_2(x, y)$.

В результате проигрывания всевозможных сценариев программы взаимодействия выявляются оптимальные по Парето ситуации (рис. 1).

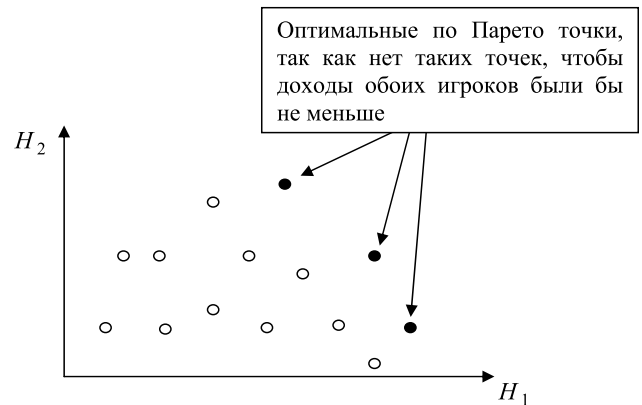


Рисунок 1 — Набор всевозможных ситуаций

Предложенная математическая модель позволяет проигрывать производственные сценарии программ партнеров с учетом их интересов: корпорации по отношению к субъекту РФ и наоборот. Такое проигрывание позволяет выработать приемлемые для обеих сторон варианты программы взаимодействия.

Для акционерного общества крайне важно оценить эффективность взаимодействия с субъектом РФ. Таким образом, решение второй задачи сводится к определению интегрального коэффициента эффективности взаимодействия ОАО «РЖД» с субъектами РФ [3].

Коэффициент эффективности строится на основании разработанной экономико-математической модели и модельных представлений системы взаимоотношений ОАО «РЖД» с регионами [4]. Он включает в себя кроме финансовых показателей доходности инвестируемого проекта (или группы проектов) еще и важнейшие факторы устойчивости инвестируемого предприятия, его надежности, а также дает возможность учитывать степень увязки инвестируемого проекта с другими проектами и программами региона, их влияние и взаимообусловленность.

Формула для вычисления коэффициента эффективности имеет следующий вид:

$$k = \frac{D_{\text{прогн}}}{D_{\text{прогн}} + \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left(\sum_{j=1}^s (D_{\text{деп}}^j)_i \right) + \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left(\sum_{j=s+1}^{n-m+1} (R_{y6}^j)_i \right)},$$

где $D_{\text{прогн}}$ — усредненный доход ОАО «РЖД» в единицу времени,

$$D_{\text{прогн}} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left(\sum_{j=1}^s \left((S_{\delta}^{(j)})_i + \alpha_j \cdot (\Delta v^{(j)})_i \right) \cdot p_j \cdot \frac{1 + \lambda_j}{2} \right) + \sum_{j=s+1}^{n-m+1} \left((R_{y6}^j)_i + \alpha_j \cdot (\Delta v^{(j)})_i \right) \cdot p_j \cdot \frac{1 + \lambda_j}{2},$$

где $S_{\delta}^{(j)}$ — непосредственный доход ОАО «РЖД» от кредитования некоторого узла

$$S_{\delta}^{(j)} = \mu \cdot S_{\text{возвр}}^j - S_{\text{инв}}^j;$$

μ — ожидаемый (прогнозируемый) коэффициент инфляции;



$S_{\text{возвр}}^j$ — ожидаемая ОАО «РЖД» сумма возврата (вместе с процентами) со стороны некоторого узла по истечении времени кредитования;

$S_{\text{инв}}^j$ — объем кредитования некоторого узла, осуществляемого собственными средствами ОАО «РЖД», руб.;

p_j — коэффициент устойчивости узла-партнера, инвестируемого как собственными средствами компании ОАО «РЖД», так и привлеченными (заемными) средствами;

$\Delta V^{(j)}$ — ожидаемое от реализации проекта (программы) увеличение объемов произведенной продукции на предприятии в единицу времени;

λ_j — безразмерный коэффициент — степень увязки инвестируемого проекта некоторого узла с другими проектами и программами региона;

α_j — безразмерный коэффициент степени важности последствия от реализации проекта с некоторым узлом для ОАО «РЖД»;

$(R_{\text{уб}}^j)$ — убытки компании ОАО «РЖД» в i -й отрезок времени в результате взаимодействия с некоторым узлом, инвестируемого привлеченными или заемными средствами,

$$R_{\text{уб}}^j = R_{\text{привл}}^j - \mu \cdot R_{\text{возвр}}^j,$$

$R_{\text{привл}}^j$ — объем привлеченных ОАО «РЖД» (или взятых в виде банковского кредита) ресурсов с целью инвестирования некоторого узла;

$R_{\text{возвр}}^j$ — подлежащий возврату объем ресурсов (вместе с процентами);

$|R_{\text{уб}}^j|$ — объем средств, которые можно было бы сэкономить, отказавшись от взаимодействия с некоторым узлом;

$D_{\text{деп}}^j$ — возможный гарантированный доход от альтернативного размещения на банковском депозите собственных средств ОАО «РЖД», выделяемых на реализацию проекта некоторого предприятия.

Введенный показатель эффективности — это одна из важнейших числовых характеристик процессов сотрудничества ОАО «РЖД» с региональными структурами. Он достаточно прост в использовании. С помощью коэффициента можно не только оценить качество и эффективность сотрудничества партнеров, но и сравнить различные перспективные схемы и программы взаимодействия компании «Российские железные дороги» с конкретным регионом.

Однако эффективное взаимодействие возможно только в том случае, если будут учитываться интересы обеих сторон. Для этого разработан показатель, который характеризует состоятельность субъекта Российской Федерации: его промышленное развитие, народонаселение, территорию, платежеспособность, инвестиционную привлекательность и т. п. по отношению к хозяйствующим субъектам, в том числе и к ОАО «РЖД» [5, 6].

В результате анализа различных сторон регионального экономического взаимодействия выделены в рассмотрение семь основных факторов, представляющих интерес для железной дороги в регионе: погрузка, выгрузка, бюджет региона, численность населения, общая площадь региона, развернутая длина железной дороги, фактор федерального воздействия на регион. Именно эти факторы, на наш взгляд, необходимо учитывать в первую очередь при формировании коэффициента состоятельности территории $\tau_{\text{рег}}$

$$\tau_{\text{рег}} = \frac{W_{\text{рег}}}{W_{\text{РФ}}},$$

где $W_{\text{рег}}$ — величина абсолютной состоятельности региона; $W_{\text{РФ}}$ — величина абсолютной состоятельности территории Российской Федерации.

Величина абсолютной состоятельности региона $W_{\text{рег}}$ определяется по формуле

$$W_{\text{рег}} = \alpha_1 M_{\text{рег}} + \alpha_2 V_{\text{рег}} + \alpha_3 B_{\text{рег}} + \alpha_4 N_{\text{рег}} + \alpha_5 S_{\text{рег}} + \alpha_6 L_{\text{рег}} + \alpha_7 \Phi_{\text{рег}},$$

где $M_{\text{рег}}$ — погрузка в регионе, т/год;

$V_{\text{рег}}$ — выгрузка в регионе, т/год;

$B_{\text{рег}}$ — бюджет региона или муниципального образования, руб./год;

$N_{\text{рег}}$ — численность населения региона, чел.;

$S_{\text{рег}}$ — общая площадь (территория) региона (км²) или, что эк-

вивалентно, плотность $\rho_{\text{рег}} = \frac{N_{\text{рег}}}{S_{\text{рег}}}$ населения в регионе (чел./км²);

$L_{\text{рег}}$ — развернутая длина железной дороги на территории региона, км;

$\Phi_{\text{рег}}$ — фактор федерального воздействия на регион, руб./год;

$\alpha_1, \dots, \alpha_7$ — весовые коэффициенты.

Величина абсолютной состоятельности территории Российской Федерации $W_{\text{РФ}}$ определяется как сумма состоятельности регионов

$$W_{\text{РФ}} = W_{01} + W_{02} + \dots + W_{87} = \sum_{k=1}^R W_k,$$

где R — число регионов Российской Федерации при рассматриваемом фиксированном разбиении территории России на регионы.

Экономико-математические требования к формируемому показателю $\tau_{\text{рег}}$ — коэффициенту состоятельности субъекта Российской Федерации (региона или территории) — с точки зрения анализирующей компании ОАО «РЖД» таковы.

1. Нормированность коэффициента $0 \leq \tau_{\text{рег}} \leq 1$.

2. Монотонная зависимость коэффициента $\tau_{\text{рег}}$ — чем больше значения семи перечисленных показателей $M_{\text{рег}}$, $V_{\text{рег}}$, $B_{\text{рег}}$, $N_{\text{рег}}$, $S_{\text{рег}}$, $L_{\text{рег}}$, $\Phi_{\text{рег}}$ тем большее значение должен принимать итоговый коэффициент состоятельности региона $\tau_{\text{рег}}$. Разумеется, коэффициент состоятельности региона (территории) должен зависеть от значений этих семи перечисленных показателей в разной степени.

3. Коэффициент состоятельности региона $\tau_{\text{рег}}$ должен быть легковычислимым.

Коэффициенты предложенной линейной формы $\alpha_i > 0$ — строго положительны. Это необходимо для неотрицательности итоговых значений $W_{\text{рег}}$ что в конечном счете необходимо для соблюдения условий 1 и 2.

Коэффициенты $\alpha_i > 0$ предложенной линейной формы $W_{\text{рег}}$ выполняют двоякую функцию. Первая функция коэффициентов линейной формы $W_{\text{рег}}$ — уравнивание размерностей. Коэффициенты уравнивают размерности складываемых величин так, чтобы было правомерно выполнять операцию сложения и в итоге получалась безразмерная величина $W_{\text{рег}}$. Таким образом, коэффициенты предложенной линейной фор-

мы $W_{рег}$ должны иметь следующие размерности: $\alpha_1 — (т/год)^{-1}$, $\alpha_2 — (т/год)^{-1}$, $\alpha_3 — (руб./год)^{-1}$, $\alpha_4 — (чел.)^{-1}$, $\alpha_5 — (км)^{-1}$, $\alpha_6 — (км)^{-1}$, $\alpha_7 — (руб./год)^{-1}$.

При указанных размерностях коэффициентов в линейной форме $W_{рег}$ происходит сложение безразмерных величин, следовательно, само значение линейной формы $W_{рег}$ есть величина безразмерная.

Вторая функция коэффициентов линейной формы $W_{рег}$ — придание соответствующих весов учитываемым факторам. Величины коэффициентов α_i отражают значимость (вес) соответствующего фактора в оценке абсолютной состоятельности региона $W_{рег}$. Таким образом, α_i есть весовой коэффициент, с которым соответствующий учитываемый показатель входит в итоговую сумму. Ясно, например, что погрузка $M_{рег}$ в регионе является более значимым фактором привлекательности и состоятельности региона с точки зрения ОАО «РЖД», нежели развернутая длина железной дороги $L_{рег}$ в регионе, поэтому соответствующие этим факторам весовые коэффициенты подчиняются неравенству $\alpha_1 > \alpha_5$.

Рассмотренные семь параметров наиболее интересны для ОАО «РЖД» потому, что они связаны с практической деятельностью корпорации напрямую. Кроме того, некая добавка по всем параметрам состоятельности региона ΔW дает оценку эффективности сотрудничества со стороны субъекта РФ.

На рис. 2 в плоскости параметров эффективность ОАО «РЖД» $k(x, y)$ и состоятельность региона $\Delta W(x, y)$, где x — это вектор вложений ОАО «РЖД», а y — вектор вложений региона, изображены различные варианты распределения финансирования.

Таким образом, в целях увязки программ партнеров, обеспечивающих развитие транспортной инфраструктуры в реги-

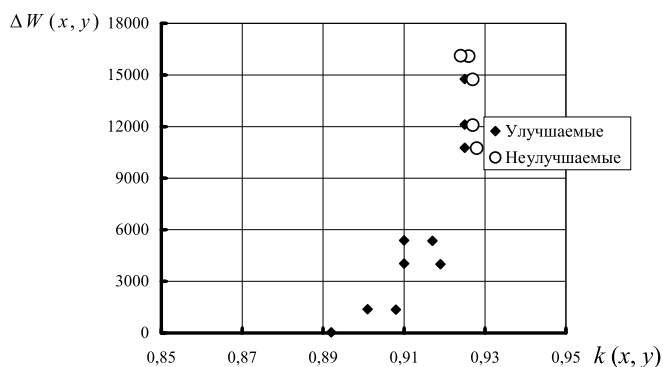


Рисунок 2 — Значения эффективности и состоятельности по вариантам программы взаимодействия

оне, выбран математический аппарат, основанный на теории игр. Предложены критерии, по которым увязываются эти программы: инвестиции в осуществление намеченных проектов, доходность по каждому пункту программы, приоритеты проектов программы.

Разработанная методика согласования программ взаимодействия ОАО «РЖД» с субъектами Российской Федерации полностью соответствует практике взаимодействия, в полном объеме вырабатывает всевозможные выгодные варианты работы и, следовательно, может быть применена в практической деятельности ОАО «РЖД».

Найденные по предложенной методике варианты финансирования программы дают представителям ОАО «РЖД» достаточно полную картину действия в переговорном процессе, в том числе и возможных, приемлемых для ОАО «РЖД» уступок.

Литература

1. Шишкин Е.В., Чхартишвили А.Г. *Математические методы и модели в управлении*. М.: Дело, 2004.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. М.: Наука, 1982.
3. Афанасьева Н.А., Сай В.М., Шутюк С.В. *Моделирование и исследование коэффициента взаимодействия ОАО «РЖД» с хозяйствующими субъектами // Путь и железнодорожное строительство: Сб. науч. тр. Екатеринбург: УрГУПС, 2005. С. 126 — 144.*
4. Афанасьева Н.А., Шутюк С.В., Сай В.М. *Методологические подходы моделирования взаимоотношений компании «Российские железные дороги» с регионами // Транспорт, наука, техника, управление. М.: ВИНТИ РАН. 2004. № 12. С. 12 — 15.*
5. Сай В.М., Шутюк С.В. *Формирование интегрального показателя априорной состоятельности региона для компании ОАО «РЖД» // Транспорт Урала. 2005. № 3 (6). С. 2 — 12.*
6. Афанасьева Н.А., Шутюк С.В., Сай В.М. *Моделирование программ взаимодействия ОАО «РЖД» с субъектами Российской Федерации // Экономика железных дорог. 2005. № 12.*

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ С АДАПТИВНОЙ СТРУКТУРНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Свойства систем проявляются во взаимодействии и определяются им. Так что оптимизация взаимодействия — это и совершенствование работы транспортных систем разного уровня, и улучшение транспортного обслуживания производства, и обеспечение эффективными транспортными связями экономического взаимодействия.

Теоретические принципы рационального взаимодействия потока и структуры, элементов между собой, подсистем в транспортных системах, а также транспорта и производства могут стать надежной основой для создания эффективных технологий на транспорте.

Структурное взаимодействие показывает степень согласованности стыкующихся элементов и тем самым то, насколько хорошо построена структура (в частности, наличие в ней узких мест). Функциональное — характеризует взаимодействие операций в технологическом процессе и развитость управления потоками. Оно выявляет, насколько хорошо построен технологический процесс системы. Структурно-функциональное — это особый вид взаимодействия, когда технологическими способами изменяют параметры структуры. Структура как бы адаптируется к сложившейся ситуации, что повышает эффективность работы системы. Технологических мер такого рода много. Статья посвящена методу оптимизации.

Модель позволяет рассчитать оптимальные параметры транспортной системы с адаптивной структурной технологией. Такого рода технология активизирует динамические резервы [1]. Поскольку динамические резервы замещают по функции фактические резервы вагонов и путей, это обстоятельство должно адекватно отображаться в методе расчета.

Теоретической основой для построения модели МОДУС (модель с управляемыми пропускными способностями) является аппарат динамической транспортной задачи с задержками (ДТЗЗ) [2]. Однако здесь вводятся связи структурной адаптации. Предполагается, что пропускная способность каналов $d_{ij}(t)$ и емкость бункеров (емкостей) $d_{ii}(t)$ могут меняться во времени. Возможны связи типа «бункер — канал» и «канал — бункер». Связи адаптации вступают в силу, только когда ДТЗЗ не имеет решения, т. е. с использованием всех типов динамических резервов некоторый поток не может быть пропущен из-за недостатка пропускной способности канала или груз не может быть размещен на складе из-за нехватки площадей.

Связи адаптации осуществляются технологическими способами. То есть параметры одних каналов и бункеров могут временно увеличиваться за счет уменьшения параметров других технологическими решениями (рис. 1, 2).

Каждый парк схематически можно описать как «бункер — канал — бункер» (рис. 3).

Например, в парке приема входной бункер будет означать пути с составами, ожидающими роспуска, выходной — пути с составами под обработкой.

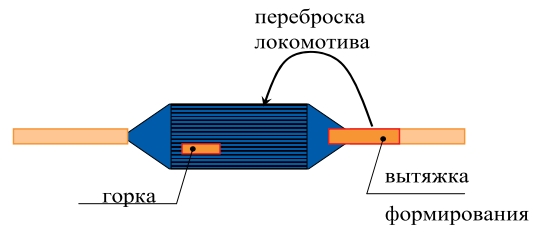


Рисунок 1 — Адаптация типа «канал — канал»

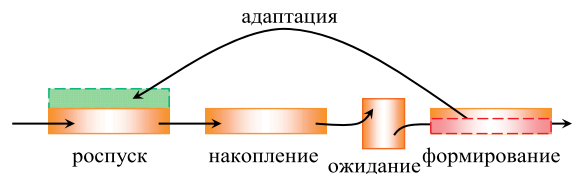


Рисунок 2 — Адаптация типа «бункер — канал»



Рисунок 3 — Адаптация типа «бункер — канал — бункер»

Если добавить дополнительную бригаду по обработке, то увеличится пропускная способность канала, но уменьшится емкость первого бункера (рис. 4).

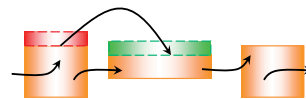


Рисунок 4 — Адаптация типа «бункер — канал — бункер» при добавлении дополнительной бригады по обработке

Соответственно при обратном процессе будет адаптация типа «канал — бункер».

Если поезд принять в парк, предназначенный для других поездов, то возникает как бы взаимопомощь бункеров (рис. 5).

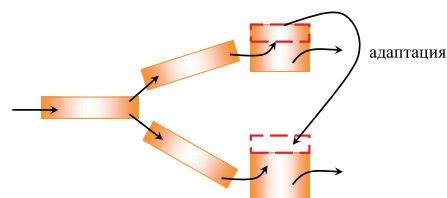


Рисунок 5 — Адаптация типа «бункер — бункер»

Необходимо максимально развивать структурную технологию, т. е. технологию, которая за счет адаптивности позволяет гибко менять параметры устройств в соответствии со сложившейся ситуацией. Это снизит потребность в фактических резервах.

Гармоничной структура будет тогда, когда выдержаны соотношения между пропускными способностями d_{ij} каналов и емкостями d_{ii} бункеров с учетом конкретной структуры S и параметров потока X .

Последовательность действий здесь такая. Строится укрупненная структура с некоторыми параметрами, рассчитанными традиционными методами. Задаются связи корректировки между каналами, а также бункерами. Структура нагружается потоками в динамике. Если структура не соответствует динамике прохождения потока, то вступают в действие связи корректировки — и структура становится более рациональной. Естественно, задаются стоимостные параметры корректировки.

Введем связи между элементами структуры, по которым как бы передается пропускная способность или соответственно емкость $d_{ij}^{kl}(t)$ (рис. 6). Наличие такого рода связи означает, что в момент t уменьшается пропускная способность дуги (i, j) и через некоторое время t_{ij}^{kl} увеличится соответствующий параметр дуги (k, l) на величину $\beta_{ij}^{kl} d_{ij}^{kl}$. Коэффициент β_{ij}^{kl} (назовем его коэффициентом замещения) учитывает то обстоятельство, что передача пропускной способности может идти с уменьшением или увеличением производственной мощности.

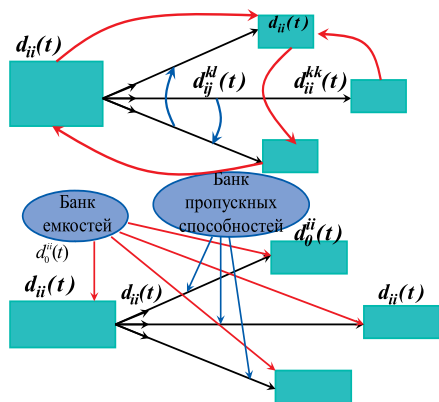


Рисунок 6 — Схема адаптивного построения оптимальной структуры

Задержка t_{ij}^{kl} может означать время переборки. В частном случае она может быть равна нулю. Предполагаются возможными следующие связи: канал — канал — $d_{ij}^{kl}(t)$, бункер — бункер — $d_{ii}^{kk}(t)$, бункер — канал — $d_k^{ij}(t)$, канал — бункер — $d_{ij}^k(t)$.

Оптимизация транспортно-складской системы, таким образом, ставится как задача расчета в динамике оптимальных транспортных потоков, динамики остатков грузов на складах и

построения оптимальной динамической структуры при минимуме суммарных затрат:

$$J_1 + J_2 \rightarrow \min ;$$

$$J_1 = \sum_{t=0}^T \sum_{(i,j)} c_{ij}(t) \cdot u_{ij}(t) ; J_2 = \sum_{t=0}^T \sum_{\substack{(i,j) \\ (k,l)}} h_{ij}^{kl}(t) \cdot d_{ij}^{kl}(t) .$$

В реальных условиях:

- динамики изменения запасов в пунктах P_i

$$u_{ii}(t+1) = u_{ii}(t) + q_i(t) + \sum_{i \neq j} (u_{ji}(t-t_{ji}) - u_{ij}(t)) ;$$

$$0 \leq t + t_{ij} \leq T ;$$

$$0 \leq t - t_{ij} \leq T ;$$

$$U_{ii}(0) = U_{ii}^0 ;$$

$$U_{ij}(t) \geq 0 ;$$

$$P_i, P_j \in P ;$$
- динамики изменения пропускных способностей дуг

$$d_{ij}(t+1) = d_{ij}(t) + \sum_{(k,l) \neq (i,j)} (\beta_{ij}^{kl} d_{kl}^{ij}(t-t_{ij}^{kl}) - d_{ij}^{kl}(t)) ;$$

$$0 \leq t + t_{ij}^{kl} \leq T ;$$

$$0 \leq t - t_{ij}^{kl} \leq T ;$$

$$d_{ij}(0) = d_{ij}^0 ;$$

$$d_{ij}^{kl}(t) > 0 ;$$

$$P_i, P_j, P_k, P_l \in P ;$$
- ограничения потоков пропускными способностями

$$0 \leq u_{ij}(t) \leq d_{ij}(t) ;$$

$$P_i, P_j \in P ;$$

где P — множество узлов сети;

$q_i(t)$ — функция производства.

Если $q_i(t) > 0$, то P_i — производитель, если $q_i(t) < 0$, то P_i — потребитель, если $q_i(t) = 0$, то P_i — промежуточный узел. Очевидно, что предельную емкость бункеров задает пропускная способность $d_{ii}(t)$, по которой «движется» во времени остаток вагонов.

По сути, это динамическая задача структурной технологии. В силу линейности функционала и ограничений задача является транспортной задачей линейного программирования с ограничениями типа равенств и неравенств. Рекомендуется применять алгоритмы решения, ориентированные на разреженные матрицы.

Таким образом, для оптимизации структурно-функционального взаимодействия предложен метод МОДУС, который рассчитывает изменение в динамике параметров структуры технологическими методами. Структура становится более адаптивной, активизируются динамические резервы. Системы с адаптивной структурой более эффективны в современных рыночных условиях.

Литература

1. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортно-обслуживания заводов черной металлургии. Дис. ... д-ра техн. наук. М.: МИИТ, 1986.
2. Козлов П.А., Миловидов С.П. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете потребителей. Экономика и математические методы. 1982. Т. XVIII. Вып. 3. С. 521 — 531.



МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ

В условиях рыночных отношений в каждом подразделении в целях повышения эффективности производства должна произойти переоценка ценностей. Если рассматривать ретроспективу, то железные дороги не испытывали конкуренции, практически всегда имели достаточный объем перевозок, им не грозило разорение или банкротство [1, 2].

Но такой подход, в свою очередь, приводил к просчетам в управлении качеством оказываемых перевозочных услуг, уровень которых перестает отвечать требованиям и условиям рыночной экономики.

Если рассматривать перспективу железных дорог как филиалов компании «РЖД», то успех возможен только там, где адаптация производства к рыночным отношениям происходит при реальной реорганизации внутрипроизводственных систем планирования, стимулировании реализации нового хозяйственного механизма, заинтересованности работников в конечных результатах работы.

Следовательно, метод управления перевозочным комплексом на экономических принципах необходим для быстрого решения технических, технологических и организационных проблем, которые нельзя преодолеть командно-административным способом [3].

Для определения эффективности системы управления перевозками в рамках деятельности перевозочно-хозяйственного комплекса (ПХК) необходимо выделить три неотъемлемые составляющие.

1. Стратегическая — «к чему стремиться?».
2. Технологическая — «каким путем осуществлять управление?».
3. Экономическая — «ориентирование и стимулирование каждого работника к активному содействию реализации системы намеченных мер» [4, 5].

Чтобы не превратить эту систему в причину неудач и просчетов, нужно решить проблему нововведений. Самое важное, чтобы специалисты управления всех уровней не сравнивали использование новаций и нововведений с попыткой вскопичить в «быстро движущийся поезд на ходу». Начинать нужно с анализа и систематизированного набора оценок и показателей использования и распределения бюджетов рабочего времени на каждом рабочем месте и у каждого работника профессионально-квалификационной группы (машинисты локомотивов, путевых машинных комплексов, электромонтеры контактной сети и т. д.), надежности функционирования оборудования: электронного, электромеханического, механического. Сюда же входит и определение оценок результативности и производительности труда, итогов работы по выполнению объемов и качества работы железнодорожных станций и других подразделений железных дорог [6].

Использование результатов анализа производственно-хозяйственной деятельности ПХК позволит руководителям всех уровней — от мастера, начальника станции до поездного диспетчера — принимать нужные решения по оптимизации технологического потенциала и технико-экономического управ-

ления производством. В итоге это обернется интегральным эффектом и увеличением доходов железных дорог и прибыли ОАО «РЖД».

Если мы хотим чем-либо управлять и улучшать этот вид деятельности, то должны уметь измерять параметры процесса управления, устанавливать понятные для всех работников цели и задачи. Существуют три основных подхода к измерению показателей при анализе деятельности организации [7].

1. Экономический (опирающийся на показатели объема перевозок, прибыли, рентабельности и т. д.).
2. Ориентированный на производительность труда ПХК.
3. Ориентированный на качество обслуживания клиента.

На этой основе много лет назад в университете штата Небраска (США) разработан метод управления, двумя разновидностями которого стали методы EFFECT — «Результат» и IMPACT — «Воздействие», функции которых обозначены на рис. 1.

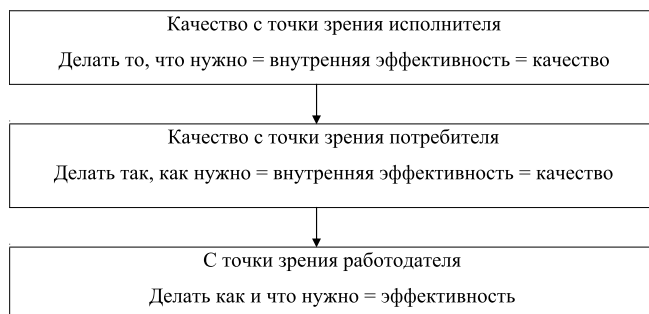


Рисунок 1 — Функции метода «Результат» — «Воздействие»

Первый элемент метода «Результат» базируется на использовании комплекса оценочных критериев, отражающих приоритеты, установленные администрацией. Его основные принципы:

- ориентация как на потребителя (клиента, грузоотправителя, пассажира), так и на производителя услуг (структурное подразделение, опорную станцию, железную дорогу);
- установление руководством станции четких целей;
- принятие этих целей трудовым коллективом станции;
- определение и разъяснение возможностей достижения намеченных целей;
- ориентация на поиск путей решения проблем, а не на поиск препятствий;
- достижение позитивных результатов, стимулирующих дальнейшую работу;
- определение критериев оценки, используемых трудовым коллективом;



- обеспечение взаимосвязей между отдельными функциями;
- повышение эффективности подразделения и заработной платы работников.

Метод реализуется по следующим этапам:

- подготовка проекта программы;
- определение потребностей и приоритетов;
- формулирование выводов;
- разработка проекта нововведений и их совершенствование.

Второй элемент метода «Воздействие» (рис. 2) предполагает создание рабочей группы по совершенствованию и развитию организации. В нее должны войти лица, особо заинтересованные в эффективной деятельности ПХК, стремящиеся обеспечить его развитие и имеющие определенное влияние в трудовом коллективе.



Рисунок 2 — Целевая функция метода «Воздействие»

Последнее положение особенно важно, так как членам группы предстоит убедить работников активно включаться в процесс всех усовершенствований. Существенным элементом работы группы является участие в ней стороннего компетентного консультанта, который разъясняет членам группы те или иные специальные вопросы организации управления, выступает в качестве инициатора нестандартных решений, а также независимого эксперта.

Работа включает в себя несколько этапов:

- целевое планирование;
- оценка ситуации;
- определение задач инициативной группы;
- совершенствование методов показателей;
- проектирование и внедрение нововведений;
- анализ результатов.

Этап совершенствования методов измерения показателей имеет особую важность. Здесь определяются значения оцениваемых показателей, отражающих состояние дел в данный момент. С этой целью составляется так называемая таблица объективных показателей.

Данный подход можно использовать при разработке алгоритма анализа и оценки эффективности работы любого подразделения ПХК (например, отдельной станции, отделения

железнодорожной и т. д.). Как системный объект ПХК представляется алгоритмом, т. е. входом информации, процессом организации и управления, обратной связью, вводом ограничения. Вход для ПХК характеризуется использованием трудовых, материальных, информационных и финансовых ресурсов, технологических методов, научных знаний, идей и т. д. Выход характеризуется совокупностью конечного продукта, результатом деятельности (продукции, услуг), служащих для достижения целевых установок системы. Процесс комплексного функционирования ПХК сложен. Поэтому его хозяйственная система расчленяется на ряд подсистем, связанных между собой как горизонтальными — по подразделениям, так и вертикальными — по подчиненности — взаимодействиями.

Реализуемая программа реформирования и развития железнодорожного транспорта на данном этапе характеризуется гипертрофированной ролью государства, дефицитом собственной корпоративной культуры и незавершенностью институциональных реформ. Разумеется, это объективно создает условия и предпосылки для недостаточно высокого уровня функционирования системы, что, в свою очередь, вызывает неудовлетворенность со стороны работников ПХК и других подразделений.

Обобщающим показателем эффективности хозяйственной деятельности перевозочного комплекса железной дороги признан уровень общей рентабельности авансированных фондов (в процентах), который определяется как отношение балансовой прибыли к средней стоимости основных фондов и материальных оборотных средств.

Этот показатель ученые Санкт-Петербургского университета путей сообщения А.Н. Ефанов и Т.П. Коваленок предлагают оценивать по формуле [8]

$$R = \Pi_B / (OF + OC) \times 100, \quad (1)$$

где Π_B — балансовая прибыль;

OF — средняя стоимость основных производственных фондов;

OC — средняя сумма оборотных средств.

На практике анализ факторов, определяющих уровень рентабельности, проводится по элементам данной формулы, выявляет только влияние приращения величин прибыли посредством фондоотдачи и ускорением оборотных средств. Такой анализ в период реформ несколько искажает экономический смысл явлений, так как сами по себе абсолютные величины факторов не показывают эффективности использования авансированных средств производства. Этот показатель вбирает в себя все качественные характеристики частных показателей эффективности использования ресурсов, что видно из следующей формулы определения уровня рентабельности:

$$R_{ni} = \Delta \Pi_{ni} / OF_1 \times 100. \quad (2)$$

Вместо показателя $\Delta \Pi(n)$ подставляют величину изменения прибыли по отдельным факторам, что необходимо для определения экономического потенциала производственно-хозяйственной деятельности ПХК и принятия управленческих решений. В табл. 1 использован следующий алгоритм анализа эффективности работы ПХК:

1) осуществить расчет динамики качественных показателей использования ресурсов (производительности труда, фондоотдачи, материалоотдачи, оборачиваемости оборотных средств);



2) определить отношение прироста ресурсов (в расчете на 1%) к приросту объема перевозок (Δ ресурсов: Δ объем продукции);

3) определить влияние интенсивности на прирост объема перевозок (прибыли или доходов).

Таблица 1 — Алгоритм исполнения анализа эффективности работы ПХК

| Показатель | База | Факт | Отклонение $I_{\text{УЧ}} \%$ |
|--|----------------------------|----------------------------|---|
| 1. Приведенные тонно-километры | $\sum P \ln p_o$ | $\sum P \ln p_1$ | $I_{\sum P \ln p} = \frac{\sum P \ln p_1}{\sum P \ln p_o} \cdot 100$ |
| 2. Эксплуатационная деятельность: а) численность; б) оплата труда с начислениями | $\Phi З П_o$ | $\Phi З П_1$ | $I_{\Phi З П} = \frac{\Phi З П_1}{\Phi З П_o} \cdot 100$ |
| 3. Материальные затраты | $\mathcal{E}_{\text{мз}o}$ | $\mathcal{E}_{\text{мз}1}$ | $I_{\mathcal{E}_{\text{мз}}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{мз}1}}{\mathcal{E}_{\text{мз}o}} \cdot 100$ |
| 4. Основные производственные фонды | $O \Phi_o$ | $O \Phi_1$ | $I_{O \Phi} = \frac{O \Phi_1}{O \Phi_o} \cdot 100$ |
| 5. Оборотные средства в ТМЦ | $O C_o$ | $O C_1$ | $I_{O C} = \frac{O C_1}{O C_o} \cdot 100$ |
| 6. а) производительность труда (1:2а) б) продукция на 1 руб. оплаты (1:2б) | $П П_o$ $П З_o$ | $П П_1$ $П З_1$ | $I_{П П} = \frac{П П_1}{П П_o} \cdot 100$ $I_{П З} = \frac{П З_1}{П З_o} \cdot 100$ |
| 7. Материалотдача (1:3) | $M_{o\phi}$ | M_{ϕ} | $I_{M_{o\phi}} = \frac{M_{\phi}}{M_{o\phi}} \cdot 100$ |
| 8. Фондоотдача (1:4) | $\Phi_{o\phi}$ | Φ_{ϕ} | $I_{\Phi_{o\phi}} = \frac{\Phi_{\phi}}{\Phi_{o\phi}} \cdot 100$ |
| 9. Оборачиваемость оборотных средств (1:5) | | | |

Организовывать управление деятельностью ПХК — это значит измерять, регулировать исполнительские функции организации измерением основных параметров технологического процесса. Выделим важнейшие требования рассматриваемой системы: задания нуждаются в планировании и измерении времени, необходимого для их выполнения до начала операций; учет затрат времени на осуществление производственных процессов означает только «регистрацию» существующего состояния. Поэтому необходимо составить шкалу временных затрат применительно к каждой технологической операции до начала ее выполнения. Однако определение нормативов времени и порядок исполнения технологического — не самоцель. Этот процесс следует рассматривать в постоянной увязке с микро- и макроорганизацией всей производственной системы.

Таким образом, представленная модель (рис. 3) является важным аспектом стратегии повышения производительности, требующим незначительных капиталовложений, но дающим определенный эффект в условиях новой модели управления организацией труда поездного диспетчера или дежурного по станции. Сюда входит определение значений заданного времени для автоматизированного планирования производства, а также возможности рационализации и т. д. При этом следует определить наиболее важные критерии, в частности, результа-

ты исследования должны быть репрезентативными для всего предприятия; намеченных целей следует достичь в ближайшее время.

Таким путем в течение года можно решить все организационные вопросы, связанные с практическим применением предложения. Подводя итог, можно отметить, что метод «измеряй время» является не только важным показателем кратоциклического управления организацией труда работников ПХК, но и важным аспектом стратегии повышения производительности, требующим незначительных затрат и капиталовложений.

Известно, что моделирование технологии управления ПХК — это упрощенное отражение реального состояния производства, помогающее осознать его сложность и предлагающее альтернативные подходы при решении изучаемого вопроса, или с научной точки зрения (системного подхода) это система представлений о тех или иных свойствах объекта и их взаимосвязях.

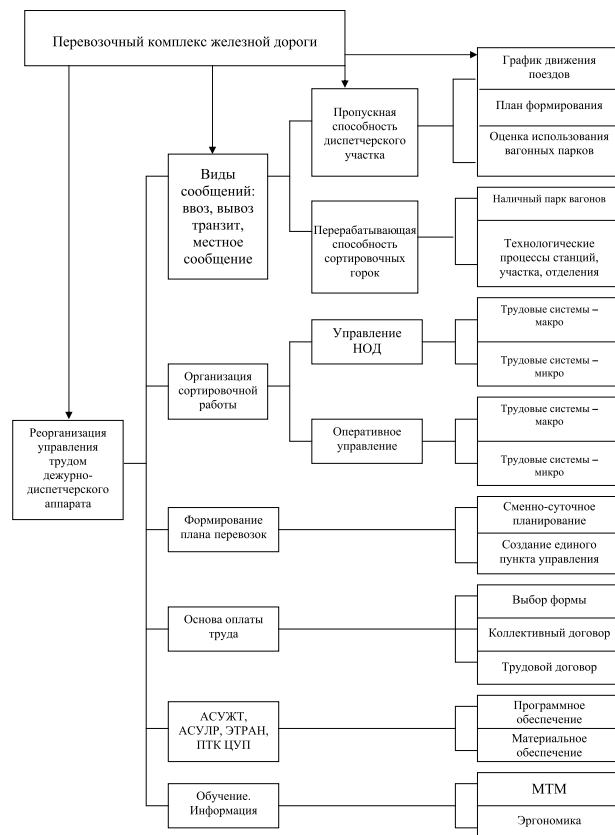


Рисунок 3 — Технологическая модель управления ПХК железной дороги

Предложенная модель представляет комплекс универсальных управленческих способов, которые прямым или косвенным образом направляют действия менеджеров транспорта в ситуациях принятия решений. Однако чем сложнее задачи, стоящие перед менеджментом транспорта, тем шире их круг, тем острее ощущается потребность решать их целенаправленно и взаимосвязанно, т. е. системно, и они сохраняют свою значимость для всех видов транспорта и уровней управления

перевозочным процессом от высшего до низшего звена при соблюдении следующих правил:

— во-первых, для успешного управления транспортным производством надо хорошо знать объект управления — его современное состояние, историю и тенденции развития в изменяющейся социально-экономической и производственно-технологической среде. Объект управления нужно видеть внутренне неоднородным (полиструктурным), т. е. представлять, что его элементы и взаимосвязи изменчивы и взаимосвязаны;

— во-вторых, при современных масштабах и условиях производства эффективность производственной деятельности человека все более определяется организационным фактором, качеством управления, взаимодействием частей системы в процессе производства;

— в-третьих, сущность такого взаимодействия всегда заключается в обмене веществом, энергией, информацией, а его количественной характеристикой служит интенсивность обмена (на транспорте она измеряется перевозочной способностью). Интенсивность обмена (производительность системы) определяется не только материальным (вещественным) наполнением системы, но и ее качеством — структурой. Поэтому управление всегда направлено на улучшение структуры повышения организационного уровня и, как следствие, производительности. Отсюда вытекают определенные требования к инновациям и механизмам управления ими;

— в-четвертых, критерии управления в транспортных системах объективны и не могут выбираться произвольно, их установление требует не формального акта, а содержательно-сущностного подхода на базе изучения закономерностей развития самого объекта;

— в-пятых, критерием оценки эффективности системы управления объектом может служить только практика, но не та, которая сложилась на сегодняшний день, а та, к которой должен выйти объект в своем развитии.

— в-шестых, знание внутренних возможностей транспорта и тенденций развития внешней среды позволяет менеджерам

сделать транспортную систему целенаправленно развивающейся, обладающей высокой производительностью и эффективностью. В связи с этим в рамках системного подхода необходимо, кроме моделирования и алгоритмов, остановиться на управлении транспортом как совокупности методов, приемов, способов действия, направленных на решение той или иной управленческой задачи. Не каждый руководитель обладает искусством выбора именно подходящего для данной ситуации метода. Естественно, что это зависит от организаторских и других его способностей. Наблюдения и анкетные опросы показывают, что только умелый подбор нужной комбинации мер и управленческих методов воздействия определяет успех дела. Главное, что руководители обратили внимание на целесообразность комплексного применения разных методов управления и стали решать сложные производственные и социальные задачи более эффективно.

Основное содержание функции управления производством — руководство коллективом людей на основе технологии управления, которое нельзя отождествлять с управлением локомотивами. Естественно, что выбор методов управления и их эффективность во многом зависят от состояния управляющей системы. При решении управленческих задач на транспорте все шире используются управленческие, экономические, экономико-математические методы, расширяющие возможности экономического анализа. Известно, что методы управления, особенно вновь разрабатываемые, должны опираться на действие объективных законов, определяющих социально-экономическую жизнь общества.

Следовательно, эффективная управленческая деятельность ПХК на транспорте невозможна без сознательного использования объективных экономических законов и принципов диалектики. Однако при этом не следует забывать, что применение различных методов, моделей, алгоритмов и информационных систем управления ПХК оправдывает себя лишь тогда, когда соблюдаются определенные условия.

Литература

1. Белов И.В., Персианов В.А. *Транспортные издержки и пути их снижения* // *Ж.-д. транспорт*. 1983. № 12. С. 56 — 61.
2. Громов Н.Н., Персианов В.А. *Управление на транспорте*. М.: Транспорт, 1990. 336 с.
3. Гершвальд А.С. *Оптимизация оперативного управления процессом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте*. М.: ИНТЕКСТ, 2001. 240 с.
4. Давыдов А.В. *Теоретические и методологические основы организации заработной платы на железнодорожном транспорте*. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2000. 263 с.
5. Давыдов А.В., Дементьев А.П. *Концепция организации оплаты труда ОАО «РЖД»* // *Ж.-д. транспорт*. 2002. № 2.
6. Гительман Л.Д. *Преобразующий менеджмент. Лидерам организации, консультантам по управлению*. М., 1999. 276 с.
7. Антонов В.Г. *Эволюция организационных структур* // *Менеджмент в России и за рубежом*. 2000. № 2.
10. Ефанов А.Н., Коваленок Т.П. *Анализ производственно-хозяйственной деятельности железной дороги*. СПб.: ПГУПС, 2000. 162 с.



Тамара Петровна Воскресенская, д-р техн. наук (Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк),
Оксана Дмитриевна Покровская, аспирант (Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк)

ИННОВАЦИОННО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ СОЗДАНИЯ В РЕГИОНЕ СЕТИ ТЕРМИНАЛОВ КАК ЕДИНОГО ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА (НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Эффективность работы видов транспорта, входящих в единую транспортную систему (ЕТС) страны, определяет оптимальность работы региональных транспортных узлов.

Объектом большинства комплексных исследований по проектированию и развитию логистических систем выступает регион — промышленный район с внутренне замкнутым характером грузопотоков. Подобное усиление региональных аспектов полностью соответствует целям Транспортной стратегии РФ на период до 2020 г. Речь идет не просто о реализации проектов по развитию транспортно-логистической инфраструктуры, а о согласованном развитии и организации взаимодействия различных видов транспорта и пользователей транспортных услуг [1].

В качестве сете- и системообразующего фактора рассматриваются грузовые терминалы — логистические накопительно-распределительные центры (ЛНРЦ, далее — терминалы), расположенные в регионах страны.

Проблеме формирования терминальной сети как основы пространственной модели развития транспортной инфраструктуры много внимания уделяют Л.Б. Миротин, В.С. Лукинский, А.М. Гаджинский, Ю.М. Неруш, В.М. Николашин, К.Л. Комаров, Т.А. Прокофьева и др. Несмотря на значительное число научных публикаций, связанных с исследованием проблем транспортного обслуживания регионов, недостаточно работ по вопросам формирования и развития транспортно-терминальной сети, проблемам мезологистики, в то время как необходимость совершенствования грузо- и товародвиженческих процессов более чем очевидна, особенно в условиях экономического агломерирования регионов.

Формируется новая система распределения грузопотоков и создание на ее основе новой архитектуры хозяйственных связей, ориентированной на удовлетворение внутрирегиональных потребностей и развитие транспортных коридоров и комплексных транспортно-логистических узлов.

Подобная система реализуется развертыванием в регионе терминальной сети как единого транспортно-экспедиционного пространства (ЕТЭП). Грузовые терминалы организуются в пунктах стыка различных видов транспорта и выполняют функции логистических центров, которые интегрируются в транспортную сеть региона, затем — кластера.

Цель данной работы заключается в разработке инновационно-методологического подхода к обоснованию создания в регионе сети грузовых терминалов как единого транспортно-экспедиционного пространства, в границах которого будут приниматься решения, экономически выгодные всем участникам перевозочного процесса.

Задачи исследования: 1) обоснование необходимости создания в регионе терминальной сети как направления совершенствования грузодвижения; 2) введение понятия «ЕТЭП региона»; 3) определение роли терминалов в ЕТЭП; 4) разработка целевой функции с выбором оптимального вида транспорта и наилучшего варианта числа и размещения терминалов в регионе.

Объектом исследования является единое транспортно-экспедиционное пространство и входящие в его состав элементы — логистические накопительно-распределительные центры (терминалы) — на примере Кемеровской области.

Концепция создания региональной терминальной сети предполагает переход от фрагментарного подхода к управлению грузодвижением и от «стихийного» размещения складских инфраструктур к единому транспортно-экспедиционному пространству, интегрирующему транспортное, экономическое, информационное и правовое поля грузодвиженческой деятельности в регионе.

Единое транспортно-экспедиционное пространство региона — комплекс, включающий совокупность грузовых терминалов (терминальную сеть) с транспортно-дорожной инфраструктурой, обеспечивающий логистическим сопровождением региональное грузодвижение на основе единого управления процессами перевозок и взаимодействия видов транспорта.

Грузовой терминал (логистический накопительно-распределительный центр, или ЛНРЦ) — самостоятельный транспортно-грузовой комплекс, созданный для оказания складских и транспортно-экспедиционных услуг на основе единого организационно-экономического, финансового, информационного, кадрового и нормативно-правового обеспечения. Представляет собой специальный комплекс сооружений, технических и технологических устройств, организационно взаимосвязанных и предназначенных для выполнения логистических операций по приему, погрузке-разгрузке, хранению, сортировке, грузопереработке и коммерческо-информационному обслуживанию перевозочного процесса.

Иными словами, выступая в роли ключевого звена, регионального фрагмента транспортной сети страны, терминалы являются главными функциональными элементами логистических систем как грузонакопительные, грузоперерабатывающие, перевалочные комплексы, сооружаемые в узлах транспортной сети, в местах стыка магистральных видов транспорта [2].

Как показывает отечественная и зарубежная практика, развитие терминалов, функционирующих на принципах логистики, надежности и доступности, ускоряет экономические процессы. Наличие развитой терминальной сети сокращает общие затраты в логистической цепи при сохранении высокого качества обслуживания, а снижение запасов в обороте достигается эффективным распылением грузов терминалами.

Работа терминалов в качестве буферов между производством (клиентурой) и перевозчиками обеспечит непрерывность транспортно-грузовых процессов, ритмичность доставки, взаимодействие магистрального транспорта с промышленным, развитие смешанного сообщения. В итоге оптимизируются доходный и расходный элементы на всей логистической цепи, что обусловит высокую рентабельность перевозок. Особенно важ-



но это в условиях финансового кризиса, так как уровень транспортных затрат становится определяющим для инвестора.

Принятие на региональном уровне предлагаемой методологии как одного из направлений стратегической инновационной политики позволит сократить разрыв в социально-экономическом развитии регионов, обусловленный переходом на рыночные отношения. Кроме того, повысится качество услуг и конкурентоспособность перевозчиков, что создаст инвестиционную привлекательность любому региону.

В итоге функционирование региональной терминальной сети даст мультипликативный эффект в части развития городов, инфраструктуры (строительство дорог, грузовых пунктов, контейнерных площадок...) и рациональных транспортно-хозяйственных связей.

Таким образом, формирование ЕТЭП обеспечит комплексное развитие транспортной инфраструктуры агломерации, а в итоге — реализацию экономического потенциала региона. Будет обеспечен запуск инновационного механизма интенсификации внутри- и межрегионального грузодвижения и товарообмена.

Позитивные аспекты формирования терминальной сети для каждого участника процесса грузодвижения отражены на рис. 1. На рис. 2 показан типовой технологический цикл грузового терминала.

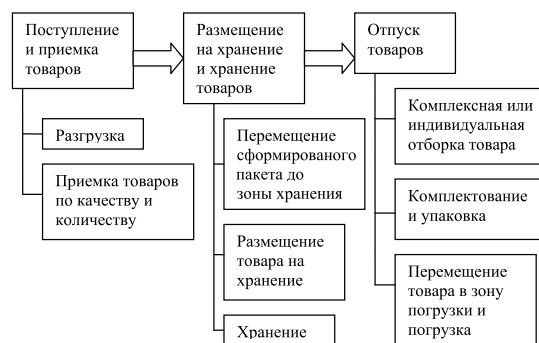


Рисунок 1 — Технологический процесс грузового терминала [2]

Функциональный арсенал накопительно-распределительных терминалов включает полный комплекс логистических, транспортных и экспедиционных услуг в соответствии с потребностями потребителей и мощностями поставщиков, что весьма актуально для рыночных условий.

Все логистические функции грузовых терминалов предлагается систематизировать в 3 группы по типу обслуживаемого объекта: 1) обслуживание грузопотоков; 2) работа с клиентами; 3) сервисное обслуживание водителей и подвижного состава.

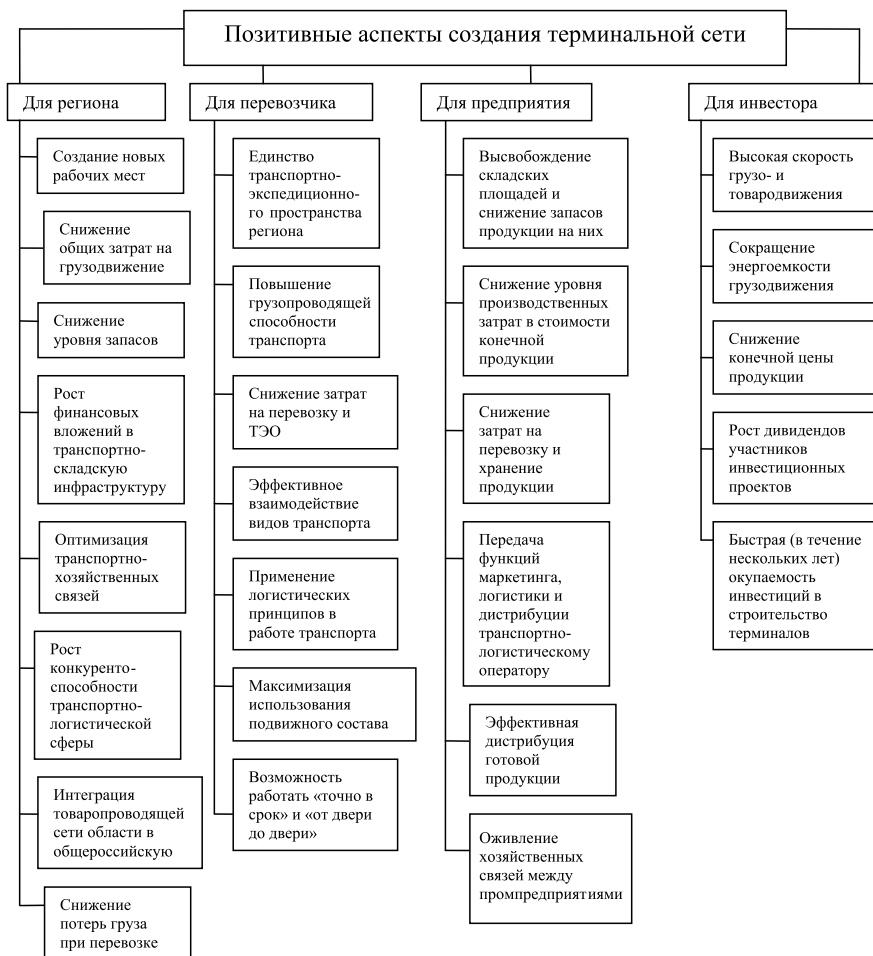


Рисунок 2 — Позитивные аспекты создания терминальной сети



Работа по обслуживанию грузопотоков состоит из: 1) переработки грузов; 2) обеспечения их дальнейшего продвижения. Переработка грузов предполагает: выполнение погрузочно-разгрузочных операций, сортировку, группировку, перегруппировку и разукрупнение грузовых партий, тарно-упаковочные операции, маркировку грузов, стандартизацию и сертификацию товаров, лицензирование, упаковку и распаковку, предпродажную подготовку, оформление грузовых единиц, пакетов и партий, обеспечение хранения и складирования грузов, охраны грузов, обеспечение соответствующих условий хранения, страхование грузов, электронно-информационное сопровождение грузов на основе стикерования и штрихкодирования. Обеспечение дальнейшего продвижения грузов предполагает: перевалку грузов при обслуживании смешанных и мультимодальных перевозок, таможенную обработку грузов, перевозку грузов по терминальной схеме, в контейнерах, съемных кузовах, интермодальном и ином специализированном подвижном составе; экспедиционное сопровождение груза; доставку груза «точно в срок» и «от двери до двери»; оптимальное распределение грузопотоков по номенклатуре и между потребителями; подбор рациональных систем доставки; выбор вида транспорта и подвижного состава; перевалку грузов при обслуживании смешанных и мультимодальных перевозок, загрузку автомобилей в попутном и обратном направлениях, взаимодействие видов транспорта, маршрутизацию; сбыт (реализацию), эффективное распределение (дистрибуцию), перепродажу и сервисное обслуживание хранимой продукции.

Работа с клиентами включает: оказание консультационных, информационных и посреднических услуг, осуществление транспортно-экспедиционной деятельности, заключение договоров на перевозку и/или транспортно-экспедиционное сопровождение грузов, комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание; документационное сопровождение: оформление пакета перевозочных, коммерческих, таможенных, страховых, расчетных, экспедиционных документов; централизованное информационно-навигационное сопровождение продвижения грузов: информирование клиентов о местонахождении грузов, транспортных средств, себестоимости и тарифе перевозки; услуги маркетинга (мониторинг спроса и предложения); услуги транспортно-экспедиционных и логистических фирм, брокерских и страховых компаний; служб безопасности; предоставление административных помещений и офисов. Современный терминал выполняет функции бизнес-центра, имея в своем составе банк, почту, телефон, телеграф, торговые представительства.

Сервисное обслуживание водителей предполагает комплексное бытовое обслуживание: услуги гостиницы (мотеля), магазинов, питание (кафе), медицинские услуги, санитарные помещения.

Сервисное обслуживание подвижного состава включает в себя услуги по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, технической диагностике транспортных средств, шиномонтаж, заправку топливом, услуги автомойки, охраняемой стоянки, магазин автозапчастей [2, 3].

Таким образом, функции, выполняемые терминалами, позволяют видеть последние в качестве основы ЕТЭП — каркаса, интегрирующего процесс перевозки, подвижной состав и инфраструктуру в ЕТС.

На примере Кемеровской области рассматриваются инновационно-методологические основы создания в регионе терминальной сети. Так, перспективы развития Кузбасса определяются его угольными запасами и металлургическими производствами, близкими со специализациями Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса.

Кемеровская область — регион вывозной, поэтому изменения конъюнктуры на уголь и металл на мировом рынке оказали резко негативное влияние на экономику области и региона. Создалась ситуация, когда, с одной стороны, недостаточны или отсутствуют заказы на поставки, с другой — неудовлетворенный спрос мелких и средних потребителей внутри области и на прилегающих территориях. Ориентируясь на вывоз значительных объемов грузов железнодорожным транспортом, область не придавала серьезного значения развитию внутренней товародвиженческой инфраструктуры.

Существующая в области складская инфраструктура не способна выполнять функции терминалов в силу того, что склады принадлежат конкретным промышленным предприятиям, ориентированы на определенный вид транспорта и потому неполнодоступны. Так, угольные предприятия юга области привязаны к железной дороге и не имеют необходимой инфраструктуры для работы с автотранспортом, роль которого во внутрирегиональном сообщении в последнее время возросла.

Терминалы освободят промпредприятия от складской инфраструктуры, снимут с них функции рыночного мониторинга и дистрибуции продукции, решат задачи планирования систем доставки и выбора вида транспорта и будут распределять промышленные грузопотоки, например, на условиях аутсорсинга. Увязывая рынок транспортно-логистических услуг и потребителей в ЕТЭП, терминалы сформируют условия для работы политранспортных систем, межрегиональной интеграции и обеспечат выходы на кластеры и транспортные коридоры страны.

В данной работе территория региона условно разбивается на три сектора: 1) север; 2) центр; 3) юг. Вывоз производится по 4 направлениям: A_1 — европейское направление (северо-запад); A_2 — юго-западное направление (Алтай, Казахстан); A_3 — юго-восточное направление (Хакасия); A_4 — северо-восточное направление (Дальний Восток, Красноярский край). Существуют 4 пункта выхода из региона B_1 — B_2 , обслуживающие направления A_1 — A_4 : B_1 — Болотное; B_2 — Тягун; B_3 — Балыкса; B_4 — Итат. Близкие к указанным пунктам города региона: B_1 — Юрга; B_2 — Артышта; B_3 — Междуреченск; B_4 — Мариинск. Объемы вывоза грузов по направлениям приняты в пропорциях (табл. 1).

Таблица 1 — Объемы вывоза грузов из области по направлениям

| Направление вывоза грузов из региона | Объем перевозок, принятый для данного направления вывоза, % от общего объема перевозок |
|--------------------------------------|--|
| A_1 (северо-запад) | 55 |
| A_2 (юго-запад) | 15 |
| A_3 (юго-восток) | 25 |
| A_4 (северо-восток) | 5 |

В целях рационализации внутриобластных хозяйственных связей и вывоза угольной продукции из региона на внешние направления предлагается создать три опорных термина-

ла: ЛНРЦ₁ (г. Ленинск-Кузнецкий), ЛНРЦ₂ (г. Белово), ЛНРЦ₃ (г. Новокузнецк), что принято в качестве первоначальной гипотезы. Оптимизация системы доставки грузов на внешних и внутренних направлениях региона обуславливается успешным взаимодействием автомобильного и железнодорожного транспорта при работе с сетью терминалов.

Расположить терминалы предлагается в наиболее крупных по объемам производства угольной продукции и наиболее удобных по наличию железнодорожного сообщения пунктах, т. е. с учетом зон тяготения к ним предприятий. Равноудаленная от групп предприятий и приближенная к одному из крупных городов дислокация обеспечит терминалы соответствующей инфраструктурой и трудовыми ресурсами. В таком случае формирование грузовых партий происходит с минимальными транспортными затратами.

Руководствуясь при создании концепции логистическими принципами, предлагается оценить варианты организации терминальной сети: по их числу — от 1 до 4 в регионе; по дислокации — приближенно к крупным городам и промышленно-транспортным узлам (оптимизация сбора груза у поставщиков) или приближенно к пограничным пунктам выхода из области (оптимизация дистрибуции груза потребителям).

На рис. 3 отражена исходная гипотеза размещения опорной сети терминалов (ЛНРЦ) в области.

По логике исследования анализируется целесообразность каждого из возможных вариантов организации: 1) единственного терминала в регионе; 2) терминала в каждом секторе (ориентация на сбор груза у поставщиков, т. е. преимущественно на внутренние перевозки); 3) приближенно к пунктам выхода из региона (ориентация на внешние перевозки, т. е. на экспорт угольной продукции); 4) сочетаний терминалов, ориентирован-

ных как на сбор, так и на дистрибуцию груза. Изменение предполагаемого количества терминалов в регионе варьируется от 1 до 4 (по количеству направлений вывоза) и влечет за собой сдвиги зон тяготения к терминалам грузообразующих пунктов. Число вариантов количества и размещения единственного терминала в регионе составляет 7 — по количеству пунктов, в которых назначены терминалы. Для двух терминалов — 15; для трех — 31; для четырех — 14 вариантов. Методом последовательного перебора оценивался каждый вариант сочетания числа и размещения терминалов. Параллельно решалась задача выбора оптимального вида или сочетания видов транспорта для обслуживания объемов перевозок.

На основе разработанной ранее концепции и методики расчета формируется расчетно-методологическая база обоснования необходимости создания в регионе терминальной сети: рассчитаны суммарные затраты на обслуживание перевозки и по критерию их минимума найдены оптимальные схемы сбора и распределения продукции. Целевая функция F позволяет оценить целесообразность каждого варианта числа и дислокации терминалов:

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k \left(\sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}, \alpha}^{(\beta, \lambda)} \right) \Rightarrow \min;$$

$$F = \left(\sum_i \sum_k Q_{ik} * S_{ik} + \sum_{(m)} Q_{ik} * S_k \right) + \left(\sum_{(n)} Q_{kj} * S_k + \sum_k \sum_j Q_{kj} * S_{kj} \right) \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k [S_{\text{тран}}; S_{\text{инвест}}; S_{\text{хран}}; S_{\text{перераб}}; S_{\text{груз}}; S_{\text{сервис}}; T_{\text{достав}}] \Rightarrow \min,$$

где $S_{\text{сумм}, \alpha}^{(\beta, \lambda)}$ — суммарные затраты на обслуживание перевозки, руб./год;

Q_{ik} — количество груза, поступающего от поставщиков (i) на терминал (k), т/сут;

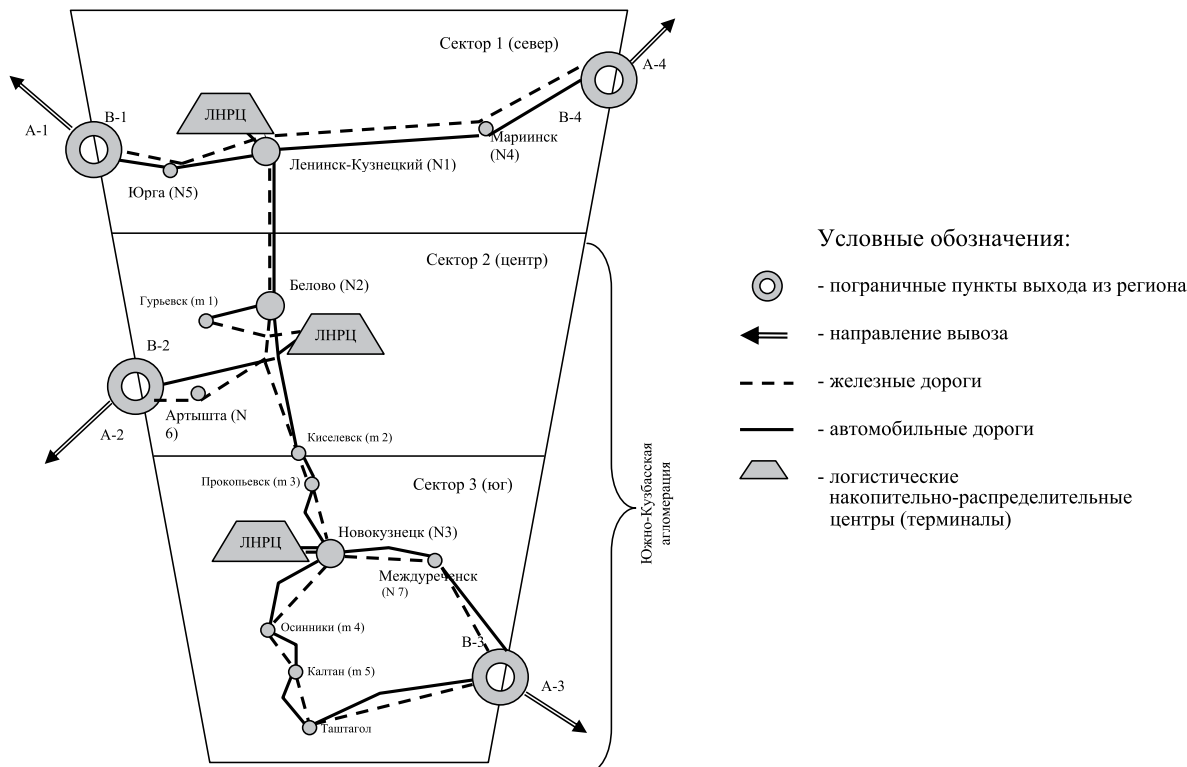


Рисунок 3 — Предлагаемая дислокация терминалов



Q_{kj} — количество груза, отправляемого (распределяемого) терминалом (k) потребителям (j).

Сумма затрат на обслуживание перевозки $\sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}}^{(\beta; \lambda)}$ на

α -м этапе (сбор; распределение) грузодвижения β -м или λ -м видом транспорта (β — доставка автомобильным; λ — железнодорожным транспортом; в случае $\beta+\lambda$ — доставка комбинированная) минимизируется: 1) по варианту дислокации и размещения терминалов; 2) по поставщику ($\sum_i S_i$), терминалу

($\sum_k S_k$) и потребителю ($\sum_j S_j$); 3) по этапам m и n (m — прибытие

груза от поставщика на терминал; n — отправление груза с терминала потребителю) по каждой транспортной связи. В табл. 2 представлены результаты расчета суммарных затрат на обслуживание перевозок по усредненным минимальным значениям. В составе суммарных затрат ($S_{\text{сумм}}$) определены транспортные затраты ($S_{\text{тран}}$) и размер инвестиций, необходимых для строительства терминалов ($S_{\text{инвест}}$).

Таблица 2 — Результаты расчета суммарных затрат на обслуживание перевозок

| Количество и расположение терминалов (ЛНРЦ) в регионе* | Суммарные затраты на обслуживание перевозок $S_{\text{сумм}} [\sum (S_{\text{тран}} + S_{\text{инвест}})]$, млн руб./год |
|---|---|
| ЛНРЦ (2) — Белово | 45 219,9 |
| ЛНРЦ (2,7) — (Белово + Междуреченск) | 40 682,4 |
| ЛНРЦ (1,2,7) — (Ленинск-Кузнецкий + Белово + Междуреченск) | 36 751,6 |
| ЛНРЦ (2,3,5,7) — (Белово — Новокузнецк + Юрга + Междуреченск) | 41 839,2 |

* В соответствии с рис. 3.

На рис. 4 отмечены усредненные минимальные значения затрат на обслуживание перевозки ($S_{\text{сумм}}$), по одному из которых выбран оптимальный вариант сети терминалов.

Расчеты показали: 1) подтверждается гипотеза опорной терминальной сети по числу терминалов — по одному в каждом секторе (см. рис. 3) и уточняется дислокация терминалов; 2) целевая функция F имеет минимум, т. е. достигается оптимизация суммарных затрат на обслуживание перевозок (см. рис. 4).

Для получения отмеченного выше положительного эффекта в части минимизации суммарных затрат на обслуживание перевозок необходима организационная база и источники финансирования строительства терминалов. В качестве финансовых источников могут выступать средства государственного, регионального бюджетов, грузовладельцев, банков. Реальная ор-

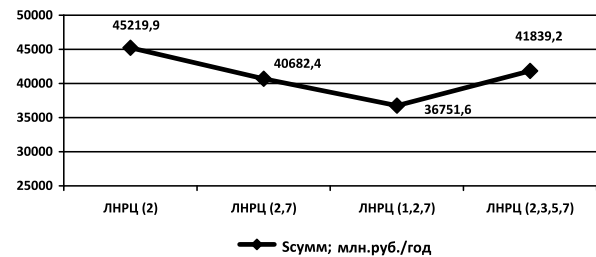


Рисунок 4 — Иллюстрация расчета суммарных затрат на обслуживание перевозок

ганизационная база: объекты незавершенного строительства; производственно-технические базы предприятий, высвободившиеся вследствие сокращения объемов производства; резервы производственных мощностей железнодорожных станций.

Результаты исследования: 1) расчетами подтверждена необходимость создания в регионе терминальной сети; 2) разработан инновационно-методологический подход к обоснованию создания в регионе сети грузовых терминалов; 3) сформулирована целевая функция F по модели двухэтапной транспортной задачи; 4) транспортная задача расширена вложением расчетного цикла по выбору вида транспорта; 5) предложен метод последовательного перебора для оценки каждого варианта сочетания числа и дислокации терминалов; 6) выбран вариант опорной терминальной сети для Кемеровской области: минимум целевой функции достигается при ЛНРЦ (1, 2, 7) — гг. Ленинск-Кузнецкий, Белово, Междуреченск. $S_{\text{сумм}}$ равны 36 751,6 млн руб. (см. табл. 2, рис. 4).

Предлагаемый подход проверен в реальных условиях Кемеровской области (Южно-Кузбасская агломерация). Создание в рамках ЕТЭП системы грузораспределения в условиях распыленности клиентуры, ее неподготовленности к обработке прибывающего транспорта и хаотичности возникновения потребностей в перевозках — перспективный способ управления внутри- и межрегиональными грузопотоками.

Для интенсификации товарообмена в части распределения угольного сырья, на которое упал спрос, огромное значение приобретает инновационное решение проблемы эффективного распыления грузопотоков — создание ЕТЭП.

При отсутствии в Кемеровской области ЕТЭП, обеспечивающего рынок транспортно-логистических услуг рациональной организацией распределения грузопотоков, развитие транспортных коридоров поставки угля и выход на уровень кластера на основе создания терминальной сети становится основной задачей транспортного комплекса региона. Данный факт отражен в Программе экономического и социального развития Кемеровской области на 2007-2012 гг.

Литература

1. *Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): Учеб. для транспортных вузов / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. М.: Экзамен, 2003. 448 с.*
2. *Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технология, управление и логистика: Учебно-практическое пособие. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. 176 с.*
3. *Сервис на транспорте: Учебник / В.М. Николашин, Н.А. Зудилин, А.С. Синцына и др.; Под ред. В.М. Николашина. М.: Изд. центр Академия, 2004. 272 с.*

РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

На муниципальном уровне наметилась тенденция создания в пригородной зоне (с целью вывода из города складов и большегрузного транспорта) крупных складских и грузоперерабатывающих комплексов, терминалов и распределительных центров по доставке сырья и комплектующих, распределению готовой продукции для обслуживания промышленности и бизнеса. Транспортные издержки составляют значительную часть себестоимости продукции промышленного сектора экономики, и предприятия стремятся снизить эти затраты, в том числе за счет осуществления комплекса операций логистики.

Логистика охватывает и объединяет в единый процесс такие разнообразные виды деятельности, как информационный обмен, транспортировка, управление запасами, складское хозяйство, грузопереработка, упаковка.

Оперативная задача логистики состоит в том, чтобы организовать географическое размещение источников сырья, незавершенного производства, запасов готовой продукции, которое отвечало бы потребностям в них и одновременно было сопряжено с минимальными возможными издержками. Логистика включает в себя планирование, заказ, закупку, производство, хранение, поставку, распределение и управление материальным обеспечением, персоналом, оборудованием и готовой продукцией. Ролевой статус логистики должен обязательно определяться эффективностью комплексного процесса ее осуществления. Критерием этой эффективности служат минимальные совокупные издержки на весь комплекс операций логистики как сферы хозяйственной деятельности.

На современном этапе развития логистических технологий большое внимание уделяется решению частных задач оптимизации транспортных, складских и распределительных процессов в промышленных, транспортных и торговых предприятиях. Однако создание транспортно-распределительной системы (ТРС) на уровне города требует комплексного рассмотрения всех аспектов указанных процессов. В настоящей статье приводятся научные и практические результаты решений частных задач логистики, обобщенные с помощью методологии системного анализа в единую методику структурного синтеза ТРС города. Совершенствование ТРС на основе решения оперативной задачи логистики позволит обеспечить растущие потребности промышленных предприятий и бизнеса в повышении уровня транспортно-экспедиционного обслуживания.

Актуальность логистического подхода к организации городских грузопотоков определяется следующими основными факторами:

- повышением эффективности обслуживания предприятий города за счет формирования оптимальных по времени и расстоянию транспортно-распределительных цепочек перемещения грузов;
- необходимостью создания терминальных комплексов, отвечающих требованиям потребителей;
- упорядочением грузопотоков, улучшением экологической ситуации за счет вывода складской инфраструктуры и, как следствие, части грузового автотранспорта за пределы города;

- перспективами роста промышленного потенциала городов за счет развития широкого спектра видов деятельности, объединенных логистикой в единый процесс.

Логистический подход требует развития соответствующих методик и математического аппарата, основанного на методологии системного анализа. При этом актуальными становятся постановка и решение новых задач в области структурного синтеза сложных систем со слабоформализуемыми внутренними связями.

На основе анализа существующих подходов к структурному синтезу ТРС, изложенных в научной литературе [1 — 3], можно выделить 3 основных этапа их построения: а) формирование организационной структуры; б) определение модели управления материальными потоками; в) выбор технологических процессов.

Математические методы и модели синтеза структуры городской ТРС, разрабатываемые в настоящей работе, ориентированы на апробацию ее в Хабаровске на базе необходимых статистических данных по грузовым транспортным потокам города.

Хабаровск, с одной стороны, крупный мегаполис, центр Дальневосточного региона с большим объемом внутригородских грузовых перевозок, с другой стороны, расположение города на границе Китая и в центре юга Дальнего Востока, на пересечении практически всех видов транспорта, делает его местом концентрации и транзита международных товарных потоков. Это создает предпосылки для формирования на его базе крупной ТРС.

В настоящее время все составляющие транспортной системы Хабаровска (ТСГ): железнодорожная, автомобильная, речная, воздушная — технологически и организационно разобщены и осуществляют диктат производителя над потребителем транспортной продукции, не отвечая за конечный результат и уровень сервиса перевозок. Механизм управления перевозками носит затратный характер, органически отторгает принципиально новые технологии, основанные на интеграции различных видов транспорта и взаимовыгодном сотрудничестве в условиях рыночных отношений. Согласно статистическим данным, коэффициент использования пробега грузовых автомобилей в черте города чуть превышает 0,5 [4]. Этот показатель говорит о том, что каждый второй грузовой автомобиль движется без груза. Поэтому очевидно, что в настоящее время в Хабаровске назрела социально-экономическая проблема создания на муниципальном уровне распределительной системы, которая позволит оптимизировать материальные потоки внутри города исходя из рационального и эффективного



использования имеющихся ресурсов и создания современной грузообработывающей инфраструктуры, что будет способствовать устойчивому развитию города в целом.

Методику этапного структурного синтеза региональной транспортной системы предложили А.В. Ефремов и В.П. Радченко [5]. Она была использована в данной работе и дополнена с учетом результатов собственных исследований, полученного автором при решении задач развития ТСГ.

Предлагаемая методика структурного синтеза ТРС включает пять основных этапов.

На первом этапе осуществляется анализ объемов и структуры грузопотоков в транспортном пространстве города, определяются основные грузоотправители и грузополучатели, анализируется существующая грузоперерабатывающая инфраструктура. По результатам полученных данных определяются точки сгущения грузопотоков (ТСП) как потенциальные для создания базовых объектов синтезируемой ТРС.

На втором этапе осуществляется идентификация и сегментация зон транспортного обслуживания определенных на первом этапе узлов с наибольшей концентрацией грузопотоков.

Третий этап предполагает выбор месторасположения базового объекта (БО) в каждой из выделенных зон транспортного обслуживания.

На четвертом этапе решаются следующие прикладные задачи: определение вместимости и площади терминалов; оптимизация основных технико-экономических параметров терминалов; расчет основных инвестиций на создание и функционирование терминалов.

На пятом этапе рассматривается проблема выбора наиболее эффективной структуры проектируемой ТРС города по критерию минимума приведенных затрат, включающих издержки на функционирование и затраты на создание ТРС.

Преимущество такого подхода — возможность моделирования ТРС на основе эмпирических статистических данных по грузопотокам города и основным грузоотправителям и получателям.

Каждый следующий этап предложенной методики является логическим продолжением предыдущего, и все вместе они реализуют синтез структуры проектируемой ТРС. Этапы 1 — 3 и 5 представляют собой системные задачи, рассматривающие интенсивность транспортных потоков города и имеющуюся транспортную инфраструктуру как основу для создания ТРС. Четвертый этап представляет комплекс частных задач, исследующих функционирование базовых объектов ТРС как самостоятельных хозяйствующих субъектов.

Основной задачей анализа транспортно-распределительного комплекса города является выявление наиболее значимых факторов, влияющих на параметры грузопотоков. В числе таких факторов могут быть крупные производители, существующие объекты грузоперерабатывающей инфраструктуры, потребители и др. Исследуются также существующие транспортные коммуникации города, доступность объектов транспортной инфраструктуры.

Базовые объекты ТРС должны быть ориентированы на значительные объемы грузопереработки, поэтому целесообразнее всего планировать их размещение в узлах наибольшего сосредоточения городских ТСП. Методика определения координат таких узлов представлена в работе [6], ее автором была разработана оригинальная методика, основанная на сетевых моделях.

В предлагаемой методике транспортная сеть города моделируется в виде сети $G(X, U)$, вершинами $x_i, i = \overline{1, z}$ которой являются объекты транспортно-распределительного комплекса, дугами $u_j, j = \overline{1, q}$ — транспортные коммуникации города. Веса вершин p_i — суммарный объем интенсивности транспортных потоков за период i -го объекта. Базовые объекты ТРС должны быть ориентированы на значительные объемы интенсивности транспортных потоков, поэтому их размещение должно базироваться в узлах наибольшего сосредоточения городских грузо- и пассажиропотоков.

За пропускную способность r_{ij} дуг сети принимается вес вершины, из которой дуга выходит,

$$r_{ij} = p_i \quad \forall j, i = \overline{1, z}. \quad (1)$$

Дуги ориентируются в направлении от источника к стоку. За источник принимаются вершины, соответствующие точкам зарождения грузо- и пассажиропотоков, за стоки — соответственно точки их погашения.

В рассматриваемой методике за точки сгущения грузо- и пассажиропотоков принимаются точки с выходящими из них ненасыщенными дугами с пропускной способностью большей или равной минимально необходимому для создания базового объекта ТРС объему переработки транспортных потоков.

После построения максимального потока f_{\max} в сети проводится анализ результата на предмет поиска наиболее ненасыщенных дуг, что соответствует ТСП D_m

$$D_m = \{x_i : p_i \geq P \quad \forall r_{ij} : r_{ij} > x_{ij}\}, \quad (2)$$

где P — критерий минимального объема интенсивности транспортных потоков.

Методика позволяет выделить на сети транспортных коммуникаций точки сгущения грузопотоков для акцентирования внимания проектировщика и последующего принятия решения о размещении в идентифицированном узле со сравнительно большим объемом грузопереработки БО проектируемой ТРС.

Важное значение в логистике имеют задачи создания и обеспечения надежного функционирования каналов грузопотоков и идентификация торговых сегментов торговых зон предприятий, фирм и т. д., поскольку 90 — 95% времени до момента потребления товары циркулируют на каналах грузопотоков [7].

Задача сегментирования сводится к определению целевого рынка товаров совокупности потребителей со сходными интересами и спросом по отношению к конкретным товарам или группам товаров (грузов), а также видам услуг. Применительно к ТРС в роли потребителей выступают торгово-распределительные центры (ТРЦ) крупных городов, складские и грузоперерабатывающие объекты транспортно-логистического комплекса города, основные грузоотправители и грузополучатели. В роли поставщиков рассматриваются ТСП.

В качестве признаков ТСП используются: транспортная доступность (наличие железнодорожных и автомобильных дорог, речных портов, аэропортов), мощность ТСП, фактор близости потребителя к ТСП.

Изложенная методика позволяет учесть изменения в объемах и структуре грузопотоков — в случае появления в системе новой точки зарождения или погашения грузопотоков она будет обслуживаться тем базовым объектом ТРС, в зоне действия которого располагается. Это определяет универсальность методики, обусловленную тем, что она учиты-

вает наиболее значимый признак — степень транспортной доступности.

В общем случае зоны логистического обслуживания могут перекрываться, что свидетельствует об эквивалентности ряда признаков ТСГ по оценке потребителей.

В свете проведенного выше анализа существующих методов определения месторасположения базовых объектов наибольший интерес представляет подход на основе сетевой модели, которая строится с учетом реальной дорожной сети [8, 9].

В данной работе используется сетевая модель рационального размещения пунктов обслуживания. Критерием оптимизации месторасположения базового объекта является минимум грузооборота. Этому условию удовлетворяет объект, которому на графе G_i i -й зоны транспортного обслуживания, аналогичному сети $G(X, U)$, построенной на первом этапе для всего города, соответствует общая медиана. В качестве вершин графа G_i выбираются ТРЦ городов и районных центров, складские и грузоперерабатывающие объекты транспортно-распределительного комплекса города, расположенные на территории i -й зоны транспортного обслуживания. Из теории графов известно [9], что общая медиана есть минимальная сумма внешнего и внутреннего передаточных чисел.

С помощью матрицы кратчайших расстояний графа G_i находим вектор внешних передаточных чисел W_i

$$W_i = c_{\min_i} \cdot P_i \quad (3)$$

где c_{\min_i} — матрица кратчайших путей графа G_i ;

$P_i = \{p_{1i}, \dots, p_{ci}\}$ — вектор-столбец весов вершин графа G_i .

Вектор внутренних передаточных чисел T_i рассчитывается по формуле

$$T_i = C_{\min_i}^T \cdot P_i \quad (4)$$

Тогда вершина x_m , являющаяся общей медианой графа G_i , определяется из соотношения

$$x_m : \forall x_j, J = 1, \dots, J \neq m \Rightarrow W_m + t_m \leq W_j + t_j \quad (5)$$

В качестве весов дуг используется реальное расстояние между объектами ТРС.

Данный метод позволяет получить оптимальное месторасположение базового объекта в зоне эффективного обслуживания. Дальнейшее уточнение проводится с учетом анализа реально доступных площадок под застройку вблизи выбранного объекта, которому соответствует оптимальная вершина.

На пятом этапе предложенной методики синтеза структуры ТРС определяется эффективная структура города, основанная на методе анализа иерархий. Суть этой методики состоит в декомпозиции проблемы на более простые части (элементы) и последующем построении иерархий взаимодействий полученных элементов. Анализ иерархий основывается на определении приоритетов элементов по отношению к выбранным критериям оценки. Согласно методу анализа иерархий, декомпозиция проблемы в иерархию выглядит следующим образом (рис. 1).

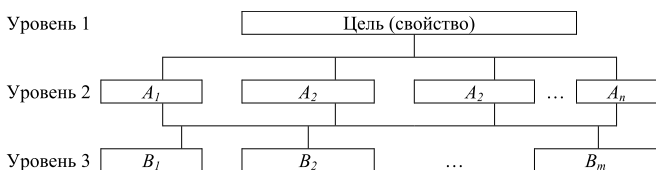


Рисунок 1 — Декомпозиция проблемы в иерархию

Для рассматриваемой задачи целью является получение эффективной структуры ТРС, элементы A_i — критерии оценки различных вариантов структур ТРС, элементы B_j — варианты реализации структуры ТРС. Различные варианты реализации структуры ТРС получаются в результате варьирования количества ТСП. В рассматриваемом методе определение приоритетов (важности) критериев A_i и оценка различных вариантов B_j по этим критериям происходит путем построения матриц парных сравнений по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Такой подход позволяет выбрать наиболее эффективный вариант реализации структуры ТРС на основе выбранных критериев.

Для выполнения условий согласованности в матрицах парных сравнений применяется индекс согласованности (ИС). Для ИС имеем

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

где n — число сравниваемых элементов; величина λ_{\max} находится из соотношения

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n x_j \cdot \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (7)$$

Далее формируется многокритериальная целевая функция задачи создания и эксплуатации базового объекта ТЛС для определения оптимальных технико-экономических параметров. Модель определения этих параметров может быть представлена в виде

$$A_{кт} = (\alpha_{кт1}, \dots, \alpha_{ктm}) \in F_{кт}, F_{кт} = \{F_{кт1}, F_{кт2}, \dots, F_{ктk}\}, \quad (8)$$

где $A_{кт}$ — вектор оптимизируемых параметров ТУ;

$F_{ктi}$ — i -й критерий оптимальности;

k — количество критериев оптимальности.

В настоящей работе в качестве оптимизируемых технико-технологических параметров базовых объектов выбраны: число подходов к БО (Z); интенсивность движения на подходах к БО (m); время задержки в транспортных узлах на подходах к БО от прибытия и до отправления (t_{30}); число полос на подходах к БО (H).

К неоптимизируемым параметрам относятся: технические параметры подвижного состава и его стоимостные показатели, экономические нормативы и др.

В качестве критериев оптимальности выбран критерий, выражающий приведенные затраты, связанные с созданием и функционированием БО, и критерий, выражающий эксплуатационную надежность.

Под эксплуатационной надежностью понимается вероятность обработки всего суточного объема транспортного потока с учетом неравномерности последнего. Коэффициент резерва — параметр, характеризующий неравномерность суточной интенсивности транспортного потока, задается соотношением

$$K_{рез} = 1 + K_{\delta} \frac{\sigma(X)}{M(X)} \quad (9)$$

где $M(X)$ — математическое ожидание интенсивности транспортного потока;

$\sigma(X)$ — среднеквадратичное отклонение величины X ;

K_{δ} — число, задающее интервал отклонения от математического ожидания, при $K_{\delta} = 3$ (для случая нормального распределения) обеспечивается эксплуатационная надежность, близкая к 100%.



Критерий оптимальности, связанный с экономическими затратами, выглядит следующим образом:

$$F_{\text{кр1}} = f(Z, m, t_{30}, H, K_{\text{рез}}) = \sum_1^6 C_i, \quad (10)$$

где $C_1(Z)$ — приведенные затраты на технические средства организации дорожного движения (ТСОДД), руб./год;

$C_2(t_{30}, H, K_{\text{рез}})$ — приведенные затраты на транспортные сооружения, руб./год;

$C_3(Z, t_{30}, H, K_{\text{рез}})$ — затраты на электроэнергию, руб./год;

$C_4(Z, H, m, K_{\text{рез}})$ — расходы за износ покрытия в районе БО, руб./год;

$C_5(t_{30}, H, K_{\text{рез}})$ — расходы за износ (использование) автомобилей, руб./год;

$C_6(m)$ — расходы на задержки (простой) автомобилей.

Критерий $F_{\text{кр2}}$, характеризующий эксплуатационную надежность, определяется как эмпирическая функция распределения коэффициента резерва $K_{\text{рез}}$.

Таким образом, постановка задачи определения оптимальных параметров может быть представлена в виде

$$F_{\text{кр1}} = \sum_1^6 C_i \rightarrow \min, F_{\text{кр2}} = F(K_{\text{рез}}) \rightarrow \max, \quad (11)$$

при ограничениях:

$$P_{\text{кр}}(A_{\text{кр}}) \geq U_{\text{сут}}^{\text{ТП}}, \quad (12)$$

$$A_{\text{крmin}} \leq A_{\text{кр}} \leq A_{\text{крmax}}, \quad (13)$$

где $P_{\text{кр}}(A_{\text{кр}})$ — перерабатывающая способность БО;

$U_{\text{сут}}^{\text{ТП}}$ — суточная интенсивность транспортного потока на подходах к БО;

$A_{\text{крmin}}, A_{\text{крmax}}$ — соответственно минимальные и максимальные значения из множества допустимых значений варьируемых параметров $A_{\text{кр}} = \{Z, t_{30}, H, m, K_{\text{рез}}\}$.

Соотношение (13) представляет собой функциональное ограничение, означающее, что весь проходящий через узел суточный объем транспортного потока должен быть обработан.

На основе анализа существующих методов решения многокритериальной задачи (11) — (13) был выбран метод определения оптимальных технико-экономических параметров, основанный на систематическом просмотре многомерных областей в пространстве параметров с использованием равномерно распределенных последовательностей. Метод дает возможность получить все множество Парето-оптимальных решений задачи (11) — (13), из которого проектировщик сможет выбрать удовлетворяющее его решение в зависимости от имеющихся ограничений на ресурсы или технологических ограничений.

Эффективность функционирования БО определяется на основе двух показателей — себестоимости обработки одного автомобиля и рентабельности БО.

Себестоимость обработки внешних и транзитных транспортных потоков, а также выполнение распределительных и консолидирующих функций является обобщающим показателем качества работы БО. В нем отражены конкретные условия работы БО, техническое оснащение, технология и организация распределительных и консолидирующих работ.

Эффективность функционирования БО в качестве системообразующих элементов определяет эффективность всей проектируемой ТРС. На основе приведенных показателей экономической эффективности и критериев оптимальности задачи создания и эксплуатации базовых объектов ТРС были определены пять критериев оценки для методики выбора наиболее эффективного варианта реализации структуры ТРС: 1) критерий суммарных приведенных издержек на создание и функционирование ТРС; 2) критерий общего объема необходимых инвестиций; 3) критерий затрат на переработку транспортного потока; 4) критерий транспортных издержек; 5) критерий общей рентабельности системы. Выделенные критерии оценки эффективности структуры ТРС охватывают основные показатели эффективности функционирования ТРС и позволяют на основе объективных данных выбрать наиболее рациональный вариант реализации структуры ТРС.

Литература

1. Прокофьева Т.А. *Логистика транспортно-распределительных систем: региональный аспект* / Т.А. Прокофьева, О.М. Лопаткин. М.: РКонсульт, 2003. 400 с.
2. *Перевозка экспортно-импортных грузов. Организация логистических систем* / Под ред. А.В. Кириченко. СПб.: Питер, 2004. 506 с.
3. Сергеев В.И. *Логистика в бизнесе*. М.: ИНФРА-М, 2001. 608 с.
4. *Транспортный комплекс Хабаровского края: современное состояние, проблемы, перспективы: Монография* / Под ред. С.А. Зражевского, А.С. Балалаева, В.И. Савченко. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. 202 с.
5. Ефремов А.В., Радченко В.П. *Моделирование процесса создания транспортно-логистических систем // Моделирование. Теория, методы и средства: Матер. V Междунар. науч.-практ. конф. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2005. С. 17 — 20.*
6. Ефремов А.В. *Определение точек сгущения грузопотоков на основе сетевых методов // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды I всерос. науч. конф. Самара: Изд-во СамГТУ, 2004. С. 82 — 86.*
7. Смехов А.А. *Основы транспортной логистики*. М.: Транспорт, 1995. 197 с.
8. Сибиряков Д.В., Юрченко С.А. *Задачи на графах и их решение с помощью алгоритма Форда — Фалкерсона: Учеб.-метод. пособие*. Воткинск: ИМИ Боткинский филиал, 1993. 37 с.
9. Усков Н.С., Рубанова И.Н. *Логистическое моделирование систем транспортного обслуживания // Бюллетень транспортной информации*. 2003. № 4. С. 25 — 36.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В общем объеме перевозок грузов всеми видами транспорта в Свердловской области на долю автомобильного в 2004 — 2008 гг. приходилось от 29 до 33% [1, 2], что говорит о значимости этого вида транспорта для нашего региона.

Объемы перевозок грузов автотранспортом за первые четыре года практически не менялись и составляли в среднем 116 — 118 млн т при возрастающем грузообороте с 2 457 до 2 825 млн т·км, или 15%, за счет увеличения дальности перевозки. Значительная корректировка показателей произошла в 2008 г. на фоне общемировых кризисных явлений: объем перевозок грузов равнялся лишь 91,7 млн т (снижение по сравнению с предыдущим годом на 22%), но вместе с тем вырос грузооборот — до 3 426,3 млн т·км (на 24% относительно предыдущего года), что объясняется опять же увеличением средней дальности перевозки 1 т груза на 60%.

В 2008 г. объем перевозок грузов автотранспортными организациями (АТО) Свердловской области всех форм собственности на коммерческой основе составил 30,1 млн т, грузооборот 2 066,6 млн т·км, что составило соответственно 123,8% и 178,4% к уровню 2007 г. [3]. Из года в год увеличивается доля присутствия на рынке грузовых перевозок предпринимателей — физических лиц. По разным оценкам она составила в 2008 г. от 20 до 24% объема перевозок и 60 — 70% грузооборота АТО Свердловской области.

По данным Управления ГИБДД ГУВД Свердловской области, по состоянию на 1 января 2009 г. в собственности организаций и граждан в регионе насчитывалось 1 248,6 тыс. единиц автотранспорта, в Екатеринбурге — 578,7 тыс. [4]. Из этого количества грузовые автомобили составили соответственно 147,3 (11,8%) и 63 тыс. единиц (10,9%). Ежегодно парк грузовых автомобилей за 2004-2007 гг. прирастал на 7 — 9% по области и на 13 — 20% в Екатеринбурге (наибольший показатель характерен для 2007 г.), но в 2008 г. по области был зафиксирован рост на 2,4%, а в Екатеринбурге снижение на 2,5%.

В собственности граждан и предпринимателей — физических лиц занимающихся коммерческими перевозками грузов, на данный момент находится порядка 56% от общего количества грузового автотранспорта. На этом фоне идет дальнейшее снижение числа грузовых автомобилей в крупных и средних организациях всех видов деятельности. На конец 2008 г. их грузовой автопарк насчитывал 20,5 тыс. единиц (14% от общего количества по области). Это в 4,2 раза меньше, чем количество грузовых автомобилей, находящихся в собственности граждан и предпринимателей — физических лиц. Около 1/3 парка организаций приходилось на металлургическое и машиностроительное производства Среднего Урала как основу экономики региона [5, 6].

Анализ грузового автотранспорта организаций показывает, что по типу кузова преобладают бортовые автомобили — 33%, самосвалы — 28% и фуруны — 21% (всего 82% на конец 2008 г.); по показателю грузоподъемности малотоннажные (до 3 т) составляют 23%, среднетоннажные (3 — 7 т) — 39%, крупнотоннажные (более 7 т) — 38%; по времени эксплуатации

доля новых автомобилей (до 2 лет) — 11%, старых (свыше 13 лет) — 42%, что говорит о слабом обновлении парка.

При рассмотрении характерного состава грузовых автомобилей, находящихся в собственности граждан и предпринимателей — физических лиц, по типу кузова присутствуют те же позиции, но в следующем порядке по мере уменьшения: фуруны — 32%, бортовые автомобили — 20%, самосвалы — 18%, седельные тягачи — 14% (всего 84%); по грузоподъемности: малотоннажные — 57%, среднетоннажные — 25%, крупнотоннажные — 18%, что свидетельствует о приоритете в малом бизнесе автомобилей грузоподъемностью до 3 т; по времени эксплуатации: новые — 30%, старые — 22%. Необходимо отметить, что приведенные цифры базируются на экспертных оценках, поскольку конкретных сведений не имеет ни Управление ГИБДД Свердловской области, ни территориальный орган ФСГС по Свердловской области.

Взаимосвязь между деятельностью автотранспортной системы и экономическим уровнем развития региона можно выразить через показатель валового регионального продукта (ВРП), с одной стороны, и показателями, характеризующими состояние транспортной системы, с другой стороны [7]. Зависимость между рассматриваемыми показателями, а также влияние грузового автотранспорта на макроэкономическое состояние региона могут быть использованы в целях долгосрочного прогнозирования развития автотранспортной системы. С этой целью в соответствии с методикой НИИАТ используется интегральный показатель состояния автотранспортной системы (САТС), учитывающий характеристики, приводимые в органах государственной статистики. К таким характеристикам относятся: объем грузовых перевозок (ОГП), плотность автомобильных дорог (ПАД), объем пассажирских перевозок (ОПП), число ДТП (ЧДТП). Количественные оценки приоритетных направлений развития автотранспортной системы региона дают возможность численно определить степень влияния каждого из вышеперечисленных факторов. Так, наиболее значимым фактором является объем грузовых перевозок, который в большей мере характеризует уровень развития экономики региона. В целом выражение определения интегрального показателя САТС по методике НИИАТ (экспертной методике) выглядит следующим образом [7]:

$$\text{САТС} = 0,406\text{ОГП} + 0,198\text{ПАД} + 0,292\text{ОПП} - 0,105\text{ЧДТП}. \quad (1)$$

Поскольку в приведенном выражении находятся разные по характеру и единицам измерения факторы, применяются нормированные (относительные) показатели, полученные путем деления фактического показателя за рассматриваемый период на значение соответствующей величины за предыдущий период.

Однако метод экспертных оценок, который был использован в методике НИИАТ при определении интегрального показателя САТС,



может дать не совсем точные результаты, так как в значительной степени зависит от субъективизма экспертов. В связи с этим в Воронежской ГЛТА сделана попытка применить методы математической статистики для решения уравнения (1) в общем виде

$$САТС = \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad (2)$$

где x_i — величина показателя;
 m_i — оценка величины влияния показателя;
 n — количество показателей.

Для этого выражение (2) принято за уравнение многофакторной линейной регрессии, где факторами является система выбранных показателей. Применение предлагаемой методики позволило получить следующие значения оценочных коэффициентов для расчета интегрального показателя САТС [8]:

$$САТС = 0,670ПП + 0,23ПАД + 0,49ОПП - 0,41ЧДТП. \quad (3)$$

Выполненные расчеты по определению интегрального показателя САТС для Свердловской области по выражениям (1) и (3) сведены в табл. 1, где приводится и прирост ВРП [9].

Таблица 1 — Оценка состояния автотранспортной системы Свердловской области в 2004 — 2008 гг., определенная по методике НИИАТ и методике ВГЛТА

| № п/п | Показатель | Год | | | | | |
|-------|--|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | |
| 1 | Объем грузовых перевозок (ОГП), млн т: | факт. | 116,9 | 114,5 | 116,7 | 117,5 | 91,7 |
| | | нормир.* | 0,394 | 0,397 | 0,414 | 0,411 | 0,316 |
| | | нормир.** | 0,650 | 0,656 | 0,682 | 0,675 | 0,523 |
| 2 | Плотность автомобильных дорог (ПАД), км/1000 км ² : | факт. | 57,0 | 57,2 | 57,4 | 58,4 | 61,3 |
| | | нормир.* | 0,199 | 0,199 | 0,199 | 0,200 | 0,208 |
| | | нормир.** | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,233 | 0,241 |
| 3 | Объем пассажирских перевозок (ОПП), млн чел.: | факт. | 680,4 | 607,9 | 574,6 | 538,3 | 525,2 |
| | | нормир.* | 0,288 | 0,261 | 0,276 | 0,274 | 0,285 |
| | | нормир.** | 0,484 | 0,438 | 0,463 | 0,459 | 0,478 |
| 4 | Число дорожно-транспортных происшествий (ЧДТП), ед.: | факт. | 9402 | 9378 | 9002 | 8506 | 7381 |
| | | нормир.* | 0,117 | 0,105 | 0,101 | 0,099 | 0,091 |
| | | нормир.** | 0,458 | 0,409 | 0,394 | 0,387 | 0,356 |
| 5 | Интегральный показатель САТС: | нормир.* | 0,765 | 0,857 | 0,889 | 0,920 | 0,718 |
| | | нормир.** | 0,907 | 0,916 | 0,983 | 1,028 | 0,886 |
| | | факт. | 364 369 | 475 576 | 655 027 | 825 036 | 784 062 |
| 6 | Валовой региональный продукт, млн руб. | | | | | | |

Примечания: нормир.* — по методике НИИАТ; нормир.** — по методике ВГЛТА.

Полученные значения интегрального показателя САТС в условных единицах по двум уравнениям (1) и (3) представлены в виде графиков в совместном построении с графиком ВРП (рис. 1).

Рассматривая факторы, являющиеся составными частями при определении интегрального показателя САТС, предлагается при оценке влияния развития автотранспортной системы на экономическое состояние региона взять за основу работу грузового автотранспорта. Так, если проанализировать объем пассажирских перевозок за 2004 — 2008 гг. по фактическому показателю

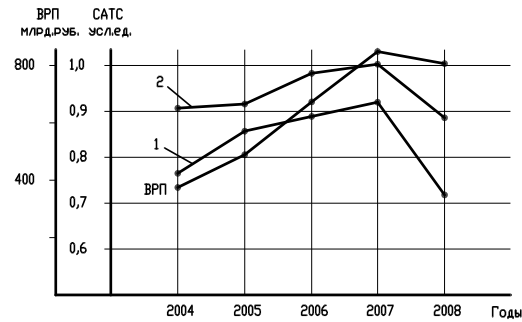


Рисунок 1 — Интегральный показатель САТС и объем ВРП в 2004 — 2008 гг.:

1 — по методике НИИАТ; 2 — по методике ВГЛТА

млн чел., явно наблюдается его снижение за 5 лет на 23% [1, 2]. Однако это не свидетельствует об уменьшении перемещений населения, просто они переходят на качественно новый уровень в связи со значительным ростом обеспеченности легковым автотранспортом. За этот же период парк легковых автомобилей Свердловской области вырос с 619,4 до 1 077,7 тыс. ед., Екатеринбурга — с 242,5 до 505,8 тыс. ед., т. е. в расчете на 1 000 человек для области — с 134 до 234,6 ед. (175%), для Екатеринбурга — с 190 до 374,3 ед. (197%). С работой грузового автотранспорта трудно увязать и такой фактор, как количество ДТП. Так, за последние два года по вине водителей грузовых автомобилей совершено всего лишь 5 — 6% от общего числа ДТП [1, 2].

Представляется более целесообразным наряду с факторами объема грузовых перевозок, грузооборота и плотности автомобильных дорог использовать при оценке развития экономики региона следующие показатели:

- общую численность парка грузовых автомобилей (ед.), из них долю автомобилей со сроком до 8 лет (%), отвечающих современным требованиям сервиса, безопасности, экологичности, топливной экономичности;
- количество грузовых автомобилей, приходящееся на 1 000 человек;
- коэффициенты использования подвижного состава и пробега [8].

В плане применения большого количества факторов при определении состояния автотранспортной системы региона заслуживает внимание метод ранжирования, широко распространенный при выборе подвижного состава [10]. Суть его заключается в определении количества показателей (факторов), их упорядочении по значимости с учетом экспертных оценок, приравнивании лучшего значения каждого показателя единице, деленной на значимость фактора, с последующим определением остальных и, наконец, в суммировании полученных нормируемых значений показателей по годам. В пользу такого подхода говорит признание развития автомобильного транспорта довольно неоднородным процессом, что требует более детального анализа, чем приведенные регрессионные уравнения (1) и (3).

Положительным моментом метода ранжирования следует считать определение нормируемых значений показателей не в сравнении с предыдущим годом, а в сравнении с лучшим показателем за рассматриваемый период.

Рассчитанные значения интегрального показателя САТС для Свердловской области методом ранжирования сведены в табл. 2.

Таблица 2 — Оценка состояния автотранспортной системы Свердловской области в 2004 — 2008 гг., определенная методом ранжирования

| № п/п | Показатель | Год | | | | |
|-------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| 1 | Объем грузовых перевозок, млн т: | | | | | |
| | факт. нормир. | 116,9 0,995 | 114,5 0,974 | 116,7 0,993 | 117,5 1,000 | 91,7 0,761 |
| 2 | Грузооборот, млн т-км: | | | | | |
| | факт. нормир. | 2457 0,444 | 2482 0,449 | 2579 0,467 | 2764 0,500 | 2426 0,439 |
| 3 | Коэффициент использования пробега: | | | | | |
| | факт. нормир. | 0,512 0,333 | 0,505 0,328 | 0,510 0,332 | 0,512 0,333 | 0,503 0,327 |
| 4 | Плотность автомобильных дорог, км/1000 км ² : | | | | | |
| | факт. нормир. | 57 0,245 | 57,2 0,246 | 57,4 0,247 | 58,4 0,250 | 61,3 0,262 |
| 5 | Численность парка грузовых автомобилей всего, ед.: | | | | | |
| | факт. нормир. | 126,6 0,172 | 123,1 0,167 | 122 0,179 | 143,8 0,195 | 147,3 0,200 |
| 6 | Доля автомобилей не старше 8 лет, %: | | | | | |
| | факт. нормир. | 28,5 0,13 | 29,2 0,134 | 30,3 0,139 | 32,5 0,149 | 36,5 0,167 |
| 7 | Коэффициент использования автомобилей: | | | | | |
| | факт. нормир. | 0,38 0,103 | 0,41 0,111 | 0,45 0,121 | 0,51 0,138 | 0,53 0,143 |
| 8 | Количество грузовых автомобилей, ед./1000 чел.: | | | | | |
| | факт. нормир. | 28,6 0,106 | 27,9 0,104 | 30 0,112 | 32,7 0,122 | 33,6 0,125 |
| 9 | Интегральный показатель САТС, усл. ед. | 2,528 | 2,513 | 2,590 | 2,662 | 2,424 |

Рассчитанные значения интегрального показателя САТС построены в виде графика с последующим построением графика производства ВРП (рис. 2).

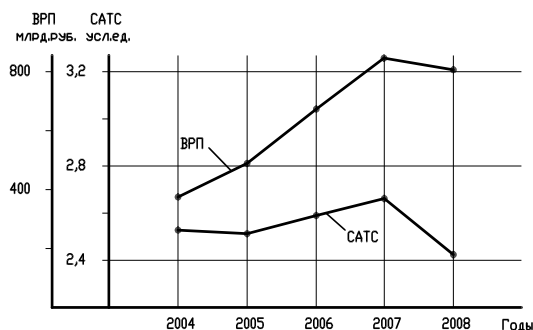


Рисунок 2 — Интегральный показатель САТС и объем ВРП в 2004 — 2008 гг. (метод ранжирования)

Анализируя табл. 1 и 2 и соответственно графики на рис. 1 и 2, можно увидеть, что в первом и втором случае существует достаточно высокая корреляционная связь между развитием автотранспорта и объемом ВРП. Указанная взаимозависимость действует на уровне не только региона, но и отдельных субъектов хозяйствования. Это позволяет количественно оценить влияние тех или иных факторов, определяющих состояние автотранспортной системы, выявить перспективные направления в различных экономических условиях. Наглядный пример тому — показатели кризисно-го 2008 г.

Литература

1. *Транспорт в Свердловской области 2009: Статистический сборник / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2009. 80 с.*
2. *Состояние и развитие транспорта в Свердловской области: Информационная записка / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2007. 21 с.*
3. *Работа грузового автотранспорта в Свердловской области в январе-декабре 2008 и 2007 годов: Экспресс-информация / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2008. 4 с.*
4. *Наличие автотранспорта в Свердловской области и г. Екатеринбург: Экспресс-информация / УГИБДД ГУВД Свердловской области. Екатеринбург, 2009. 10 с.*
5. *Автотранспорт крупных и средних организаций Свердловской области в 2007 году: Статистический бюллетень / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2009. 29 с.*
6. *Автотранспорт крупных и средних организаций Свердловской области в 2007 году: Статистический бюллетень / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2008. 32 с.*
7. *Пеньшин Н.В. Государственное регулирование автотранспортной деятельности в регионе: Монография / Н.В. Пеньшин, В.П. Бычков. М.: Академический проект, 2007. 192 с.*
8. *Автомобильный транспорт. Корректировка схемы развития и размещения производительных сил Свердловской области на период до 2015 года: Пояснительная записка / ОАО «Екатеринбургский Гипроавтотранс». Екатеринбург, 2006. 58 с.*
9. *Свердловская область в 2004-2008 годах: Статистический сборник / Территориальный орган ФСГС по Свердловской области. Екатеринбург, 2008. 254 с.*
10. *Нуретдинов Д.И. Методика выбора типа подвижного состава для автотранспортного предприятия по технико-экономическим критериям: Дис. ... канд. техн. наук / М.: Российская гос. библиотека, 2006. 147 с.*

ВЫБОР МЕТОДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕЗОК В МАГИСТРАЛЬНЫЕ НЕФТЕПРОВОДЫ

Одной из актуальных и сложных проблем эксплуатации магистральных нефтепроводов (МН) является обнаружение несанкционированных врезок и утечек, предотвращение хищений нефти из МН.

К настоящему времени для обнаружения врезок и утечек разработано большое количество пассивных методов, основанных на различных физических законах и явлениях [1]. Это, например, метод понижения давления с фиксированной или скользящей уставкой, метод отрицательных ударных волн, метод сравнения расходов, радиоактивный метод, ультразвуковой метод, метод перепада давлений, метод вихревых токов, визуальный метод. Однако ни один из них не позволяет оперативно обнаруживать несанкционированные врезки в момент их осуществления, не обеспечивает необходимой достоверности и точности результатов.

Акустические (система обнаружения повреждений трубопроводов «Капкан», система охраны нефтепровода от несанкционированной врезки «Магистраль», система охраны газо- и нефтепроводов WavAlert, геофонная система фирмы Magal) и интерферометрические методы не удовлетворяют прежде всего требованиям надежности в эксплуатации (из-за большого количества акустических или сейсмических датчиков), помехозащищенности и достоверности получаемых результатов. Радиолокационные методы подповерхностного зондирования не являются дистанционными и не всегда эффективны, поскольку отрезки и диаметры врезок много меньше диаметра и массы нефтепровода.

Поэтому построение системы дистанционного обнаружения места проведения несанкционированных работ (криминальных врезок) на МН с требуемой для практики точностью и надежностью в режиме реального времени остается актуальной задачей.

В данной статье рассматривается возможность построения системы мониторинга МН, использующей метод активной радиолокации широкополосными сигналами, который до настоящего времени не применяется на трубопроводном транспорте. Методы радиолокации широко используются для обнаружения и распознавания воздушных или наземных объектов и могут быть применены на МН.

Утечка сопровождается целым рядом изменений физико-технического состояния трубопровода и пространства вблизи места ее появления. Возникает характерный акустический шум, изменяются давление и скорость потока перекачиваемого продукта, потребляемая мощность перекачивающих агрегатов. Изменяются температура, магнитное поле и электропроводность грунта в зоне выхода продукта из трубопровода и др. В связи с этим, используя различные принципы регистрации изменений тех или иных параметров, сопутствующих утечкам, разрабатывают большое число систем эксплуатационного контроля за техническим состоянием трубопроводов.

Общие требования к системам обнаружения утечек и дефектов можно сформулировать следующим образом: максимальная точность обнаружения малых повреждений; оперативность обнаружения крупных утечек; непрерывность контроля во всем диапазоне режимов работы трубопровода; окупаемость затрат на стадиях создания и эксплуатации системы контроля; обеспечение возможности локализации места аварии; прогнозирование состояния трубопровода и последствий аварий. На практике именно эти параметры имеют преобладающее значение.

Систему мониторинга МН предлагается построить на принципах распознавания объектов и явлений, которые используются в большинстве радиолокационных систем. Разработка системы распознавания связана с решением ряда задач.

Первая задача состоит в максимально подробном и тщательном изучении распознаваемых объектов. Цель такой работы состоит в том, чтобы уяснить, каковы особенности изучаемых объектов или явлений, что роднит и отличает их друг от друга. В нашем случае изучаемым объектом является врезка в МН, которая неизбежно изменяет характеристики канала распространения зондирующего сигнала и, как следствие, оставляет свой след в отраженном сигнале.

В случае радиолокационных систем типичной является схема, представленная на рис. 1.

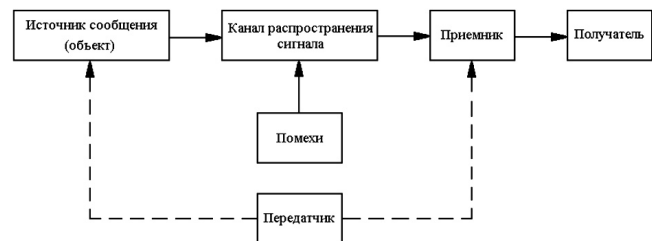


Рисунок 1 — Радиолокационная станция зондирования трубы

Источником сообщения служит объект (врезка в нефтепровод, вскрытие грунта над трубой, повреждение изоляции трубы и т. д.), параметры которого надо определить и классифицировать (распознать) его как несанкционированное воздействие.

На входе устройства выделения отраженной волны смесь зондирующего и отраженного сигналов и помех $E(t, X, Y, Z)$ является функцией не только времени, но и пространственных координат (в общем случае — трех координат X, Y и Z положения объекта). Роль выходного устройства (получателя)

может выполнять человек, распознающий объект, или какое-либо техническое устройство распознавания, например электронная вычислительная машина.

Задача приемника выделить полезный сигнал, несущий информацию об объекте.

Используя математическую обработку полученного сигнала, можно получить информацию о возникновении неоднородности (врезки) и ее координате.

Каналом распространения в нашем случае является МН. Возможны два способа организации канала распространения сигнала по трубе — по внутренним и по внешним стенкам.

В первом способе каналом распространения сигнала служит внутреннее пространство трубы, что позволяет рассматривать канал распространения как круглый волновод.

Во втором способе изолированная от земли труба нефтепровода может служить каналом распространения сигнала как коаксиальная длинная линия, центральным проводником которой является труба, а внешним проводником — земля.

Выбор канала распространения зондирующего сигнала — важный момент для проектирования системы в целом. Проводить исследования для обоснования этого выбора на реальном нефтепроводе затруднительно и эко-

номически нецелесообразно. Имеется возможность сделать выбор, используя физические и компьютерные модели объекта изучения.

Для проведения исследований по распространению широкополосных сигналов по внутренним стенкам трубы была построена физическая модель магистрального нефтепровода (рис. 2).

Экспериментальный стенд представляет собой трубопровод, состоящий из определенного числа секций. Модель нефтепровода позволяет проводить испытания в статическом и динамическом режимах, для чего бак заполняется нефтью ($V = 100$ л), а насос с электроприводом служит для создания давления. С помощью резьбовой вставки со штырем на конце в штуцер рукава высокого давления можно имитировать врезку и наблюдать влияние проникновения штыря на отраженный сигнал. Разбиение трубопровода на секции позволяет производить имитацию врезки на разных расстояниях от излучающей секции.

Сравнение спектрограмм, полученных при появлении штыря на расстоянии 1 670 и 3 170 мм от возбуждающей секции, позволило рассчитать затухание СВЧ-волны в трубе физической модели, которое оказалось очень большим.

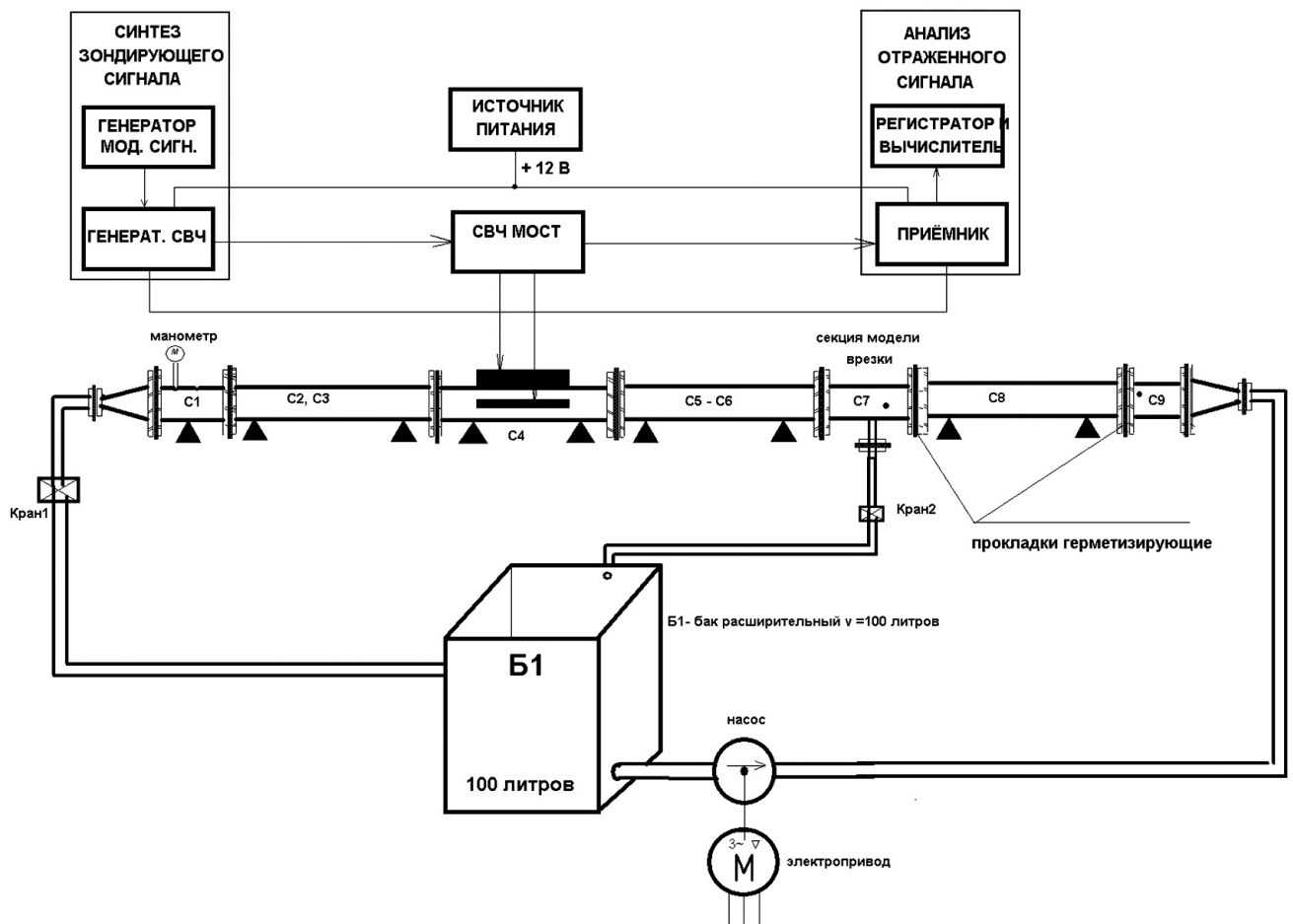


Рисунок 2 — Функциональная схема экспериментального стенда для исследования метода сканирования внутреннего пространства трубы на физической модели МН



Большое затухание СВЧ-волны в трубе, заполненной нефтью, вызвано комплексным характером диэлектрической проницаемости нефти на частотах свыше 100 МГц. Такое большое затухание волны позволяет системе охраны нефтепроводов, использующей метод сканирования широкополосными сигналами внутреннего пространства трубы, обнаруживать несанкционированные врезки в зоне нескольких сотен метров, что неприемлемо с практической точки зрения.

При моделировании канала распространения сигнала по внешним стенкам трубы использован пакет программ Microwave Office и метод масштабного моделирования. В качестве модели канала распространения взята многослойная полосковая структура. В такой структуре зависимость затухания сигнала от его частоты определяется проводимостью, диэлектрическими и магнитными свойствами слоев. Для параметров слоев эквивалентной коаксиальной линии, образованной нефтепроводом, рассчитана зависимость затухания сигнала от частоты (рис. 3). Масштабные коэффициенты размеров модели $KL = 0,001$ и $kf = 1000$.

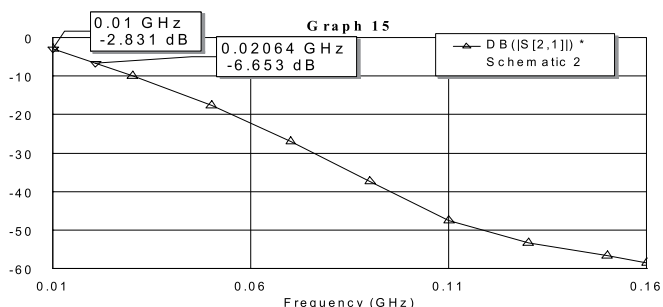


Рисунок 3 — Зависимость затухания от частоты для модели полосковой структуры

Чтобы проверить допустимость применения модели канала распространения по внешним стенкам трубы, рассчитаем зависимость затухания для нефтепровода как для коаксиальной линии. Коаксиальная линия состоит из проводника (трубы), слоя диэлектрика (изоляция трубы), бесконечной проводящей среды (земля), для которой комплексное волновое число линии KL определяется по формуле (1) [2]

$$KL = \left(\frac{\ln(c/a)}{\ln(b/a) + \ln(c/b)} \right)^{1/2} \times \left(1 + \frac{i}{k1 \cdot a \cdot \ln(c/a)} + \frac{H_0^{(1)}(k4 \cdot c)}{k4 \cdot c \cdot \ln(c/a) \cdot H_1^{(1)}(k4 \cdot c)} \right)^{1/2} k2. \quad (1)$$

В формуле (1) при расчетах приняты следующие обозначения:

- $a = 0,4$ м — радиус проводника;
- $b = 0,401$ м — радиус первого слоя изоляции;
- $c = 0,403$ м — радиус внешний для второго слоя диэлектрика;
- $k1 = (1+i)(\omega\mu1 \cdot g1/2)^{1/2}$ — волновое число проводника (трубы);

$k4 = \omega(\mu\epsilon4)^{1/2}(1+i \cdot g4/\omega\epsilon4)^{1/2}$ — волновое число среды с потерями (земли);

$k2 = \omega(\mu\epsilon2)^{1/2}(1+i \cdot g2/\omega\epsilon2)^{1/2}$ — волновое число слоя диэлектрика (изоляция);

$g4 = 0.05$ 1/Ом м — проводимость среды с потерями;

$Z = 450$ м — длина линии;

$g1 = 106$ 1/Ом м — проводимость металла;

$H_0^{(1)}(k4 \cdot c)$ — функция Ганкеля первого рода нулевого порядка;

$H_1^{(1)}(k4 \cdot c)$ — функция Ганкеля первого рода первого порядка;

$er2 = 2$ — относительная диэлектрическая постоянная первого слоя диэлектрика;

$er4 = 15$ — относительная диэлектрическая постоянная среды с потерями;

$\epsilon4 = \epsilon,4 \cdot \epsilon_0$ — абсолютная диэлектрическая постоянная среды с потерями;

$\epsilon2 = \epsilon,2 \cdot \epsilon_0$ — абсолютная диэлектрическая постоянная первого слоя диэлектрика;

$\mu1 = \mu_0\mu1$ — абсолютная магнитная проницаемость проводника;

$\mu1 = 1000$ — относительная магнитная проницаемость проводника;

$\mu = \mu_0$ — магнитная проницаемость диэлектриков и среды с потерями.

Определив волновое число KL по формуле (1), можно рассчитать зависимость тока в линии I от координаты x по формуле (2)

$$I(x) = e^{-(\text{Im}(KL) \cdot x)} \quad (2)$$

и затухание в линии L на расстоянии x от источника возбуждения по формуле (3)

$$L = 20 \lg(I(x)). \quad (3)$$

Таблица 1 — Затухание зондирующего сигнала на различных частотах

| f , кГц | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| L , дБ | -2,7 | -5,6 | -11,1 | -15,2 | -19,1 | -21,7 | -24,4 | -28,9 | -30,7 | -32 |

В табл. 1 приведены величины затухания на различных частотах, рассчитанные по формуле (3). Анализ этих величин позволяет сделать вывод, что использование полосковой структуры в электронной модели системы распознавания врезок вполне допустимо.

Реализация канала распространения по внешним стенкам трубы значительно проще, чем по внутренним, так как на всех стадиях формирования и обработки сигналов можно использовать цифровые методы [3]. Кроме того, подключение к трубе можно сделать с помощью анодного кабеля, идущего от станции катодной защиты к трубе, без дополнительных затрат.

Обобщенная структурная схема системы обнаружения врезок при зондировании нефтепровода широкополосным ЛЧМ включает в себя следующие элементы:



- устройство присоединения к трубе;
- устройство согласования передатчика и приемника с каналом распространения;
- направленный ответвитель для разделения зондирующих и отраженных сигналов;
- блок формирования зондирующих ЛЧМ-сигналов;
- устройство приема для фильтрации и преобразования сигнала;
- аналого-цифровой преобразователь для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму;
- устройство управления, предназначенное для декодирования команд и общей синхронизации работы системы;
- устройство цифровой обработки сигнала и обнаружитель, в которых производится согласованная фильтрация принятых сигналов и распознавание сигнала, отраженного от врезки, а не от естественной неоднородности, вычисляются необходимые параметры и, как правило, уменьшаются объем данных и скорость их поступления до величин, приемлемых для блока обработки данных;
- блок передачи данных на пульт дежурного службы безопасности;
- блок обработки данных, обеспечивающий управление системой и вычисление координаты обнаруженной врезки.

Для построения системы охраны нефтепроводов целесообразно использовать схему, позволяющую одним комплектом аппаратуры осуществлять сканирование труб нескольких параллельно расположенных нефтепроводов. Такая схема дает возможность существенно снизить затраты на охрану нефтепроводов от несанкционированных врезок.

Для увеличения зоны охраны нефтепровода одним комплектом необходимо:

- использовать АЦП с разрядностью не ниже 16, а также опорный генератор с кратковременной нестабильностью частоты не хуже 10^6 ;
- обеспечить термостабилизацию режимов работы наиболее важных узлов — приемника и направленного ответвителя;
- устанавливать контур заземления, к которому присоединяется устройство подключения, в непосредственной близости от трубы.

Литература

1. *Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов* / Г.В. Бахмат, Г.Г. Васильев, Ю.В. Богатенков; Под ред. Ю.Д. Земенкова. М.: Инфра-Инженерия, 2006. 928 с.
2. *Антенны в материальных средах* / Пер. с англ.; Р. Гинг, Г. Смит. М.: Мир, 1984. 824 с.
3. *Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов* / Пер. с англ.; Под ред. А.А. Бритова. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.



Константин Витальевич Константинов, канд. техн. наук, доцент (ДВГУПС, Хабаровск),
Александр Владимирович Дороничев, инженер (ДВГУПС, Хабаровск)

ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



Увеличение эффективности, надежности и ресурса, а также обеспечение безопасной эксплуатации машин и механизмов подвижного состава тесно связаны с необходимостью оценки их технического состояния. Самыми эффективными являются методы неразрушающего контроля, в частности вибродиагностика. Именно вибросигнал, обладая достаточно емкой информацией о работе агрегата и его элементов, может стать достоверным показателем его состояния.

В настоящее время в отрасли железнодорожного транспорта одной из самых распространенных разновидностей машин являются колесно-редукторные блоки и электродвигатели электровозов, оценка технического состояния которых производится на основе периодического контроля вибропараметров. Известно, что службы вибродиагностики в большинстве случаев применяют спектральный метод анализа вибросигналов, основанный на первичном Фурье-преобразовании. Наряду с неоспоримыми достоинствами это преобразование обладает и определенными недостатками: исходный сигнал заменяется на периодический, для всего исследуемого сигнала нестационарного процесса получаются усредненные коэффициенты. Все это затрудняет постановку диагноза, требует дополнительного применения вспомогательных методов или устройств. Особую сложность вызывает идентификация дефектов подшипниковых узлов на ранних стадиях и в процессе развития. Разрушение подшипников приводит к износу деталей ротора и в некоторых случаях — посадочных мест под подшипник. Очевидно, что в ходе технологического процесса выход из строя колесно-редукторного блока электровоза по вине дефектного подшипника может привести к аварийной ситуации, а также дополнительным затратам при ремонте. Поэтому своевременному выявлению возникновения и развития дефектов подшипников и, как следствие, предупреждению разрушения ходовой части локомотива и верхнего строения пути на железнодорожном перегоне на предприятиях железнодорожного транспорта придается особое значение.

Преыдущими исследованиями [1, 2] было доказано, что для оценки технического состояния подшипниковых узлов колесно-редукторных блоков и электродвигателей локомотивов может применяться инструмент дискретного вейвлет-преобразования, основанный на теории Фурье-преобразования.

Он позволяет достоверно определять такие дефекты, как выкрашивание, выбоины и усталостные разрушения поверхности, несоосность колец, раскалывание и раздробление деталей, повреждение сепаратора, а также прочие дефекты. Однако этот инструмент ранее не использовался для выявления конструктивных элементов подшипников колесно-редукторных блоков и электродвигателей локомотивов ввиду сложности их локализации в частотной области и сложности извлечения информации из «шума». В связи с этим актуальным является получение локальных особенностей сигналов и применение данного инструмента для выявления дефектов подшипников в различных узлах тягового подвижного состава.

Экспериментальные данные записаны в депо Смоляниново, Комсомольска-на-Амуре и Хабаровска с помощью стационарной системы вибрационной диагностики КПА-1В [3] ассоциации «ВиброАкустические системы и технологии» (ВАСТ) в разных климатических условиях. Комплекс программно-аппаратный КПА-1В представляет собой цифровой прибор, осуществляющий сбор и предварительную обработку сигналов вибрации, а также температуры, давления и прочих параметров при использовании соответствующих датчиков, сочетает в себе возможности мощного персонального компьютера и цифрового анализатора данных.

Основной задачей является диагностика и долгосрочный прогноз состояния колесно-редукторных блоков и колесных пар. В колесно-редукторном блоке диагностировались подшипники букс, подшипники и шестерни редуктора и подшипники электродвигателя. Диагностирование колесно-редукторных блоков осуществлялось непосредственно на локомотивах ЭП-1 и ВЛ-80 в процессе ежемесячного осмотра и обслуживания. Колесные пары тестировались на стендах со специальным электроприводом для их прокрутки путем вывешивания их на гидравлических домкратах и раскручивания до определенной частоты вращения.

После проведения измерений по всем колесным парам были выявлены существенные особенности диагностирования моторно-якорных блоков локомотивов, к которым можно отнести:

- невозможность воспроизводства при диагностических измерениях тех же режимов работы и особенно величины и направления нагрузки, при которых развиваются дефекты;
- нестабильность частоты вращения оборудования, вращаемого от собственного двигателя;
- высокую вероятность попадания инородных частиц в смазку во время эксплуатации, которые могут проявить себя лишь после смены режима работы, т. е. во время диагностирования в первых фазах режима прокручивания оборудования;
- невозможность длительного пребывания локомотива перед его прокруткой в одних и тех же климатических условиях, особенно в зимний период. В результате смазка в узлах трения при диагностировании имеет низкую температуру, в ней могут появляться относительно крупные твердые частицы, которые придают вибрации узла те же свойства, что и многие зарождающиеся дефекты. Чтобы избежать ложных тревог при диагностировании непрогретого оборудования, происходил 40-минутный прогрев подшипников колесных пар перед диагностированием;

- при вывешивании на гидравлических домкратах колесных пар непосредственно под локомотивом на 180° меняет направление нагрузки на наружное кольцо буксовых подшипников. Если подшипник имел зазор из-за износа поверхностей качения, то при прокручивании колесной пары в вывешенном колесно-редукторном блоке нагружаемая при эксплуатации часть наружного кольца не участвовала в формировании сил трения и дефект на ней не обнаруживался. Чтобы избежать пропуска такого дефекта в процессе диагностирования, лучше всего прокручивать колесно-редукторные блоки на катковом стенде, как это делается при диагностике автотранспорта.

Полученные сигналы вибраций в установленных точках записывались на базовый компьютер (рис. 1) и обрабатывались средствами программного модуля, построенного на традиционных математических методах обработки сигналов (спектр огибающей сигнала, прямой спектр, ударные импульсы, соотношение пик/фон вибросигнала).

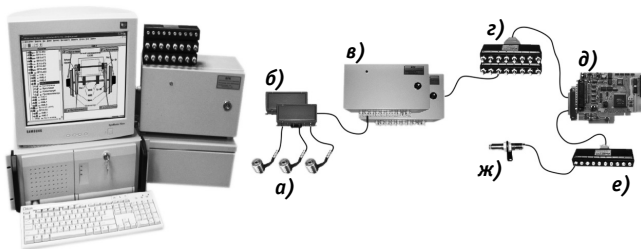


Рисунок 1 — Базовый компьютер, подключенный к комплексу КПА-1В.

В состав комплекса входит промышленный компьютер, принтер, источник бесперебойного питания и следующее специальное оборудование, согласно индивидуальной спецификации:

а — вибропреобразователи устанавливаются резьбовым креплением; б — соединительные коробки используются для подключения вибропреобразователей; в — к каждому из блоков преобразования и коммутации может быть подключено до 16 вибропреобразователей непосредственно или через соединительные коробки; г — вторичные блоки коммутации служат для подключения до 16 блоков преобразования и коммутации, расположенных в цеху; д — в компьютер устанавливаются специальные платы — модуль цифрового преобразования и модуль согласования; е — блоки коммутации датчиков оборотов позволяют подключать к комплексу до 20 датчиков; ж — датчик оборотов вихретоковой. Устанавливается стационарно на кронштейне или резьбе

Расширение диапазонов и характеристик средств измерений дает исследователю потенциальную возможность изучения таких параметров объектов, которые не могут быть исследованы с использованием традиционных математических методов обработки сигналов либо применение этих методов ограничивается возможностями средств регистрации. Обработка сигналов спектральными методами в последнее время оказывается малоэффективной для сжатия, распознавания, очистки сигналов от шума, получения диагностической информации и др. Как правило, ключевым вопросом современных приложений цифровой обработки является нестационар-

ность большинства реальных сигналов, которая, как известно, весьма ограничивает применение базисных функций, имеющих некомпактный носитель.

Применение вейвлет-анализа в данной статье описано с позиций использования его как инструмента, с помощью которого можно получить признаковое пространство для последующей разработки алгоритмов классификации вибросигналов. Результаты разработки эффективных алгоритмов классификации вибросигналов рассматриваются как составная часть алгоритмического обеспечения аппаратно-программного комплекса, предназначенного для изучения новых способов ранней диагностики технического состояния подшипника качения на начальном этапе развития дефектов. При этом ввиду разнообразия форм исследуемых сигналов, а также большого объема регистрируемых данных классификация вибросигналов по их форме имеет важное значение при автоматизации первоначального этапа сбора данных, выявления закономерностей и диагностических признаков и для эффективного подавления фоновых помех, сопровождающих процесс вибродиагностики. Выбор дискретного вейвлет-преобразования для решения задач классификации обусловлен универсальностью математического аппарата вейвлет-анализа, способностью его адаптироваться к форме сигнала, сходностью исследуемых сигналов с базисными функциями (вейвлетами).

Каждый сигнал вибрации в нашем случае можно представить на основе суммирования его грубого представления (a_1, a_2, a_3) с детализирующими (d_1, d_2, d_3) локальными представлениями сигнала в его разных местах [4]. Для реализации этой возможности существует ряд вейвлетов, относящихся к ортогональным. Их можно создать, базирясь на представлении пространства сигналов V в виде системы вложенных подпространств V_j , отличающихся друг от друга только перемасштабированием независимой переменной. Основанный на этом анализ называется кратномасштабным анализом (КМА). Кратномасштабное представление означает представление сигнала $s(t)$ последовательностью образов с разной степенью их детализации (d_1, d_2, d_3) . Созданию грубого образа сигнала служит функция $\phi(t)$

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \phi(2^{-j/2}t - k), \quad (1)$$

а уточнение этого образа достигается вейвлет-функцией или вейвлет-коэффициентами

$$s_j(t) = \sum_j c(j, k) \phi_{j,k}(t), \quad (2)$$

причем

$$\phi_{0,0}(t) = 2 \sum_k h_k \phi(2t - k), \quad (3)$$

где h_k — некоторая последовательность.

Основываясь на аппарате частотной фильтрации (пирамидальный алгоритм Малла) и методах быстрого вейвлет-преобразования (прореживания спектра вейвлетов по частоте) [2], частотную область вейвлетов разбили на две составляющие — низкочастотную и высокочастотную. Их частота раздела равна половине частоты дискретизации



сигнала. Для их разделения использовались два фильтра: низкочастотный L_0 и высокочастотный H_0 , к входам которых подключается сигнал s . Фильтр L_0 дает частотный образ для аппроксимации (грубого приближения) сигнала, а фильтр H_0 — для его детализации. Структура алгоритма приведена на рис. 2.

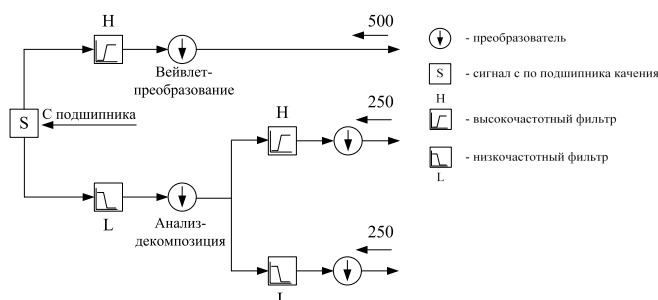


Рисунок 2 — Структура многошагового алгоритма Малла при декомпозиции сигнала

Главной особенностью теории вейвлет-преобразований является вывод о соответствии вейвлет-коэффициентов коэффициентам передаточной характеристики этих фильтров, т. е. коэффициенты фильтров H_i и L_0 являются детализирующими коэффициентами вейвлет-декомпозиции сигналов и их коэффициентами аппроксимации.

Поскольку фильтры передают только половину всех частотных компонент сигнала, то не попавшие в полосу прозрачности компоненты могут быть безболезненно удалены (операция «децимация»). Если просто сложить полученные на выходах фильтров сигналы, то получится исходный сигнал, т. е. будет полная реконструкция сигнала на ее начальном уровне.

Каждый ортогональный вейвлет имеет свой Фурье-образ. В ряде работ [5 — 7], включая описание пакета Wavelet Toolbox [2], было показано, что Фурье-образ $\hat{\psi}(\omega)$ можно представить реализацией двух фильтров: низкочастотного $H(\omega)$ и согласованного с ним высокочастотного фильтра

$$G(\omega) = -e^{-i\omega} \overline{H(\omega + \pi)}. \quad (4)$$

При этом Фурье-образ вейвлета имеет вид $\psi(2\omega) = G(\omega)\varphi(\omega)$. (5)

В пакете Wavelet Toolbox задан ряд свойств базовых фильтров $H(\omega)$ со следующими их характеристиками:

- фильтры имеют тип ФНЧ с импульсной характеристикой класса FIR (КИХ);
- длина вектора коэффициентов фильтра равна $2N$;
- сумма коэффициентов фильтра равна 1;
- норма вектора коэффициентов фильтра равна $1/\sqrt{2}$.

Для ортогональных вейвлетов возьмем быстрое вейвлет-преобразование (БВП) или алгоритм Малла. БВП осуществляется путем вычисления аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов по формулам:

$$a_{j+1,k} = \sum_m h_m a_{j,2k+m} \quad (6)$$

$$d_{j+1,k} = \sum_m g_m a_{j,2k+m}$$

при

$$a_{0,k} = \int f(t)\varphi(t-k)dt. \quad (7)$$

Коэффициенты фильтров при этом соответствуют приведенным ниже обозначениям:

| Тип фильтра | НЧ | ВЧ |
|---------------|----------|----------|
| Декомпозиция | L_0_D | H_0_D |
| Реконструкция | L_0_R | H_0_R |

Первый шаг алгоритма Малла поясняется следующей диаграммой вейвлет-декомпозиции сигнала:

$\rightarrow L_0_D \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow cA_1$ (коэффициенты аппроксимации уровня 1),
 $\rightarrow H_0_D \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow cD_1$ (детализирующие коэффициенты уровня 1).

Сигнал s подается на фильтры декомпозиции низких и высоких частот, после чего с помощью операции децимации $\downarrow 2$ (уменьшения числа частотных составляющих вдвое) получаем коэффициенты аппроксимации на выходе фильтра низких частот и детализирующие коэффициенты на выходе фильтра высоких частот. Далее этот алгоритм продолжаем по схеме:

$\rightarrow L_0_D \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow cA_{j+1}$ (коэффициенты аппроксимации уровня $j+1$),
 $\rightarrow H_0_D \rightarrow \downarrow 2 \rightarrow cD_{j+1}$ (детализирующие коэффициенты уровня $j+1$).

Мы получаем полный набор аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов, вплоть до уровня декомпозиции $j+1$. Это вейвлет-декомпозиция сигнала.

В результате этого процесса исходный сигнал s раскладывается на вейвлет-компоненты вплоть до заданного уровня декомпозиции. Рис. 3 показывает обычную диаграмму разложения (сверху вниз) сигнала s .

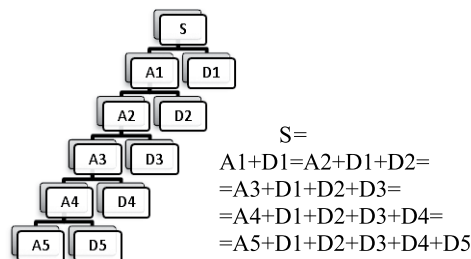


Рисунок 3 — Структура вейвлет-представления сигнала

На этой диаграмме коэффициенты аппроксимации сигнала обозначены как A , а детализирующие коэффициенты как D . Цифры указывают на уровень декомпозиции и реконструкции сигнала (нулевой уровень отдельно не указывается, это есть сам сигнал s). Диаграмму рис. 3 можно рассматривать как дерево декомпозиции сигнала.

Вернемся к средствам кратномасштабного вейвлет-анализа, который дает пакет расширения системы MATLAB 7.0.1 — Wavelet Toolbox. Этот пакет представляет собой мощную математическую компьютерную лабораторию, позволяющую выполнять все виды вейвлет-анализа как в командном режиме, так и с помощью средств интерфейса пользователя (GUI).

Данный пакет описан в [2, 4]. Мы рассмотрим полученный в нем результат рис. 4, который отображает проведение анализа и реконструкцию сложного сигнала.

Основой вейвлет-приближения одномерного сигнала s является получаемый в ходе прямого вейвлет-преобразования набор коэффициентов — аппроксимирующих a_i и детализирующих d_i (показаны коэффициенты с индексами i от 1 до 3). На рис. 4 первые представлены слева под временной зависимостью сложного сигнала, а вторые — справа. Сверху справа построена вейвлет-спектрограмма данного сложного сигнала с неисправного подшипника — cfs .

Порядок следования коэффициентов, дающий улучшение приближения, в данном пакете является ниспадающим; за нулевой уровень точной реконструкции сигнала принят сам сигнал. Чем меньше номера коэффициентов, тем ближе реконструированный сигнал к оригиналу.

Коэффициенты аппроксимации являются грубыми (сглаженными) копиями сигнала, тогда как детализирующие коэффициенты выделяют локальные особенности сигнала.

Проведённые исследования показали:

- применение дискретного вейвлет-преобразования для задач вибродиагностики достаточно эффективно, так как обеспечивается достаточное количество информативных признаков для обнаружения дефектов подшипников качения на самых ранних стадиях их развития;
- дополнение программно-аппаратного комплекса КПА-1В модулем вейвлет-преобразования позволит повысить достоверность результатов диагностики тяговых электрических машин за счёт выделения локальных особенности сигнала.

В целом применение дискретного вейвлет-преобразования для задач вибродиагностики достаточно эффективно, так как на основе приведенных примеров обеспечивается достаточное количество информативных признаков для обнаружения дефектов подшипников качения на самых ранних стадиях их развития.

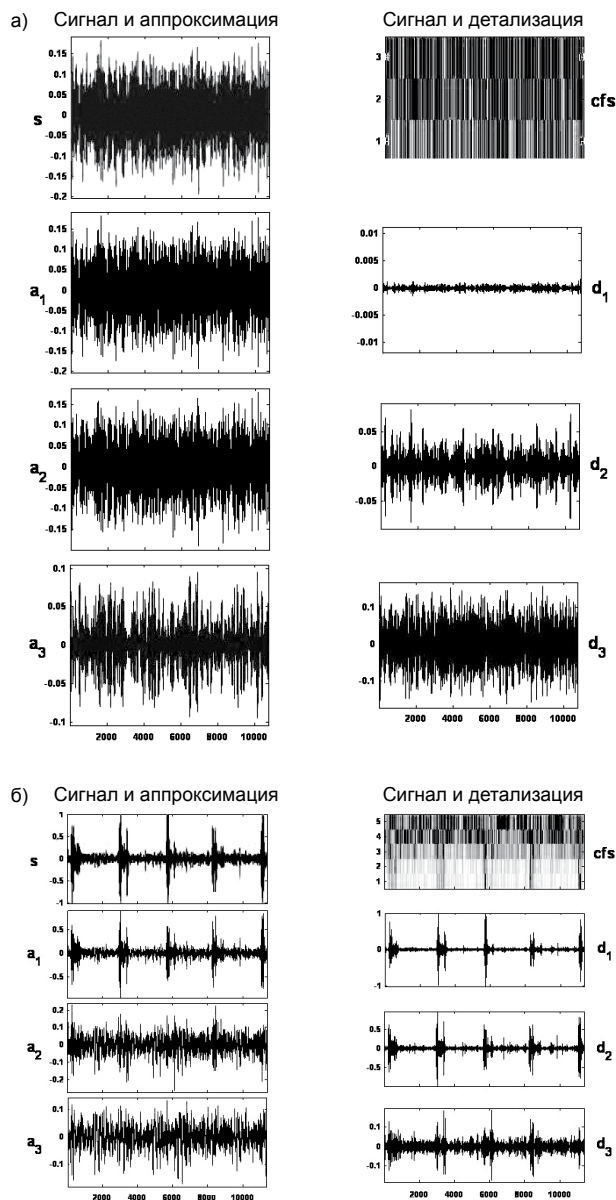


Рисунок 4 — Вейвлет-приближения для сложного сигнала: а — с исправного подшипника качения, полученного опытным путем в депо Хабаровск II; б — с дефектного подшипника качения, полученного опытным путем в депо Смоляниново

Литература

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002, 608 с.
2. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002.
3. <http://npovalentina.ru/catalog/dev/10134/>
4. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002.
5. Чуи К. Введение в вэйвлеты / Пер. с англ. М.: Мир, 2001.
6. Толстов Г.П. Ряды Фурье. М.: Наука, 1980.
7. Жуков А.И. Метод Фурье в вычислительной математике. М.: Наука, 1992.



Валерий Дмитриевич Авилов, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» (ОмГУПС), Андрей Владимирович Климович, канд. техн. наук (ОмГУПС), Александр Александрович Кообар, инженер (ОмГУПС), Алексей Сергеевич Лендясов, инженер (ОмГУПС)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ Поезда С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ДЛИНЕ ПАРАМЕТРОВ

Предложена методика расчета графика движения поезда по перевалистому профилю пути с учетом распределенных его параметров по длине. Методика основана на использовании аналитического решения дифференциального уравнения движения поезда для математической модели, в которой последний представляется материальной точкой. Выполнена сравнительная оценка результатов вычислений по предлагаемой методике.

Рекомендуемая действующими Правилами тяговых расчетов (ПТР) [1] методика расчета графика движения поезда по заданному участку основана на представлении последнего материальной точкой. По мнению большинства специалистов в теории тяги, такая математическая модель должна давать существенные погрешности при анализе движения поезда по перевалистому профилю пути.

Первая и, пожалуй, единственная доступная для инженерной практики методика расчета графика движения поезда с учетом распределенных параметров последнего была предложена Н.Е. Жуковским еще в 1919 г. [2]. В этой работе несомненный интерес представляет доказательство возможности выполнения расчетов зависимостей скорости и времени хода от пройденного пути по перевалистому профилю для поезда, рассматриваемого в виде нерастяжимой материальной нити, используя аналитические зависимости решения известного дифференциального уравнения движения поезда, записанного для математической модели, в которой последний представляется материальной точкой. Однако основные расчетные формулы этой методики были получены с существенными математическими допущениями, а погрешность расчетов, выполненных по данной методике, оценить практически невозможно. Для исключения указанных недостатков приведем дифференциальное уравнение к виду, позволяющему получить точное аналитическое решение.

В теории тяги полное сопротивление движению поезда принято разделять на основное W_0 и дополнительное W_d . К основному относят сопротивление движению поезда на прямом горизонтальном участке пути, образуемое из-за потерь энергии в различных элементах подвижного состава. Его величина зависит от скорости поезда, причем в соответствии с рекомендациями ПТР зависимость его удельного значения от скорости представляется в виде $\omega(v) = a_\omega + b_\omega v + c_\omega v^2$. К дополнительному сопротивлению относят силы, возникающие при движении поезда на уклонах и от кривизны пути и действующие временно, только в пределах определенных элементов плана и профиля пути. Значение удельного дополнительного сопротивления движению ω_k не зависит от скорости поезда и рассчитывается по рекомендациям ПТР.

Очевидно, что при движении поезда по участку с постоянным уклоном использование математической модели, в которой он представляется материальной точкой, не даст существенных погрешностей. Если удельную силу

тяги локомотива на конкретной ходовой позиции контроллера и удельную тормозную силу аппроксимировать параболками $f_k = a_f + b_f v + c_f v^2$ и $b_k = a_b + b_b v + c_b v^2$, то дифференциальные уравнения, описывающие движение поезда, можно представить в виде:

$$ds = \frac{v \cdot dv}{\zeta(a + bv + cv^2)}; \tag{1}$$

$$dt = \frac{dv}{\zeta(a + bv + cv^2)}, \tag{2}$$

где $a + bv + cv^2 = f_k - \omega(v) - \omega_k - b_k$ или $a = a_f - a_\omega - \omega_k - a_b$; $b = b_f - b_\omega - b_b$; $c = c_f - c_\omega - c_b$;
 s, t — координаты пройденного пути и времени движения поезда;

ζ — коэффициент, учитывающий размерность входящих в формулы физические величины и инерцию вращающихся частей.

Дифференциальные уравнения (1) и (2) имеют точные решения. Результат зависит от соотношения постоянных коэффициентов a, b и c . Если дискриминант квадратного трехчлена $b^2 - 4ac > 0$, могут быть получены следующие зависимости [3]:

$$s = \frac{V_1 \ln|v - V_1| - V_2 \ln|v - V_2|}{\zeta \sqrt{b^2 - 4ac}} + k_1; \tag{3}$$

$$t = \frac{1}{\zeta c (V_1 - V_2)} \ln \left| \frac{v - V_1}{v - V_2} \right| + k_2, \tag{4}$$

где V_1 и V_2 — соответственно больший и меньший корни уравнения $a + bv + cv^2 = 0$;

k_1 и k_2 — постоянные интегрирования.

Если дискриминант квадратного трехчлена $b^2 - 4ac = 0$, тогда уравнение $a + bv + cv^2 = 0$ будет иметь два равных корня

$V_1 = V_2 = W = -\frac{b}{2c}$. В этом случае решениями дифференци-

альных уравнений (1) и (2) при постоянных интегрирования k_3 и k_4 будут следующие выражения:

$$s = \frac{1}{\zeta c} \left(\ln|v - W| - \frac{W}{v - W} \right) + k_3; \tag{5}$$

$$t = \frac{1}{\zeta c(v - W)} + k_4, \quad (6)$$

В случае если дискриминант квадратного трехчлена $b^2 - 4ac < 0$, уравнение $a + bv + cv^2 = 0$ не имеет корней. Тогда после взятия интегралов получаем следующие зависимости (k_5 и k_6 — постоянные интегрирования) пройденного поездом пути и времени от скорости:

$$s = \frac{1}{2\zeta c} \ln|a + bv + cv^2| - \frac{b}{\zeta cd} \arctg\left(\frac{2cv + b}{d}\right) + k_5; \quad (7)$$

$$t = \frac{2}{\zeta d} \arctg\left(\frac{2cv + b}{d}\right) + k_6, \quad (8)$$

где

$$d = \sqrt{4ac - b^2}. \quad (9)$$

Отметим важную особенность полученных решений. При положительном дискриминанте квадратного трехчлена $b^2 - 4ac > 0$ величина d , рассчитанная по формуле (9), будет комплексной. В этом случае расчет искомых значений s и t по формулам (7) и (8) в комплексной форме полностью совпадет с решением задачи, выполненным по формулам (3) и (4). Данное обстоятельство легко доказывается, если взять первые производные по скорости для выражений (7) и (8). Таким образом, можно считать, что дифференциальные уравнения (1) и (2) при дискриминанте квадратного трехчлена $b^2 - 4ac \neq 0$ имеют одно общее решение (7) и (8), что является удобным при разработке соответствующего программного обеспечения. Случай, когда дискриминант квадратного трехчлена $b^2 - 4ac = 0$, является исключительным и при случайном характере величины (и зависимости от скорости соответственно) основного сопротивления движению поезда практически не возникает.

Точность результата расчета графика движения поезда по приведенным формулам зависит исключительно от точности аппроксимации тяговых характеристик локомотива и удельной тормозной силы параболлами $f_k = a_f + b_f v + c_f v^2$ и $b_k = a_b + b_b v + c_b v^2$. Практика расчетов показала, что для отдельных позиций контроллера, учитывая скоростной диапазон их использования машинистами, вполне достаточно одной указанной зависимости. Удельную тормозную силу поезда желательно представлять двумя параболлами для скоростей 1 — 40 и 40 — 80 км/ч соответственно.

Рассмотрим движение поезда по перевалистому профилю пути (рис. 1). При этом будем считать, что выбранная машинистом позиция контроллера не изменяется. Погонной массой будем называть массу, приходящуюся на один метр длины поезда, т. е. $\mu = \frac{m_{п}}{l_{п}}$.

При расположении поезда на трех уклонах изменение дополнительного сопротивления движению будет происходить только у головной (длиной l_x) и хвостовой (длиной l_r) его частей. Для момента, показанного на рис. 1, дополнительное удельное сопротивление движению будет

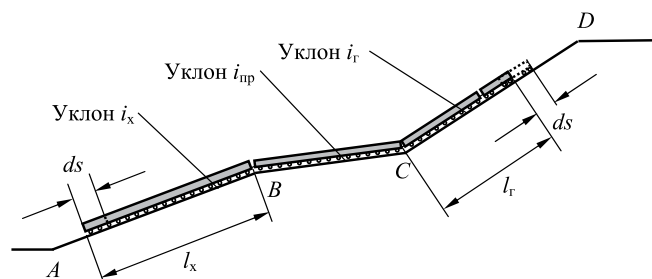


Рисунок 1 — Расчетная схема движения поезда по перевалистому профилю пути

$$\omega'_k = \frac{\mu l_x i_x}{m_{п}} + \frac{\mu l_{BC} i_{п}}{m_{п}} + \frac{\mu l_r i_r}{m_{п}}.$$

После прохождения пути длиной ds дополнительное удельное сопротивление движению изменится и станет

$$\omega''_k = \frac{\mu (l_x - ds) i_x}{m_{п}} + \frac{\mu l_{BC} i_{п}}{m_{п}} + \frac{\mu (l_r + ds) i_r}{m_{п}}.$$

Таким образом, среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению поезда в пределах шага ds будет

$$\begin{aligned} \omega_{cpk} &= \frac{\omega'_k + \omega''_k}{2} = \frac{\mu l_x i_x}{m_{п}} + \frac{\mu l_{BC} i_{п}}{m_{п}} + \frac{\mu l_r i_r}{m_{п}} + \frac{\mu (ds i_r - ds i_x)}{2\mu l_{п}} = \\ &= \omega'_k + \frac{(i_r - i_x) ds}{2l_{п}}. \end{aligned} \quad (10)$$

В соответствии с выражением (10) среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению в пределах шага ds зависит только от величины уклонов, по которым движутся головная и хвостовая части поезда, и выбранного шага. И так будет продолжаться до тех пор, пока голова или хвост поезда не достигнут нового уклона. Отсюда следует, что для получения корректного результата при расчете графика движения поезда по перевалистому профилю следует отдельно рассматривать элементы пути, по которым этот поезд перемещается между моментами прохождения его головы или хвоста точек сопряжения соседних уклонов.

Предлагается следующая методика расчета зависимостей $v = f_1(s)$ и $t = f_2(s)$ при движении поезда по элементу пути, оговоренному выше. Рассматриваемый элемент пути разбивается на определенное число шагов из условия получения требуемой точности вычисления. В пределах каждого шага значение дополнительного удельного сопротивления движению поезда принимается постоянным и определяется по выражению (10). Используются формулы (7) и (8) для расчета v и t в конце шага. При этом постоянные интегрирования k_1 и k_2 определяются из граничных условий в начале шага. Так как зависимость (7) обратная, расчет скорости в конце шага приходится выполнять численными методами (итераций или последовательных приближений). Опыт показал, что иско-



мый результат с ошибкой менее 0,1% достигается максимум на третьем цикле.

Проверка рассмотренной методики и сравнение результатов с расчетом, выполненным для математической модели, в которой поезд представляется материальной точкой, выполнялись для участка пути, состоящего из площадки, крутого спуска (— 8‰) и крутого подъема (12‰). Основное удельное сопротивление движению грузового поезда массой 6 000 т длиной 1 000 м, ведомого электровозом ВЛ-10 (184 т), определялось по рекомендованной [1] методике. Рассматривалось движение поезда по площадке и спуску в режиме выбега, а по подъему — в режиме тяги на ходовой позиции контроллера машиниста, соответствующей ослаблению поля ОП-3 при параллельном соединении тяговых двигателей. Формально построенные графики движения поезда представлены на рис. 2а. Была проверена чувствительность результата расчета по рассматриваемой методике от величины выбираемого шага ds . Оказалось, что при $ds < 100$ м результат практически не изменяется.

Далее было обращено внимание на известный принцип создания математической модели, в которой движущееся тело заменяется материальной точкой: точка располагается в центре масс рассматриваемого тела. При расчете же по предлагаемой методике контролируется координата головы состава. По этой причине расчет, в котором поезд представляется гибкой нерастяжимой нитью, был повторен. При этом скорость поезда в момент его въезда на спуск была принята равной значению, соответствующему скорости центра масс. На представленном графике, построенном для математической модели «поезд — материальная_точка» (сплошная линия), это значение соответствует точке, расположенной на расстоянии 500 м от начала спуска.

Включение режима тяги осуществлялось в момент, когда контролируемая координата центра масс поезда строго совпадала с границей спуска и подъема. Результат расчета представлен на рис. 2б. Как видим, графики движения для математических моделей «поезд — материальная_точка» и «поезд — нерастяжимая_нить» практически совпали. Имеет место лишь сглаживание скорости во время движения поезда по границе профилей, что и происходит в действительности.

Проверка построенных графиков движения выполнялась по балансу энергий, основанному на известном законе физики: изменение кинетической энергии движущегося тела равно работе внешних сил, действующих на это тело. Последняя определялась в результате соответствующей математической обработки графиков движения. В частности, работа силы основного сопротивления движению на участке пути длиной l может быть найдена по формуле

$$A_{w0} = gm_{\Pi} \int_0^l \omega(v) ds = gm_{\Pi} M_s[\omega] l = \\ = gm_{\Pi} \{ a_{\omega} + b_{\omega} M_s[v] + c_{\omega} (M_s[v])^2 + c_{\omega} D_s[v] \} l,$$

где $M_s[\omega]$ — математическое ожидание основного удельного сопротивления движению поезда на рассматриваемом участке пути;

$M_s[v]$ — математическое ожидание скорости движения;

$D_s[v]$ — дисперсия скорости в пределах участка;

g — ускорение свободного падения.

Численное сравнение результатов расчета выполнялось для конечной точки графиков, так как именно здесь при расчете по предлагаемой методике суммируется и накапливается погрешность вычислений. Значения искомым величин, определяемых по математическим моделям «поезд — материальная_точка» и «поезд — нерастяжимая_нить», соответственно получились следующими: время хода по спуску и подъему 245,733 и 245,659 с (погрешность 0,03%); скорость 54,233 и 54,319 км/ч (погрешность 0,159%); работа тяговой силы электровоза 264,01 и 264,525 кВт·ч (погрешность 0,195%). При такой незначительной разности результатов вычислений становится очевидным, что использование математической модели «поезд — нерастяжимая_нить» в большинстве инженерных расчетов нецелесообразно. Предлагаемая методика расчета графика движения поезда может быть полезна только при решении некоторых конкретных научных задач, где точность вычислений принципиальна.

В частности, принципиально важно использование представленной методики при расчете оптимальных по энергозатратам графиков движения. Из приведенных на рис. 2б зависимостей следует, что в конце спуска скорость поезда по математической модели «поезд — материальная_точка» будет примерно 77 км/ч, а при учете распределенных параметров — на 5 км/ч меньше. Известно, что из условия оптимальных затрат энергии на тягу в конце спуска следует добиваться реализации максимально допустимой для конкретного поезда скорости движения (для грузовых поездов — 80 км/ч) [4]. Следовательно, в приведенном примере необходимо сократить время движения в режиме выбега непосредственно перед спуском так, чтобы въехать на спуск с более высокой скоростью. Это соответственно приведет к пересчету всей режимной карты для участка, если требуется обеспечить заданное время прибытия на конечную станцию. Такие поправки могут оказаться существенными.

Представленная методика реализована в специализированной программе Energy Calc, разработанной в ОмГУПС. Особенностью программы является реализация двух методов тягового расчета, где поезд представлен моделью «поезд — нерастяжимая_нить» и моделью «поезд — материальная_точка». В программу заложена возможность выбора методики определения основного сопротивления движения поезда, а также его корректировки в процессе проведения тягового расчета. Реализована возможность выбора типа подвижного состава и участка пути, для которого необходимо произвести расчет. Результат тягового расчета представляется в графическом и табличном виде и может быть сохранен для дальнейшей обработки и анализа в программах сторонних разработчиков (Excel, Statistica и др.) или внешней базе данных (MS SQL, MySQL).

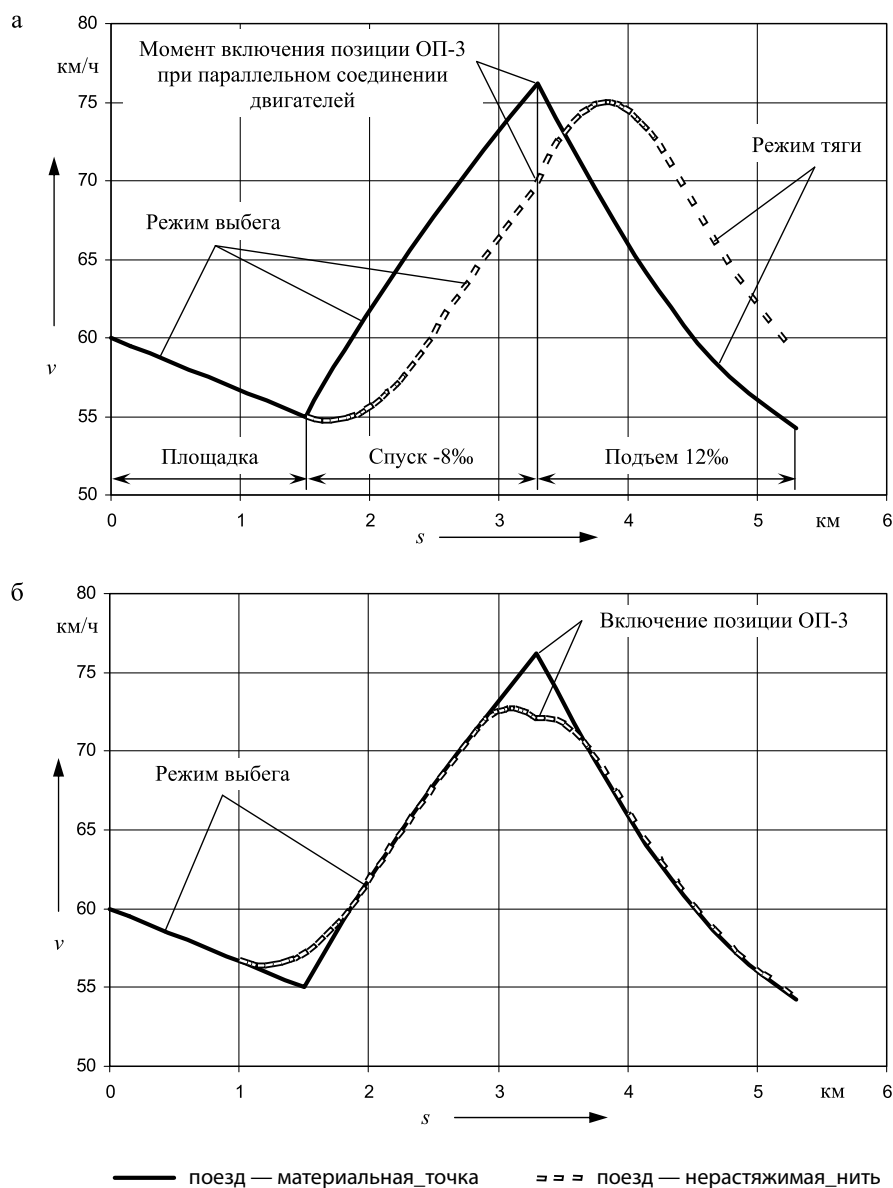


Рисунок 2 — Рассчитанные графики движения: а — формальное построение; б — при контроле центра масс поезда

Литература

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. 287 с.
2. Жуковский Н.Е. Сила тяги, время в пути и разрывающие усилия в тяговом приборе и сцепке при ломаном (резко переменном) профиле // Бюллетень Научно-экспериментального института путей сообщения. 1919. № 9. 4.1а. Гл. VIII. С. 229 — 240.
3. Климович А.В. Аналитический метод решения дифференциального уравнения движения поезда // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 2. С. 52 — 54.
4. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Под ред. Л.А. Баранова. М.: Транспорт, 1990. 328 с.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ РЕЛЬСОВАЯ ЦЕПЬ

Устройства контроля рельсовых линий (РЛ) постоянно совершенствуются, предлагают новые методы контроля [1, 2]. Одним из перспективных является способ, основанный на сравнении напряжений приемных концов рельсовых цепей (РЦ), измеренных в различные моменты времени.

Такие РЦ называют относительными рельсовыми цепями (ОРЦ). Контроль РЛ осуществляется по традиционному принципу: сравнением текущего напряжения на входе путевого приемника с пороговым значением. Для повышения шунтовой чувствительности и чувствительности к повреждению РЛ занятие РЦ контролируется по величине тока питающего конца, освобождение — по величине напряжения приемного конца, целостность рельсовых нитей — по скачку напряжения приемного конца. Занятие РЦ контролируется, если ток источника питания превышает фиксированное пороговое значение, освобождение контролируется, если напряжение приемника превышает адаптированное пороговое напряжение, исправность рельсовых нитей контролируется, если напряжение приемника не изменяется или изменяется плавно. Адаптация порогового напряжения осуществляется путем записи в память напряжения на входе приемника в момент фиксации занятия рельсовой цепи. Величина напряжения зависит от сопротивления изоляции и шунта подходящего поезда. Влияние шунта значительно стабилизирует напряжение приемника, что способствует повышению шунтовой чувствительности.

Схема РЦ изображена на рис. 1, где показаны рельсовые линии РЛ₁, РЛ₂, РЛ₃, РЛ₄, согласующие трансформаторы ТС₁, ТС₂, ТС₃, ТС₄, релейные шкафы РШ₁, РШ₂, РШ₃, РШ₄. Схемы релейных шкафов одинаковы, но генераторы и фильтры имеют разные частоты. Распределение частот показано на рис. 1.

Исправность РЛ контролируется следующим образом. Напряжение с выхода стабилизатора напряжения СН подается на вход путевого генератора ГП, с выхода которого через резистор R₀, первый полосовой фильтр ФП₁, второй согласующий трансформатор ТС₂, первую рельсовую линию РЛ₁, первый согласующий трансформатор ТС₁ поступает в первый релейный шкаф РШ₁. В этом шкафу через второй полосовой фильтр ФП₂ напряжение подается на вход третьего преобразователя сигнала ПС₃, с выхода которого цифровой сигнал поступает на входы первого стекового накопителя СТН₁, запоминающего устройства ЗУ, третьего компаратора КМП₃. При свободной и исправной рельсовой линии первый триггер ТГ₁ находится в исходном состоянии, с его инверсного выхода Q на вход второго логического элемента И₂ поступает сигнал логической единицы (ЛЕ), делая его прозрачным для импульсов с тактового генератора ГТ. За счет этих импульсов информация с выхода преобразователя ПС₃ перемещается по регистрам первого стекового накопителя СТН₁, а затем — и по регистрам второго накопителя СТН₂. Сумматоры СУМ₁ и СУМ₂ складывают значения напряжений трех последних и трех предыдущих замеров. Если разница этих напряжений превосходит допустимое зна-

чение (более 25%), то на выходе второго компаратора КМП₂ появляется сигнал логического нуля (ЛН), который взводит второй триггер ТГ₂. На входе и выходе логического элемента И₁ появляется сигнал ЛН: РЦ неисправна. Сбросить триггер ТГ₂ можно нажатием кнопки восстановления КВ после устранения неисправности.

Занятие рельсовой цепи контролируется следующим образом. При подходе поезда к рельсовой линии РЛ₂ возрастает ток путевого генератора ГП и падает напряжение на резисторе R₀ в релейном шкафу РШ₂. Преобразователи сигналов ПС₁ и ПС₂ преобразуют аналоговые сигналы с выхода генератора ГП и входа фильтра ФП₁ в цифровые, которые поступают на входы вычислительного устройства ВУ₁. По этим сигналам устройство ВУ₁ определяет входное сопротивление рельсовой линии. Значение этого сопротивления, а также порогового сопротивления с выхода датчика сопротивлений (ДПС) подается на входы компаратора КМП₁. Если пороговое сопротивление превышает текущее, то на выходе компаратора КМП₁ появляется сигнал ЛЕ, благодаря чему первый триггер ТГ₁ взводится, на входе и выходе логического элемента И₂ появляются сигналы ЛН: РЦ занята.

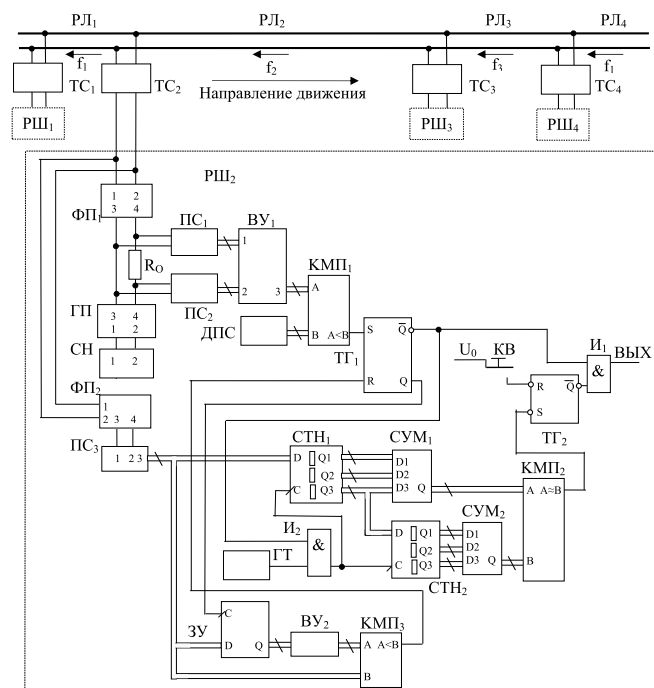


Рисунок 1 — Схема приемника относительной рельсовой цепи



Освобождение рельсовой цепи контролируется следующим образом. В момент фиксации занятия РЦ формируется значение порогового напряжения. При взводе триггера ТГ₁ на его выходе Q появляется сигнал ЛЕ, по фронту которого в запоминающее устройство ЗУ записывается цифровой сигнал U_к о напряжении приемного конца РЦ. Второе вычислительное устройство ВУ₂ преобразует напряжение приемного конца в значение порогового напряжения U_п, увеличивая его с учетом коэффициента запаса K₃ (U_п = U_к · K₃). Третий компаратор КМП₃ сравнивает текущее и пороговое напряжения. Если текущее превышает пороговое, то на выходе компаратора появляется сигнал ЛЕ, что возвращает триггер ТГ₁ в исходное положение: РЦ свободна.

Блок-схема алгоритма контроля рельсовой линии представлена на рис. 2.

Контроль рельсовой линии осуществляется следующим образом. После запуска программы (блок 1) вводится напряжение приемного конца U_к, ток источника питания I_{ип}, напряжение источника питания U_{ип} (блок 2), определяется значение входного сопротивления Z_{вх} (блок 3), которое затем сравнивается с пороговым значением Z_п (блок 4). Если значение входного сопротивления превышает пороговое, то далее проверяется превышение значения напряжения приемного конца порогового значения (блок 5). Затем контролируется отсутствие скачка напряжения (блоки 6 — 9). Определяются напряжения последних шести замеров U₁, U₂, U₃, U₄, U₅, U₆ (блок 6), сумма напряжений последних U_{св} и предпоследних U_{св} трех замеров (блок 7). Отношение полученных сумм (блоки 8 и 9) должно быть больше значения коэффициента асимметрии K_а = 0,7 — 0,9. Если все перечисленные условия выполняются, то фиксируется свобода и исправность рельсовой линии: P = 1 (блок 10). Если отношение сумм меньше значения коэффициента K_а, то фиксируется неисправность рельсовой линии (блок 11), дальнейший контроль рельсовой линии приостанавливается (блок 12). После устранения неисправности программа запускается вновь (блок 1).

Занятие рельсовой цепи (блок 16) фиксируется в двух случаях. Во-первых, если входное сопротивление рельсовой линии Z_{вх} ниже порогового сопротивления Z_п (блок 4), во-вторых, если значение напряжения приемного конца U_к ниже порогового напряжения U_п (блок 5). В первом случае фиксируется напряжение занятия U₃ (блок 14), которое равно напряжению приемного конца в момент занятия, затем определяется пороговое значение напряжения U_п, которое является функцией

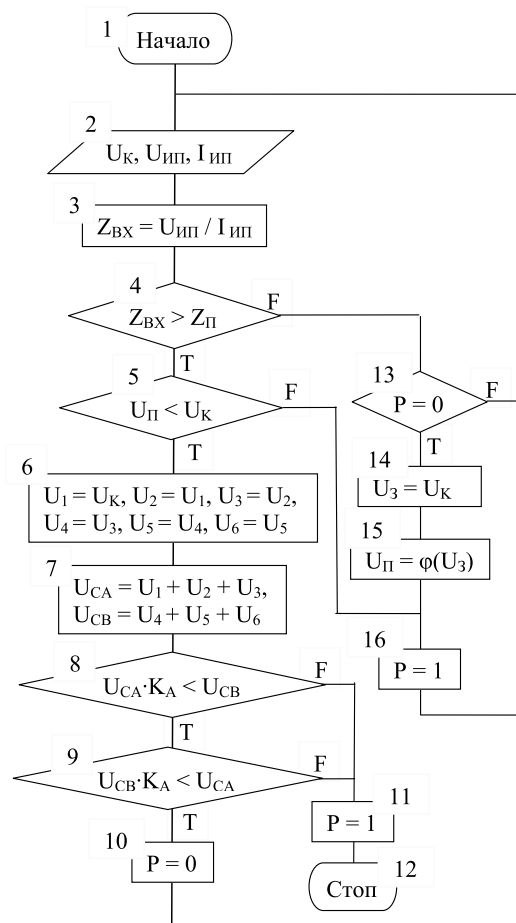


Рисунок 2 — Блок-схема алгоритма контроля рельсовой линии

напряжения занятия (блок 15). Для исключения повторного переопределения порогового напряжения введена проверка состояния рельсовой линии (блок 13).

По блок-схеме алгоритма контроля рельсовой линии составлена программа «Универсальная модифицированная рельсовая цепь» (свидетельство государственной регистрации программ для ЭВМ 2009615821), которая была использована для исследования рельсовых цепей. Исследования показали, что РЦ длиной 1,5 км может работать при сопротивлении изоляции 0,5 Ом·км.

Литература

1. Пат. 2238868 РФ, МПК В61L 23/16 Рельсовая цепь / Ю.И. Полевой и др. (РФ). № 2002129081/11; Заявл. 30.10.02; Опубл. 27.04.04. Бюл. № 12, Приоритет 30.10.02 (РФ). 6 с.: ил 2.
2. Полевой Ю.И. Методы контроля состояния путевых участков с адаптацией чувствительности путевого приемника к состоянию балласта // Транспорт Урала. 2009. № 3. С. 50 — 54.



ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВАГОНА С ГРУЗОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО ВОЛНАМ НЕРОВНОСТИ ПУТИ

Опыт эксплуатации грузовых вагонов показывает [1], что при движении подвижного состава, особенно по волнам неровности кривого участка пути, по неизвестным пока причинам происходит вылет пружин из проема боковых рам тележек.

На практике возможны случаи отступления от требований инструкции по ремонту тележек грузовых вагонов. Например, при норме не более 4 мм разность высот пружин рессорного комплекта правой боковой рамы передней тележки — до 14, левой — до 9 мм, правой боковой рамы задней тележки до — 7, левой — до 12 мм. При этом под фрикционные клинья не установлены пружины, имеющие наибольшую высоту [2]. Можно предполагать, что случаи вылета пружин из проемов боковых рам тележек могут быть из-за того, что комплекты пружин тележек собраны из поднаддресорных и подклиновых пружин, имеющих разные высоты, превышающие допустимые пределы. Теоретически вероятность возникновения такого состояния комплектов пружин тележек не исключается. Исходя из этого выяснение одной из возможных причин вылета пружин из проемов боковых рам тележек является пока упущенной из виду исследователей и нерешенной прикладной задачей. Возможно, что по этой причине легковесные грузы (грузы, масса которых меньше массы тары вагона) подвергаются вертикальным колебаниям, амплитуды которых превышают допустимые нормативные значения [3, 4].

Постановка задачи. Требуется составить уравнения движения, описывающие относительные колебания движущегося с постоянной переносной скоростью $\bar{v} = \bar{v}_e$ (равной скорости поезда) вагона с грузом постоянной массы, связанной с комплектами пружин тележек, жесткостные характеристики которых в идеальном случае имеют кусочно-линейный характер.

Принятые допущения. Считая волну неровности профиля пути (рис. 1) как кинематическое возмущение, представим ее в виде синусоидального закона [5]

$$z_1 = z_{1\max} \sin^2\left(\pi \frac{x_1}{l}\right), \quad (1)$$

где x_1 — координата, характеризующая неровность пути по его длине;

$z_{1\max}$ и l — кинематические характеристики пути (максимальная высота и длина волны неровности пути, м, — задаваемые величины).

Учитывая, что произвольное положение тела по оси x_1 в момент t находится как $x_1 = v_{ex1}t$, где $v_{ex1} = v_e = v$ — скорость поезда, м/с (величина задаваемая), перепишем (1) в виде

$$z_1 = z_{1\max} \sin^2\left(\pi \frac{v_{ex1}}{l} t\right). \quad (2)$$

С использованием формулы (2) при $z_{\max1} = 0,01$ м, $v_{ex1} = 80$ км/ч и $l = 25$ м построены графические зависимости волны

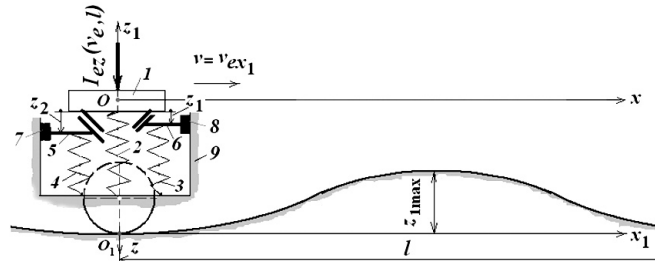


Рисунок 1 — Колебательная система:

- 1 — кузов вагона с грузом; 2 — 4 — упругие элементы;
- 5 — 6 — фрикционные клинья; 7 — 8 — фрикционные планки;
- 9 — боковая рама тележки

неровности пути (кинематического возмущения) $z_1 = f(t)$ квадратичной синусоиды (рис. 2)

$$z_1(t) := z_{1\max} \cdot \left[\sin\left(\pi \cdot \frac{v_e}{l} \cdot t\right) \right]^2.$$

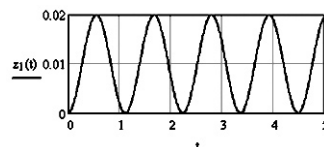


Рисунок 2 — Зависимость $z_1 = f(t)$ квадратичной синусоиды

Анализ графических зависимостей $z_1 = f(t)$ обычной и квадратичной синусоиды показывает, что при изменении волны неровности пути по закону квадратичной синусоиды по истечении времени максимальное значение синусоиды сдвинуто относительно оси абсцисс.

Дифференцируя (2) с использованием известного правила дифференцирования степенной функции с целочисленным показателем $(x^n)' = nx^{n-1}$, найдем переносное ускорение, возникающее от волны неровности пути как кинематического возмущения,

$$\dot{z}_1 = z_{1\max} \pi \frac{v_{ex1}}{l} 2 \sin\left(\pi \frac{v_{ex1}}{l} t\right) \cos\left(\pi \frac{v_{ex1}}{l} t\right).$$

Вспомнив формулу функции кратных углов $2\sin(\alpha)\cos(\alpha) = \sin(2\alpha)$, запишем последнее выражение в виде

$$\dot{z}_1 = v_{z1} = \frac{1}{2} z_{1\max} p \sin(pt), \quad (3)$$

где p — круговая частота кинематического возмущения, рад/с,

$$p = 2\pi \frac{v_{ex1}}{l}. \quad (4)$$

Круговая частота p равна количеству полных колебаний за 2π секунд.

Период волны неровности пути, с,

$$T_1 = \frac{2\pi}{p} = \frac{l}{v_{ex1}}. \quad (5)$$

Дифференцируя выражение (3) по времени, получим

$$\dot{z}_1 = a_{z1} = B_{z1max} \cos(pt), \quad (6)$$

где $B_{z1} = B_{z1max}$ — максимальная амплитуда переносного ускорения, возникшая от волны неровности пути как кинематического возмущения,

$$B_{z1max} = \frac{1}{2} z_{1max} p^2. \quad (7)$$

Таким образом, можно отметить, что ускорение волны неровности пути, имея положительный знак, идет по направлению волны неровности пути, т. е. снизу вверх.

В идеальном случае, соответствующем предельно изношенным поверхностям пар трения «надресорная балка — фрикционные клинья» и «фрикционные клинья — фрикционные планки», не исключается вероятность того, что характеристики комплектов пружин тележек становятся нелинейными, точнее, имеют кусочно-линейный характер (рис. 3), приводящий к параметрическим колебаниям системы «кузов вагона с грузом — упругие элементы».

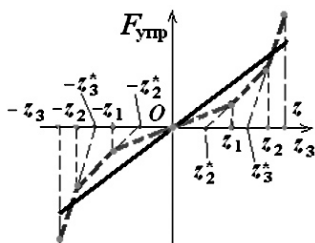


Рисунок 3 — Колебательная система с упругой (сплошная линия) и кусочно-линейной (пунктирные линии) характеристикой

Кузов вагона с грузом 1 постоянной массы, опирающийся на боковую раму тележки 9 посредством комплектов упругих элементов (пружины) 2 — 4 может совершать вертикальные колебания в случае, если пружины 3 и 4 имеют разную длину (т. е. разные жесткости), в результате чего могут быть образованы зазоры z_1 и z_2 (см. рис. 1). Согласно понятиям общей теории колебаний, колебания, происходящие при изменении параметров системы (например, коэффициента жесткости), относятся к виду параметрических.

Иначе говоря, параметрические колебания — это колебания, совершаемые периодическими изменениями параметров системы [6].

Жесткости пружин возрастают скачкообразно, поскольку абсолютная величина отклонения переходит за некоторое критическое значение, причем величина скачка не зависит от знака отклонения. Тогда характеристика колебательной системы имеет кусочно-линейный характер (см. рис. 2, пунктирные линии) [7], описываемыми зависимостями:

$$\begin{aligned} F &= c_3(z + z_3) \text{ при } z \leq -z_2; \\ F &= c_2(z + z_2) \text{ при } z \leq -z_1; \\ F &= c_1 z \text{ или } F = cz \text{ при } -z_1 \leq z \leq z_1; \\ F &= c_2(z - z_2) \text{ при } z \geq z_1, \\ F &= c_3(z - z_3) \text{ при } z \geq z_2, \end{aligned} \quad (8)$$

где F — сила, необходимая для деформации пружин;

$z = z_r$ — относительное отклонение;

при этом $c_3 \geq c_2 \geq c_1$, $z_1 \geq z_2 \geq z_3$.

Условием непрерывности упругих сил от отклонений, т. е. $F = f(z)$, являются $c_1 z_1 = c_2(z_1 - z_2)$ и $c_2 z_2 = c_3(z_2 - z_3)$.

Предполагают, что волна неровности пути, представленной в виде (1) или (6) как кинематическое возмущение, будет обуславливать возникновение переносной силы инерции по вертикали

$$I_{ez1}(t) = -M\ddot{z}_1(t) = -Ma_{z1},$$

или, учитывая (6),

$$I_{ez1}(t) = -MB_{z1max} \cos(pt), \quad (9)$$

или

$$I_{ez1}(t) = -I_{z1max} \cos(pt), \quad (10)$$

где M — масса кузова вагона с грузом, кг;

I_{z1max} — максимальное значение силы инерции переносного движения, кН,

$$I_{z1max} = 10^{-3} MB_{z1max},$$

или с учетом (4) и (7)

$$I_{z1max} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} M z_{1max} \left(2\pi \frac{v_{ex1}}{l} \right)^2. \quad (11)$$

Допускают, что волна неровности наружной и внутренней рельсовых нитей синхронны, т. е. отсутствуют сдвиги волн. Иначе говоря, две волны неровности пути расположены симметрично друг относительно друга, т. е. не отстают по фазе. Предполагают, что в половине длины волны укладываются как передние, так и задние тележки грузовых вагонов с базами 9,72 и 8,96 м. Учитывают, что движение происходит около положения равновесия, установленного от воздействия силы тяжести кузова вагона с грузом.

Рассматривая неблагоприятный случай, соответствующий предельно изношенным поверхностям пар трения «фрикционные клинья — фрикционные планки», силой сухого трения можно пренебречь (в дальнейшем такой случай рассмотрен как первая задача). В этом случае фрикционные гасители колебаний не выполняют свои функциональные назначения — гасить (уменьшить) колебания вагона с грузом (т. е. не работают).

Изучение одной из разновидностей неблагоприятного случая колебаний надрессорного груза с учетом силы сухого трения, возникающих во время последовательного включения пар трения «фрикционные клинья — фрикционные планки», является самостоятельной прикладной задачей (в дальнейшем такой случай рассмотрен как вторая задача).

Изучение реального случая колебаний надрессорного груза с учетом силы сухого трения, возникающих в парах трения «фрикционные клинья — фрикционные планки», также является самостоятельной прикладной задачей (в дальнейшем такой случай рассмотрен как третья задача).

Вывод уравнения колебаний тела согласно основному закону динамики для относительного движения. Согласно



основному закону динамики для относительного движения точки в неинерциальной системе отсчета, запишем [8]

$$M\bar{a}_r = \bar{F} + \bar{R} + \bar{I}_e + \bar{I}_C, \quad (12)$$

где M — масса наддрессоренного груза, кг;

\bar{a}_r — вектор относительного ускорения наддрессоренного груза, м/с²;

$\bar{F} = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$ — векторная сумма всех активных сил, действия которых приводят к движению тела;

$\bar{R} = \sum_{k=1}^n \bar{R}_k$ — векторная сумма всех реактивных сил (заменяю-

щих связи в виде упругих элементов (пружин) и «фрикционные клинья — фрикционные планки»), результаты действия которых могут воспрепятствовать движению тела;

\bar{I}_e — сила инерции переносного движения, имеющая только положительный знак, в отличие от [5]: $\bar{I}_e = (-M\bar{a}_e)$;

\bar{I}_C — сила инерции Кориолиса, определяемая как $\bar{I}_C = 2(\bar{\omega}_e \times \bar{v}_r)$, модуль которой определяется по формуле $I_C = 2\omega_e \times v_r \sin(\bar{\omega}_e, \bar{v}_r)$ с учетом того, что $\bar{\omega}_e$ — вектор угловой скорости переносного движения подвижного состава и \bar{v}_r — вектор линейной скорости относительного движения. Учитывая, что угол между векторами угловой скорости переносного движения подвижного состава $\bar{\omega}_e$ и линейной скорости относительного движения \bar{v}_r равен 0, получим $\bar{I}_C = 0$.

В связи с тем что $\bar{I}_C = 0$, перепишем (12) в виде

$$M\bar{a}_r = \bar{F} + \bar{R} + \bar{I}_e. \quad (12a)$$

Применительно к рассматриваемой задаче $\bar{F} = \bar{G}$ и $\bar{R} = \bar{F}_{\text{упр}}$, где $\bar{F}_{\text{упр}}$ — восстанавливающая сила (или сила упругости) комплектов пружин тележек для первого участка, соответствующего условию $0 \leq z_r \leq z_{r1}$; $\bar{R} = \bar{F}_{\text{упр}} + \bar{F}_{\text{тр}}$, где $\bar{F}_{\text{тр}}$ — сила сухого трения скольжения в парах трения «фрикционные клинья — фрикционные планки» для второго ($z_{r1} \leq z_r \leq z_{r2}$) и третьего ($z_{r2} \leq z_r \leq z_{r3}$) участков.

Согласно закону Гука, восстанавливающая сила (или сила упругости) комплектов пружин тележек

$$F_{\text{упр}} = -cz_r, \quad (13)$$

где $c = c_{\text{экр}}$ — эквивалентная (или приведенная, или обобщенная) жесткость комплектов пружин тележек, равная сумме частично и/или всех параллельно включенных пружин

$$(c_{\text{экр}} = \sum_{i=1}^n c_i), \text{ кН/мм};$$

z_r — относительное перемещение кузова вагона с грузом, подлежащее определению, мм.

Постановка начальных условий задачи (задача Коши)

[9]. Примем следующие начальные условия задачи: $z_r|_{t=0} = z_{r0} = 0$ (начальное отклонение) и $\dot{z}_r|_{t=0} = v_{r0} = 0$ (начальная скорость). Такие начальные условия соответствуют действительности, поскольку возмущения обуславливаются только волнами неровности пути.

Формулировка математической задачи. Выделим три самостоятельные задачи. Первая задача, в которой требует-

ся решить линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (8) при нулевых условиях, описывающее вынужденное колебание вагона с грузом, движущегося по волнам неровности пути согласно закону (1).

Вторая задача, в которой требуется решить кусочно-линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (8), описывающее относительное движение вагона с грузом с учетом силы сухого трения, возникающее в парах трения «наддрессорная балка — фрикционные клинья» и «фрикционные клинья — фрикционные планки» при заданных условиях, вытекающих из решения первой задачи.

Третья задача, в которой требуется решить линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (8), описывающее относительное движение вагона с грузом с учетом силы сухого трения, когда работа силы сухого трения заменена работой силы вязкого сопротивления.

Приводим решение первой математической задачи.

Математическое решение первой задачи. Особо отметим, что решение первой задачи будет соответствовать идеальному случаю, когда пары трения «наддрессорная балка — фрикционные клинья» и «фрикционные клинья — фрикционные планки» еще не включены в работу.

Запишем уравнение относительного движения кузова вагона с грузом постоянной массы с учетом (9) и (13)

$$M\ddot{z}_r + c_1 z_r = I_{ez1}(t), \quad (14)$$

или, разделяя обе части на массу кузова вагона с грузом,

$$\ddot{z}_r + k_1^2 z_r = B_{z1} \cos(pt), \quad (15)$$

где k_1^2 — круговая частота чисто свободных колебаний системы «наддрессорный груз — упругий элемент», рад./с,

$$k_1^2 = c_1 / M \text{ или } k_1^2 = \sqrt{\frac{g}{z_{cr1}}}; \quad (16)$$

с учетом того что z_{cr1} — статический прогиб рессорного комплекта тележки на первом участке — $0 \leq z \leq z_{r1}$, м;

$B_{z1\text{max}}$ — амплитуда вынужденных колебаний кузова вагона с грузом (см. (7)), что обуславливается действием переносной силы инерции как кинематического возмущения, м.

Особо отметим, что (14) отличается от аналогичного уравнения, приведенного в [5], знаком переносной силы инерции $I_{ez1}(t)$.

Период чисто свободных колебаний, с,

$$T_1 = \frac{2\pi}{k_1} \text{ или } T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{z_{cr1}}{g}}. \quad (17)$$

Общезвестно [10], что общее решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний в неинерциальной системе отсчета имеет вид

$$z_r = A_{r1z} \sin(k_1 t + \zeta_1) + B_{r1z} \cos(pt), \quad (18)$$

где A_{r1z} ($k_1 t + \zeta_1$) и ζ_1 — амплитуда (м), фаза и начальная фаза (рад.) чисто свободных колебаний, м;

B_{r1z} и (pt) — амплитуда (м) и фаза (рад.) чисто вынужденных колебаний, возникших от волн неровности пути.

В (18) амплитуда чисто вынужденных колебаний B_{r1z}

$$B_{r1z} = \frac{B_{ez1}}{k_1^2 - p^2}. \quad (19)$$

В (18) A_{r1z} и ζ_1 — постоянные, определяемые из начальных условий задачи. Определим эти постоянные из условий $z_r|_{t=0} = z_{r0} = 0$ и $\dot{z}_r|_{t=0} = \dot{z}_{r0} = 0$.

Дифференцируя (18), найдем

$$\dot{z}_r = A_{r1z} k_1 \cos(k_1 t + \zeta_1) - B_{r1z} p \sin(pt). \quad (20)$$

Перепишем (18) и (20) с учетом начальных условий:

$$0 = A_{r1z} \sin(\zeta_1) + B_{r1z}; \quad A_{r1z} = -B_{r1z} / \sin(\zeta_1);$$

$$0 = A_{r1z} k_1 \cos(\zeta_1); \quad \cos(\zeta_1) = 0.$$

Отсюда поскольку $\cos(\zeta_1) = 0$, то $\zeta_1 = \frac{\pi}{2}$. Тогда $\sin(\zeta_1) = 1$ и $A_{r1z} = -B_{r1z}$.

Подставляя полученные выражения в (18), будем иметь

$$z_r = -B_{r1z} \sin(k_1 t + \frac{\pi}{2}) + B_{r1z} \cos(pt),$$

или

$$z_r = B_{r1z} (-\cos(k_1 t) + \cos(pt)). \quad (21)$$

Окончательно уравнение относительного движения вагона с грузом с учетом (19) запишем в виде

$$z_r = \frac{B_{ez1}}{k_1^2 - p^2} (-\cos(k_1 t) + \cos(pt)). \quad (22)$$

Функция (21) или (22) достигнет максимума тогда, когда

$\cos(pt) = 0$, чему соответствует $pt = \frac{\pi}{2}$ или $t_1 = \frac{\pi}{2p}$. С учетом (4)

получим время, по истечении которого вертикальное перемещение кузова вагона с грузом достигнет максимальной величины, т. е. $t_1 = \frac{T}{4}$. Поэтому можно записать

$$z_{r1} = z_{r1\max} = \frac{B_{ez1}}{k_1^2 - p^2} (-\cos(k_1 t_1)). \quad (23)$$

Дифференцируя (22) по времени, найдем скорость и ускорение вагона с грузом:

$$\dot{z}_r = \frac{B_{ez1}}{k_1^2 - p^2} (k_1 \sin(k_1 t) - p \sin(pt)); \quad (24)$$

$$\ddot{z}_r = \frac{B_{ez1}}{k_1^2 - p^2} (k_1^2 \cos(k_1 t) - p^2 \cos(pt)). \quad (25)$$

Анализ полученных результатов математических решений задачи. Из уравнения (22) видим, что движение тела складывается из двух видов колебаний:

— первое колебание, совершаемое под влиянием внутренней силы (т. е. восстанавливающей силы), которая стремится вернуть вагон с грузом в положение равновесия, называют чисто свободным колебанием;

— второе колебание, возникающее под воздействием на вагон с грузом вынуждающей силы, возникшей от волны неровности пути как кинематического возмущения, называют вынужденным колебанием.

Иначе говоря, из уравнения (22) видим, что движение вагона с грузом является результатом наложения (суперпози-

ции) чисто свободных колебаний на чисто вынужденные колебания, причем оба вида колебаний не зависят от начальных условий движения. Колебания возбуждаются кинематическим возмущением, характеризующим волну неровности пути, в основном зависящую от климатических условий перегона, влияющих на физико-реологические свойства земляного полотна.

Амплитуда вынужденных колебаний. Амплитуда B_{r1z} вынужденных колебаний напрямую зависит от максимального значения высоты волны неровности пути B_{r1z} , частоты свободных колебаний k (см. (16)) и возмущающей силы p (см. (3)), т. е. $B_{r1z} = f(B_{r1z}, k, p)$. Особо отметим, что вынужденные колебания вагона с грузом, обусловленные вынуждающими силами гармонического характера, являются также гармоническими и их амплитуда не изменяется с течением времени.

Частота и период вынужденных колебаний. Частота (p) и период (T) вынужденных колебаний (см. второе слагаемое (22)) совпадает с частотой (p) и периодом (T_1) возмущающей силы $I_{ez1}(t)$ (см. (8)), т. е. кинематического возмущения. Это означает, что причиной вынужденных колебаний вагона с грузом является кинематическое возмущение.

Согласно (23) построены графические зависимости вертикальных колебаний вагона с грузом $z_r = f(t)$ от воздействия кинематического возмущения при различных предельных значениях времени t (от 0 до 6 с), представленные на рис. 4.

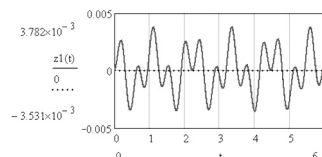


Рисунок 4 — Зависимости $z = f(t)$ при движении вагона с грузом

Анализ графической зависимости $z_r = f(t)$ показывает, что движение вагона с грузом по истечении времени является результатом наложения (суперпозиции) чисто свободных косинусоидальных колебаний на чисто вынужденные косинусоидальные колебания (см. рис. 3), причем оба вида колебаний не зависят от начальных условий движения. Максимальное значение вертикального перемещения вагона с грузом равно 0,0038 м в соответствии с заданным законом волны неровности пути.

Согласно (24) и (25) построены графические зависимости вертикальной скорости $\dot{z}_r = f(t)$ и ускорения вагона с грузом $\ddot{z}_r = f(t)$ при различных предельных значениях времени t , представленные на рис. 5 и 6.

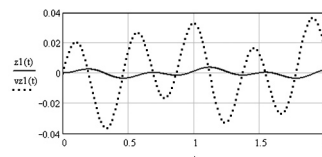


Рисунок 5 — Зависимости $z_r = f(t)$ и $\dot{z}_r = f(t)$

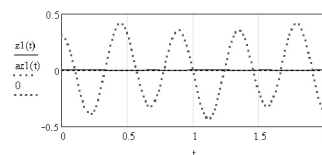


Рисунок 6 — Зависимости $z_r = f(t)$ и $\ddot{z}_r = f(t)$



Анализ графических зависимостей $\dot{z}_r = f(t)$ и $\ddot{z}_r = f(t)$ показывает, что максимальные значения скорости и ускорения вагона с грузом для заданных исходных данных задачи соответственно равны 0,037 м/с и 0,43 м/с².

Определим критическую скорость $v_{кр}$ при которой наступает резонанс, из соотношения (3) и (16), или из (4) и (17)

$$k_{n1} = p = 2\pi \frac{v_{кр}}{l}; \quad v_{кр} = \frac{k_n l}{2\pi} = \frac{l}{T_n}, \quad (26)$$

где $n = 1, 2, 3$ — номера участков.

Математическое решение первой задачи в частном случае. В случае резонанса ($p = k_n$) (22) обращается в неопределенность вида $\frac{0}{0}$. Раскрывая эту неопределенность по правилу

Лопиталю [10], будем иметь

$$k_{n1} = p = 2\pi \frac{v_{кр}}{l}; \quad v_{кр} = \frac{k_n l}{2\pi} = \frac{l}{T_n},$$

или

$$z_r = \frac{B_{ez1}}{2k_n} t \sin(kt). \quad (27)$$

Перепишем последнее выражение с учетом (6), имея в виду $p = k_n$

$$z_r = z_{1max} k_n t \sin(k_n t). \quad (28)$$

Амплитуда вынужденных колебаний вагона с грузом при резонансе

$$B_{rnz} = z_{1max} k_n t \quad (29)$$

с течением времени неограниченно возрастает.

С использованием формул (28) и (29) построены графические зависимости $B_{rnz} = f(t)$ и $z_r = f(t)$ при резонансе, которые представлены на рис. 7.

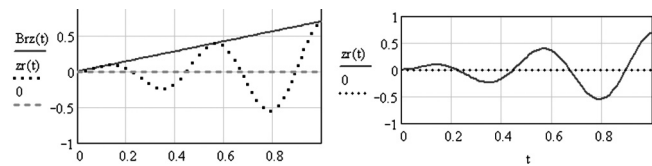


Рисунок 7 — Зависимости $B_{rnz} = f(t)$ и $z_r = f(t)$

Анализ графических зависимостей $B_{rnz} = f(t)$ и $z_r = f(t)$ показывает, что при резонансе (т. е. при $p = k$) амплитуда колебаний по истечении времени возрастает неограниченно.

Выводы. Колебания вагона с грузом возбуждаются кинематическим возмущением, характеризующим волну неровности пути, в основном зависящей от климатических условий перегона, влияющих на физико-реологические свойства земляного полотна.

Амплитуда вынужденных колебаний вагона с грузом напрямую зависит от максимального значения высоты волны неровности пути, частоты свободных колебаний и возмущающей силы. Особо отметим, что вынужденные колебания вагона с грузом, обусловленные вынуждающими силами гармонического характера, являются также гармоническими и их амплитуда не изменяется с течением времени.

Можно предполагать, что одной из причин вертикальных колебаний легковесных грузов (грузы, масса которых меньше массы тары вагона) являются характер волны неровности пути и технологические дефекты при сборке комплектов пружин тележек, не исключая вероятности того, что они укомплектованы поднадрессорными и подклиновыми пружинами, имеющими разные длины, превышающие допустимые пределы.

Литература

1. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. В.В. Лукина. М.: Маршрут, 2004. 424 с.
2. Никонов А.М. К вопросу о необходимости знания взаимодействия вагона и пути для путейцев // Безопасность движения поездов: Труды Восьмой науч.-практ. конф. М.: МИИТ, 2007. С. 20 — 21.
3. Туранов Х.Т., Тимухина Е.Н., Волков Д.В. Нагрузочные способности гибких упругих элементов креплений при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона // Транспорт Урала. 2007. № 4. С. 25 — 35.
4. Туранов Х.Т. Аналитическое обоснование технологии несимметричного размещения общего центра масс грузов в вагонах // Транспорт Урала. 2009. № 1. С. 31 — 35.
5. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. М.: Высшая школа, 1975. 248 с.
6. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1987. 384 с.
7. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем / Пер. с англ. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 456 с.
8. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики в двух томах. СПб.: Лань, 1998. 736 с.
9. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики // Избранные задачи высшей математики для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1969. 288 с.
10. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. М.: Наука, 1967. 571 с.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВАГОНА КАК ОДНООСНОГО ЭКИПАЖА С УПРУГОЙ ПОДВЕСКОЙ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ

В [1] изучены вертикальные колебания вагона как одноосного экипажа с упругой подвеской в сочетании с сухим трением. При этом надрессоренному грузу придают максимальное положительное отклонение и отпускают без начальной скорости, т. е. движение груза изучено без учета волны неровности пути.

В работе [2] приведены результаты аналитических исследований по определению характера колебаний вагона с грузом как одноосного экипажа при относительном движении подвижного состава по волнам неровности пути с заданным законом. Выведены аналитические формулы для определения параметров вынужденных колебаний вагона с грузом, возникающих из-за наличия волны неровности пути как кинематического возмущения, которые оказывают непосредственное влияние на средства креплений груза, размещенного в вагоне. Однако остались аналитически не исследованными движения вагона с грузом как одноосного экипажа при последовательном включении в работу подклиновых пружин тележек в случае, если на практике допустили случаи сборки комплектов пружин с отступлением от требований инструкции по ремонту тележек грузовых вагонов, т. е. пружины были собраны в комплекте с различными высотами [3].

Учитываем, что движение вагона с грузом начинается с последовательного включения в работу подклиновых пружин тележек, т. е. пружины 3, а затем и пружины 4 (рис. 1) [2]. В результате этого сперва образуется пара трения «фрикционный клин 6 — фрикционная планка 8», а потом и пара трения «фрикционный клин 5 — фрикционная планка 7» или наоборот, обеспечивая гашение (уменьшение) амплитуды вертикальных колебаний вагона с грузом.

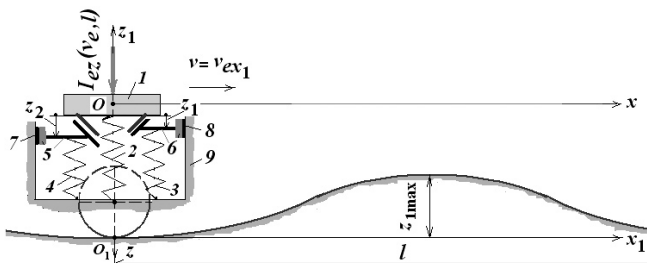


Рисунок 1 — Колебательная система:
 1 — кузов вагона с грузом; 2 — 4 — упругие элементы;
 5 — 6 — фрикционные клинья; 7 — 8 — фрикционные планки;
 9 — боковая рама тележки

Используем основной закон динамики для относительного движения тела в неинерциальной системе отсчета [4, 5].

Для случая, когда движение вагона с грузом начинается с последовательного включения в работу подклиновых пружин тележек и образуется пара трения «фрикционный клин 6 — фрикционная планка 8», а затем и пара трения «фрикционный клин 5 — фрикционная планка 7», определяют силу сухого трения согласно закону Кулона [4, 5]

$$F_{тр.з} = fN, \quad (1)$$

где f — коэффициент трения скольжения, причем по величине меньше коэффициента трения сцепления $f_{сц}$ (т. е. $f < f_{сц}$), зависит от материала, физического состояния трущихся поверхностей и относительной скорости движущихся тел. Обычно с увеличением скорости коэффициент трения скольжения убывает, стремясь к некоторому постоянному значению;

N — сумма нормальных составляющих реакции связей в парах трения «фрикционные клинья — фрикционные планки» [6, 7], направленных по горизонтали (по оси x),

$$N = N_{57} + N_{68}. \quad (2)$$

С учетом того что N_{57} и N_{68} — реакции связей в парах трения «фрикционные клинья — фрикционные планки», расположенные слева и справа от надрессорной балки (см. рис. 1 поз. 5 — 7 и 6 — 8), направленные по оси x ,

$$N_{57} = I_{ez1max} C_1 C_2, \quad (3)$$

где C_1 и C_2 — постоянные безразмерные величины, показывающие физико-геометрическую характеристику контактируемых поверхностей пар трения «надрессорная балка 1 — фрикционный клин 5» и «фрикционный клин 6 — фрикционные планка 7» (см. рис. 1),

$$C_1 = \frac{1}{\Delta} \left(\cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2) \right);$$

$$\Delta = \sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1) (-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1);$$

$$C_2 = \frac{\left(\cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1 + \pi) \right)}{\cos(\gamma_0) \left(\cos(\beta_1 + \frac{3}{2}\pi) + f_3 \cos(\beta_1) \right)};$$

α_1 и α_2 — углы наклона поверхностей надрессорной балки к горизонту, рад. ($\alpha_1 \approx 134^\circ 30'$, $\alpha_2 \approx 45^\circ 30'$);

β_1 — угол наклона фрикционной планки (см. рис. 1 поз. 6) относительно горизонтали ($\beta_1 = 89^\circ$);

f_1 и f_2, f_3 — коэффициент трения скольжения между контактирующими поверхностями надрессорной балки 1 и фрикционных клиньев 6 и 5, а также между фрикционным клином 6 и фрикционной планкой 8 (см. рис. 1);

γ_0 — угол наклона задней поверхности фрикционного клина, контактируемого с фрикционной планкой, рад.,

$$N_{68} = -I_{ez1max} C_3 C_4, \quad (4)$$



где I_{ez1max} — максимальное значение переносной силы инерции обрессоренной массы, возникшей от волны неровности пути, Н [2];

C_3 и C_4 — постоянные безразмерные величины, показывающие физико-геометрическую характеристику контактируемых поверхностей пар трения «надрессорная балка 1 — фрикционный клин 5» и «фрикционный клин 5 — фрикционные планки 7» (см. рис. 1),

$$C_3 = \frac{1}{\Delta} (\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1));$$

$$C_4 = \frac{(\sin(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2))}{\cos(\gamma_0)(\sin(\beta_2) - f_4 \cos(\beta_2))},$$

где β_2 — угол наклона фрикционной планки (см. рис. 1 поз. 8) относительно горизонтали ($\beta_2 = 91^\circ$);

f_4 — коэффициент трения скольжения между контактирующей поверхностью фрикционного клина 6 и фрикционной планки 8.

Отметим, что в [6, 7] найдены N_{75} и N_{86} — это реакции связей в парах трения «фрикционные планки 7 (или 8) — фрикционные клинья 5 (или 6)» в виде $N_{75} = N_3$ и $N_{86} = N_4$.

Перепишем (2) с учетом (3), (4) и (1)

$$F_{тр.z} = f_3 N_{57} + f_4 N_{68},$$

или

$$F_{тр.z} = F_{тр5} + F_{тр6}, \quad (5)$$

где $F_{тр5} = f_4 N_{57}$ и $F_{тр6} = f_4 N_{68}$ — силы трения в парах трения «фрикционные клинья 5 — фрикционные планки 7» и «фрикционные клинья 6 — фрикционные планки 8».

В (5) в силу закона равенства действия и противодействия приняты $N_{57} = -N_{75}$ и $N_{68} = -N_{86}$ как реакции связей в парах трения «фрикционные клинья 5 (или 6) — фрикционные планки 7 (или 8)».

Сила сухого трения, согласно первому закону Кулона, в любой момент процесса движения всегда направлена противоположно скорости относительного движения $\dot{z}_r = v_r$, причем величина силы связана с величиной $\dot{z}_r = v_r$, например, в виде

$$F_{тр.z} = f \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right) [5, 8] \text{ (рис. 2).}$$

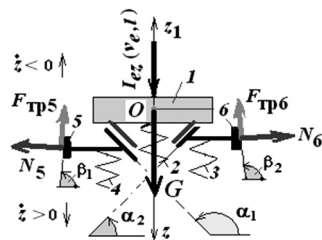


Рисунок 2 — Расчетная схема действия сил на пары трения «надрессорная балка — фрикционные клинья» (1—5 и 1—6) и «фрикционные клинья — фрикционные планки» (5—7 и 6—8); 2 — подрессорные комплекты пружин; 3 и 4 — подклиновые пружины

В пределах одного периода колебаний сила трения меняет знак на обратный, поскольку меняется направление относительной скорости движения $\dot{z}_r = v_r$,

$$F_{тр.z} \text{sign} \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right). \quad (6)$$

Символ sign означает функцию Кронекера (sign — функция «знак»), причем:

$$\text{sign}(\dot{z}_r) = +1, \text{ если } \dot{z}_r = v_r < 0;$$

$$\text{sign}(\dot{z}_r) = -1, \text{ если } \dot{z}_r = v_r > 0.$$

Отношение $\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|}$ в аргументе sign по абсолютной величине

равно единице, а его знак совпадает со знаком $\dot{z}_r = v_r$ [8].

Известно, что сила трения в реальной физической системе подчиняется более сложным законам, чем те, которые выражаются простой зависимостью (1). Тем не менее (1) часто используется при исследовании систем с так называемым кулоновым, или сухим, трением. В этом случае характеристику колебаний можно рассматривать как кусочно-линейную, считая, что в момент изменения знака относительной скорости $\dot{z}_r = v_r$, происходит скачкообразное изменение направления силы трения $F_{тр.z}$ на противоположное (рис. 3а).

Характеристику силы сухого трения $F_{тр.z}$ в зависимости от относительной скорости трущихся поверхностей $\dot{z}_r = v_r$, с некоторыми допущениями представляют в виде разрывной функции (см. рис. 3а).

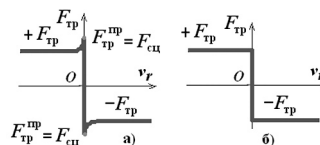


Рисунок 3 — Характеристика силы сухого трения

На рис. 3а обозначено предельное значение силы сухого трения $F_{тр}^{np}$ и равная ей сила сцепления $F_{цл.z}$. На рис. 3б показаны аппроксимированные характеристики $F_{тр.z} = f(\bar{v}_r)$.

Колебательные системы с таким трением относят к системам с переменными характеристиками, поскольку сила трения резко меняет свое направление при изменении направления скольжения. В связи с этим отметим, что сила сухого трения представляет собой сопротивление с нелинейным законом в зависимости от относительной скорости движения \dot{z}_r . Нелинейность силы трения связана наличием в выражении функции $\text{sign} \dot{z}_r$, которая при движении сверху вниз равна -1 , а при движении снизу вверх $+1$ согласно принятым направлениям оси ординат z (см. рис. 2).

Следуя основному закону динамики для относительного движения материальной точки, запишем дифференциальное уравнение движения обрессоренной массы в направлении оси z

$$m\ddot{z} = -cz - F_{тр.z} \text{sign} \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right),$$

или, разделяя обе части на массу кузова вагона с грузом M ,

$$\ddot{z} + k^2 z = -\frac{1}{M} F_{тр.z} \text{sign} \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right), \quad (7)$$

где k^2 — квадрат круговой частоты свободных колебаний, рад./с,

$$k^2 = c/M \text{ или } k = \sqrt{\frac{g}{z_{ст.1}}}, \quad (8)$$

с учетом того что $z_{ст.1}$ — статический прогиб рессорного комплекта тележки, м.

Правая часть (7) имеет значение $+\frac{1}{M}F_{тр.з}$ или $-\frac{1}{M}F_{тр.з}$ в

зависимости от знака $\dot{z}_r = v_r$.

За начальные условия данной задачи, согласно результату решения задачи, изложенной в [2], примем при $t = t_1$: $z_r|_{t=t_1} = z_{r1}$ (начальное отклонение) и $\dot{z}_r|_{t=t_1} = \dot{z}_{r1} = v_{r1}$ (начальная скорость).

Требуется решить кусочно-линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (7), описывающее движение вагона с грузом с упругой подвеской при наличии силы сухого трения относительно волны неровности пути.

Кусочно-линейные системы типа (7) могут быть решены приближенно, с учетом заданных начальных условий, аналогично задачам свободных колебаний тела при воздействии силы сухого трения методом припасовывания («сшивания») решений предыдущего участка к последующему [4, 5, 8]. Например, вначале решают задачу движения рамы вагона с грузом (тела) на первом участке, соответствующем условию $-z_{r1} \leq z_r \leq z_{r1}$, когда включены в работу только комплекты подвесочных пружин тележек. Затем, определяя перемещение и скорость тела в конце первого участка и принимая их за начальные условия второго участка, задачу решают для второго участка $z_{r1} \leq z_r \leq z_{r2}$, когда включена в работу еще одна из подвесочных пружин тележек. Далее, находя перемещение и скорость тела в конце второго участка и принимая их за начальные условия третьего участка, задачу решают для последнего участка $z_{r2} \leq z_r \leq z_{r3}$, когда включены в работу все подвесочные пружины тележки.

Кусочно-линейное уравнение (7) может быть решено припасовыванием («сшиванием») решений чисто линейных уравнений, которые могут быть найдены без затруднений [4, 5, 8] при начальных условиях $t = t_1$: $z_r|_{t=t_1} = z_{r1}$ (начальное отклонение) и $\dot{z}_r|_{t=t_1} = \dot{z}_{r1} = v_{r1}$ (начальная скорость).

Рассмотрим второй участок движения кузова вагона с грузом по волнам неровности пути, где в работу включается подвесочная пружина 3 (см. рис. 2), в результате чего образуется пара трения «фрикционный клин 6 — фрикционная планка 8» и соответственно этому сила трения $F_{тр.з6}$.

Учтем следующее замечание. Если в некоторый момент времени t_1 отклонение кузова вагона с грузом от положения равновесия равно $z_{r2}(t)$, а скорость $\dot{z}_{r2}(t)|_{t=t_1} = 0$, то, для того чтобы движение могло продолжаться, необходимо, чтобы в этот момент времени сила $F_{упр.2} = -c_2 z_r$, где c_2 — эквивалентная жесткость пружин в комплекте тележек (например, 15,36 кН/мм, см. рис. 2 поз. 2 и 3), равная жесткости параллельно включенных пружин c_1 и c_{03r} , с которой пружина действует на тело, была больше силы трения $F_{тр.з6}$. Т. е. чтобы выполнялось

неравенство $k_2^2 z_{r2} > \frac{F_{тр.з6}}{M}$ (см. (7)). Отсюда $|z_{r2}| > \frac{F_{тр.з6}}{Mk_2^2}$. В противном случае, т. е. если $|z_{r2}| < \frac{F_{тр.з6}}{Mk_2^2}$, тело остается в этой точ-

ке, так как силы упругости — $F_{упр.2}$ (см. (7)) по величине меньше, чем сила трения — $F_{тр.з6}$. Поэтому следует рассматривать уравнение (7) как кусочно-линейное, поскольку оно линейно на любом интервале, на котором скорость \dot{z}_r сохраняет свой знак.

Характер относительных свободных колебаний обрессоренной массы, когда в работу включены подвесочной упругий элемент (см. рис. 2 поз. 3) и пара трения «фрикционный клин — фрикционная планка», представлен на рис. 4 [5].

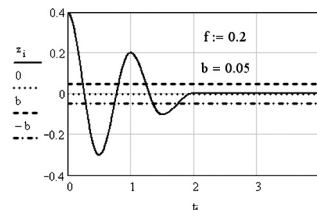


Рисунок 4 — График свободных колебаний тела при $f = \text{var}$

На рис. 4. параллельно оси времени проведены две пря-

мые: $z = \frac{F_{тр}}{Mk^2} = b$ и $z = -\frac{F_{тр}}{Mk^2} = -b$. Около верхней прямой

($+b$) располагаются косинусоиды, соответствующие движению вниз (нечетные полупериоды), около нижней прямой ($-b$) — косинусоиды, соответствующие движению вверх (четные полупериоды). Если какой-либо полупериод заканчивается в полосе $+b$ и $-b$, расположенной между двумя прямыми, то движение прекращается: эту полосу называют зоной застоя (или мертвой зоной).

Общее решение уравнения (7) при реальном движении обрессоренной массы сверху вниз (т. е. на участке постоянства направления скорости) имеет вид:

$$z_{r2}(t) = A_1 \cos(k_2 t) + B_1 \sin(k_2 t) - \frac{F_{тр.з6}}{Mk_2^2} \text{sign}\left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|}\right); \quad (9)$$

$$\dot{z}_{r2}(t) = -A_1 k_2 \sin(k_2 t) + B_1 k_2 \cos(k_2 t), \quad (10)$$

где A_1 и B_1 — постоянные интегрирования, которые следует найти из начальных условий задачи.

Так как согласно [2] для рассматриваемой задачи $z_{r2}(t)|_{t=t_1} = z_{r1}$ (начальное отклонение) и $\dot{z}_{r2}(t)|_{t=t_1} = \dot{z}_{r1} = v_{r1}$ (начальная скорость) в предположении, что движение вниз происходит до момента остановки обрессоренной массы [5], то

$z_{ст.2} > \frac{F_{тр.з6}}{Mk_2^2}$, поскольку в противном случае тело останется в

покое в равновесном положении. Так как начальное положение ($z_{r2} > 0$) положительное (движение тела вниз), то на этом участке относительная скорость должна быть положительной,

следовательно, $\text{sign}\left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|}\right) = 1$. С учетом этого из (9), (10) и начальных условий находим:

$$z_{r1} = A_1 \cos(k_2 t) + B_1 \sin(k_2 t) - \frac{F_{тр.з6}}{Mk_2^2}; \quad (11)$$



$$\dot{z}_{r1} = -A_1 k_2 \sin(k_2 t) + B_1 k_2 \cos(k_2 t). \quad (12)$$

Перепишем последние выражения в виде:

$$A_1 \cos(k_2 t) + B_1 \sin(k_2 t) = z_{r1} + \frac{F_{\text{тр.з6}}}{Mk_2^2}; \quad (13)$$

$$-A_1 k_2 \sin(k_2 t) + B_1 k_2 \cos(k_2 t) = \dot{z}_{r1}. \quad (14)$$

Отсюда в силу правила Крамера [9] окончательно найдем постоянные интегрирования A_1 и B_1 :

$$A_1 = \left(z_{r1} + \frac{F_{\text{тр.з6}}}{Mk_2^2} \right) \cos(k_2 t) - \frac{\dot{z}_{r1}}{k_2} \sin(k_2 t); \quad (15)$$

$$B_1 = \frac{\dot{z}_{r1}}{k_2} \cos(k_2 t) + \left(z_{r1} + \frac{F_{\text{тр.з6}}}{Mk_2^2} \right) \sin(k_2 t). \quad (16)$$

Следовательно, второй этап движения кузова вагона с грузом по волнам неровности пути, соответствующий движению сверху вниз (см. (9) и (10)), математически запишется в виде:

$$z_{r2}(t) = A_1 \cos(k_2 t) + B_1 \sin(k_2 t) - \frac{F_{\text{тр.з6}}}{Mk_2^2}; \quad (17)$$

$$\dot{z}_{r2}(t) = -A_1 k_2 \sin(k_2 t) + B_1 k_2 \cos(k_2 t); \quad (18)$$

$$\ddot{z}_{r2}(t) = -A_1 k_2^2 \cos(k_2 t) - B_1 k_2^2 \sin(k_2 t). \quad (19)$$

Из (17) следует, что перемещение тела достигнет максимального значения при $\sin(k_2 t) = 0$ или $k_2 t = n\pi$, т. е. $t_2 = \frac{n\pi}{k_2}$ (n — натуральные числа). Следует иметь в виду, что в конце этого промежутка $\dot{z}_{r2}(t) \neq 0$, т. е. (17) справедливо лишь до момента остановки тела $t < t_2$ [5], причем $t_1 < t < t_2$.

Рассмотрим третий участок движения кузова вагона с грузом по волнам неровности пути, где в работу включается подклиновья пружина 4 (см. рис. 2). Теперь полностью включаются в работу по снижению амплитуды колебаний пары трения «фрикционный клин 6 — фрикционная планка 8» и «фрикционный клин 5 — фрикционная планка 7» и соответственно этому сила трения $F_{\text{тр.з7}}$ определяемая по (5).

Аналогично второму участку учтем следующее замечание. Если в некоторый момент времени t_2 отклонение кузова вагона с грузом от положения равновесия равно $z_{r3}(t)$, а скорость $\dot{z}_{r3}(t)|_{t=t_2} = 0$, то, для того чтобы движение могло продолжаться, необходимо, чтобы в этот момент времени сила $F_{\text{упр3}} = -c_3 z$, где c_3 — эквивалентная жесткость пружин в комплекте тележек (например, 17,92 кН/мм, см. рис. 2 поз. 2, 3 и 4), равная жесткости параллельно включенных пружин c_2 и c_{04} , с которой пружина действует на тело, была больше силы трения $F_{\text{тр.з7}}$, т. е.

чтобы выполнялось неравенство $k_3^2 z_{r3} > \frac{F_{\text{тр.з7}}}{M}$. Отсюда

$|z_{r3}| > \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}$. В противном случае, т. е. если $|z_{r3}| < \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}$, тело оста-

ется в этой точке, так как силы упругости — $F_{\text{упр3}}$ по величине меньше, чем сила трения — $F_{\text{тр.з7}}$. Поэтому следует рассматривать уравнение (7) как кусочно-линейное, поскольку оно

линейно на любом интервале, на котором скорость \dot{z}_{r3} сохраняет свой знак.

Общее решение уравнения (7) при реальном движении тела сверху вниз (т. е. на участке постоянства направления скорости) имеет вид:

$$z_{r3}(t) = A_2 \cos(k_3 t) + B_2 \sin(k_3 t) - \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2} \text{sign} \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right); \quad (20)$$

$$\dot{z}_{r3}(t) = -A_2 k_3 \sin(k_3 t) + B_2 k_3 \cos(k_3 t), \quad (21)$$

где A_2 и B_2 — постоянные интегрирования, которые следует найти из начальных условий задачи.

Так как для рассматриваемой задачи $z_{r3}(t)|_{t=t_2} = z_{r2}$ (на-

чальное отклонение) и $\dot{z}_{r3}(t)|_{t=t_2} = \dot{z}_{r2} = v_{r2}$ (начальная ско-

рость) в предположении, что движение вниз происходит до момента остановки обрессоренной массы [5], тогда

$z_{\text{ст.3}} > \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}$, поскольку в противном случае, как было выше,

тело останется в покое в равновесном положении (центр колебаний). Так как начальное положение ($z_{r3} > 0$) положительное (движение тела вниз), то на этом участке скорость должна быть положительной, следовательно, на этом участ-

ке $\text{sign} \left(\frac{\dot{z}}{|\dot{z}|} \right) = 1$. С учетом этого из (9), (10) и начальных условий находим:

$$z_{r2} = A_2 \cos(k_3 t) + B_2 \sin(k_3 t) - \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}; \quad (22)$$

$$\dot{z}_{r2} = -A_2 k_3 \sin(k_3 t) + B_2 k_3 \cos(k_3 t). \quad (23)$$

Перепишем последние выражения в виде:

$$A_2 \cos(k_3 t) + B_2 \sin(k_3 t) = z_{r2} + \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}; \quad (24)$$

$$-A_2 k_3 \sin(k_3 t) + B_2 k_3 \cos(k_3 t) = \dot{z}_{r2}. \quad (25)$$

Отсюда в силу правила Крамера [9] окончательно найдем постоянные интегрирования A_2 и B_2 :

$$A_2 = \left(z_{r2} + \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2} \right) \cos(k_3 t) - \frac{\dot{z}_{r2}}{k_3} \sin(k_3 t); \quad (26)$$

$$B_2 = \frac{\dot{z}_{r2}}{k_3} \cos(k_3 t) + \left(z_{r2} + \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2} \right) \sin(k_3 t). \quad (27)$$

Следовательно, второй этап движения кузова вагона с грузом по волнам неровности пути, соответствующий движению сверху вниз (см. (9) и (10)), математически запишется в виде:

$$z_{r3}(t) = A_2 \cos(k_3 t) + B_2 \sin(k_3 t) - \frac{F_{\text{тр.з7}}}{Mk_3^2}; \quad (28)$$

$$\dot{z}_{r3}(t) = -A_2 k_3 \sin(k_3 t) + B_2 k_3 \cos(k_3 t); \quad (29)$$

$$\ddot{z}_{r3}(t) = -A_2 k_3^2 \cos(k_3 t) - B_2 k_3^2 \sin(k_3 t). \quad (30)$$

Из (28) следует, что перемещение тела достигнет максимального значения при $\sin(k_3 t) = 0$ или $k_3 t = n\pi$, т. е. $t_3 = \frac{n\pi}{k_3}$.

Следует иметь в виду, что в конце этого промежутка $\dot{z}_{r,3}(t) \neq 0$, т. е. (28) справедливо лишь до момента остановки тела $t < t_3$ [5], причем $t_2 < t < t_3$.

Поскольку нас интересуют только максимальные значения относительных перемещений, скорости и ускорения вагона с грузом при движении подвижного состава по волнам неровности пути, то дальнейшие исследования движения вагона с грузом не проводим.

Характер свободных колебаний обрессоренной массы, когда в работу включены все упругие элементы и пары трения «фрикционные клинья — фрикционные планки», имеет вид, представленный на рис. 5 [5].

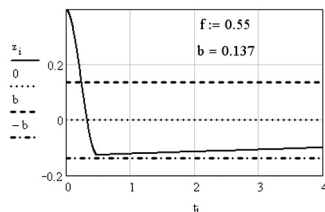


Рисунок 5 — График свободных колебаний тела

Анализ полученных результатов решений. Особо отметим, что при последовательном включении в работу подклиновых пружин силы сухого трения способствуют уменьшению (гашению) амплитуды колебаний, т. е. способствуют эффективному функционированию пружинно-фрикционных комплектов тележек вагона.

Таким образом, затухание свободных колебаний является результатом наличия в колебательной системе внешнего сопротивления в виде силы сухого трения. Однако в реальности обрессоренная масса совершает как свободные, так и вынужденные относительные колебания, обусловленные волной неровности пути. Для описания движения обрессоренной массы, соответствующего реальности, следует заменить силу сухого трения, меняющую свой знак при переходе системы из равновесного положения, эквивалентной ей силой вязкого сопротивления [10].

Выводы. На основе выполненных аналитических исследований можно отметить, что выведены и решены кусочно-линейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами, описывающие движение вагона с грузом с упругой подвеской в сочетании с силой сухого трения относительно волны неровности пути. При этом для учета изменения направления постоянной силы трения рассматривали отдельно каждую половину цикла. Это обстоятельство осложняет строгое исследование задачи о вынужденных колебаниях, поэтому приближенное решение получено без больших трудностей.

Литература

1. Добычин И.А. Основы теории механического удара с приложением к задачам железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. Екатеринбург, 1994. 144 с.
2. Оленцевич В.А. Вертикальные колебания вагона с грузом при движении подвижного состава по волнам неровности пути // Транспорт Урала. 2010. № 1. С. 49 — 53.
3. Никонов А.М. К вопросу о необходимости знания взаимодействия вагона и пути для путейцев // Безопасность движения поездов: Труды Восьмой науч.-практ. конф. М.: МИИТ, 2007. С. 20 — 21.
4. Бутенин Н.В., Луниц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики в двух томах. СПб.: Лань, 1998. 736 с.
5. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н. Теоретическая механика в задачах погрузки-выгрузки и перевозки грузов в вагонах: Учеб. пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта. Екатеринбург: УрГУПС, 2006. 453 с.
6. Туранов Х.Т., Черепов О.В. Обобщенная модель пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Транспорт: наука, техника и управление. 2009. № 12. С. 32 — 36.
7. Туранов Х.Т., Черепов О.В. Численное моделирование пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Транспорт: наука, техника и управление. 2010. № 1. С. 10 — 13.
8. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем / Пер. с англ. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 456 с.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1964. 608 с.
10. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. М.: Наука, 1967. 444 с.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА НА РАБОТУ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

В [1] авторами рассматривалось применение метода малых отклонений для оценки влияния параметров системы наддува на работу двухтактного тепловозного дизеля 10Д100 с комбинированной системой наддува.

В настоящей статье приведены исследования для простой схемы наддува, характерной для четырехтактных тепловозных дизелей ПД1М и Д49, система воздухообеспечения которых состоит из турбокомпрессора (ТК) и охладителя наддувочного воздуха.

Система уравнений рабочего процесса турбокомпрессора и дизеля включает восемь основных уравнений при постоянных внешних условиях ($T_0 = \text{const}, p_0 = \text{const}$): уравнение температуры наддувочного воздуха после компрессора ТК

$$\delta T_k = k_1 k_2 \delta \pi_k - k_2 \delta \eta_k; \quad (1)$$

уравнение расхода воздуха через компрессор

$$\delta G_k = (1 - k_1 k_2) \delta \pi_k + k_2 \delta \eta_k; \quad (2)$$

уравнение расхода воздуха через двигатель

$$\delta G_b = k_4 k_5 \delta p_{кт} + k_6 \delta \pi_k + k_7 \delta \eta_k; \quad (3)$$

уравнение баланса мощности на валу турбокомпрессора

$$\delta \pi_k = \frac{1}{k_8} (k_1 \delta \pi_k - \delta T_k - \delta \eta_k - \delta \eta_r); \quad (4)$$

уравнение расхода газа через сопловой аппарат турбины

$$\delta G_r = \delta \pi_r - 0,5 \delta T_r + \delta F_c; \quad (5)$$

уравнение расхода воздуха с учетом изменения параметров работы ТК вдоль линии рабочих режимов

$$\delta G_b = 0,5 k_8 \delta \pi_k + k_9 \delta \eta_k + \delta F_c + 0,5 \delta \eta_r; \quad (6)$$

уравнение температуры продувочно-наддувочного воздуха

$$\delta T_s = k_1 k_2 \delta \pi_k - k_2 \delta \eta_k; \quad (7)$$

уравнение расхода топлива

$$\delta B_r = \delta G_b + k_{10} \delta T_r - (k_{10} - 1) \delta T_s, \quad (8)$$

где δx — относительные изменения параметров;

k_i — коэффициенты влияния.

Эта система уравнений позволяет выразить относительные изменения семи контролируемых величин (степени повышения давления в компрессоре ТК $\delta \pi_k$, степени расширения газов в турбине ТК $\delta \pi_r$, температуры воздуха после компрессора ТК δT_k , температуры воздуха в воздушном ресивере δT_r , расхода воздуха через компрессор ТК δG_k , температуры газов перед турбиной ТК δT_r , расхода топлива δB_r) в функции приращений независимых переменных: КПД турбины $\delta \eta_r$ и компрессора $\delta \eta_k$ и площади проходного сечения соплового аппарата турбины δF_c .

Результаты решения уравнений (1) — (8) в общем виде приведены в табл. 1. В каждом вертикальном столбце представлены коэффициенты влияния одной из трех рассматриваемых независимых переменных $\delta \eta_k$, $\delta \eta_r$ и δF_c на параметры рабочего процесса двигателя $\delta \pi_k$, $\delta \pi_r$, δT_k , δG_k , δT_r и δB_r .

Каждый коэффициент влияния можно проанализировать в общем виде. Взяв, например, коэффициент, находящийся на

Таблица 1 — Коэффициенты влияния параметров технического состояния агрегатов наддува на параметры работы дизеля

| Контролируемый параметр | Значение коэффициентов регрессии независимых параметров | | |
|-------------------------|---|-----------------|--------------|
| | $\delta \eta_k$ | $\delta \eta_r$ | δF_c |
| $\delta \pi_k$ | x_1 | x_2 | x_3 |
| δT_r | x_4 | x_5 | x_6 |
| $\delta \pi_r$ | x_7 | x_8 | x_9 |
| δT_k | x_{10} | x_{11} | x_{12} |
| δG_k | x_{13} | x_{14} | x_{15} |
| δB_r | x_{16} | x_{17} | x_{18} |

пересечении первого вертикального $\delta \eta_k$ и второго горизонтального δT_r рядов таблицы

$$\delta T_r / \delta \eta_k = x_{14}, \quad (9)$$

получим зависимость, по которой можно определить влияние изменения КПД компрессора на температуру газа перед турбиной двигателя с любыми параметрами компрессора, турбины и двигателя.

Так, коэффициент k_1 зависит от степени повышения давления π_r , коэффициент k_2 — от увеличения температуры воздуха при сжатии в компрессоре ТК, коэффициент k_8 — от степени расширения газа в турбине π_r и т. д. Поэтому при одном и том же изменении КПД компрессора ТК температура газа перед турбиной будет по-разному изменяться для различных режимов работы двигателя.

Таким образом, разработанная методика оценки величины коэффициентов влияния при изменении контролируемых параметров газозвушного тракта позволяет перейти к задаче определения количественных зависимостей (доли влияния) между параметрами двигателя на ряде конкретных примеров.

Проанализируем влияние любой из независимых переменных. Для этого определим количественные зависимости между параметрами выполненных дизелей на ряде конкретных примеров, позволяющих оценить влияние турбокомпрессора на работу эксплуатируемого двигателя. Воспользуемся расчетными параметрами двигателей ПД1М, 1А-5Д49 и 2А-5Д49, которые приведены в табл. 2. Двигатели имеют простую схему наддува — один турбокомпрессор и охладитель наддувочного воздуха.

Численные значения коэффициентов влияния k_1, k_2, \dots, k_9 приведены в табл. 3.

Численные значения коэффициентов влияния независимых параметров на контролируемые параметры рассматриваемых двигателей представлены в табл. 4 — 6.

Таблица 2 — Параметры рабочего процесса дизелей

| Параметр | Значение параметра дизеля | | |
|---|---------------------------|---------|---------|
| | ПД1М | 1А-5Д49 | 2А-5Д49 |
| Давление атмосферного воздуха, МПа | 0,1013 | | |
| Температура окружающего воздуха, К | 293 | | |
| Эффективная мощность дизеля, кВт | 882 | 2 200 | 2 940 |
| Частота вращения вала дизеля, мин ⁻¹ | 750 | 1 000 | |
| Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч) | 0,231 | 0,208 | 0,210 |
| Коэффициент избытка воздуха в цилиндре | 2,10 | 2,23 | 2,12 |
| Расход воздуха, кг/с | 1,6 | 4,1 | 5,2 |
| Коэффициент продувки | 1,12 | 1,15 | |
| Коэффициент остаточных газов | 0,02 | 0,03 | |
| Температура остаточных газов, К | 850 | | |
| Повышение температуры воздуха вследствие теплоотдачи от стенок, К | 10 | | |
| Давление воздуха после турбокомпрессора, МПа | 0,162 | 0,235 | 0,280 |
| Температура воздуха после турбокомпрессора, К | 355 | 395 | 463 |
| Давление воздуха после ОХНВ, МПа | 0,154 | 0,227 | 0,272 |
| Температура воздуха после ОХНВ, К | 328 | 348 | 351 |
| Коэффициент эффективности охлаждения | 0,73 | 0,83 | |
| Давление газа перед турбиной, МПа | 0,13 | 0,182 | 0,204 |
| Температура газов перед турбиной, К | 803 | 813 | 863 |
| КПД компрессора | 0,79 | 0,80 | 0,80 |
| КПД турбины | 0,77 | 0,79 | 0,79 |

Таблица 3 — Значение коэффициентов влияния

| Коэффициент влияния | Значение коэффициента влияния для дизеля | | |
|---------------------|--|---------|---------|
| | ПД1М | 1А-5Д49 | 2А-5Д49 |
| k ₁ | 2,189 | 1,310 | 1,115 |
| k ₂ | 0,175 | 0,258 | 0,367 |
| k ₃ | 0,944 | 0,929 | 0,930 |
| k ₄ | 0,354 | 0,339 | 0,336 |
| k ₅ | 0,838 | 0,741 | 0,699 |
| k ₆ | 0,107 | 0,130 | 0,130 |
| k ₇ | -2,166 | -1,478 | -0,953 |
| k ₈ | 0,667 | 0,683 | 0,691 |
| k ₉ | 0,152 | 0,242 | 0,277 |
| k ₁₀ | 3,883 | 1,726 | 1,404 |
| k ₁₁ | 1,727 | 1,788 | 1,719 |

Таблица 4 — Численные значения коэффициентов влияния независимых параметров на контролируемые параметры дизеля ПД1М

| Контролируемый параметр | Значение коэффициентов регрессии независимых параметров | | |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | δη _к | δη _т | δF _с |
| δπ _к | -0,035 | -0,356 | 0,712 |
| δT _т | -0,568 | -0,101 | -1,371 |
| δπ _т | -0,131 | -0,432 | 0,755 |
| δT _к | -0,188 | -0,136 | 0,272 |
| δG _к | 0,153 | -0,220 | 0,440 |
| δB _т | -0,964 | -0,494 | -0,029 |

Таблица 5 — Численные значения коэффициентов влияния независимых параметров на контролируемые параметры дизеля 1А-5Д49

| Контролируемый параметр | Значение коэффициентов регрессии независимых параметров | | |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | δη _к | δη _т | δF _с |
| δπ _к | 3,594 | 1,67 | -3,340 |
| δT _т | -0,453 | -0,021 | -1,227 |
| δπ _т | 2,410 | 0,700 | -1,824 |
| δT _к | 0,957 | 0,565 | -1,130 |
| δG _к | 2,636 | 1,105 | -2,211 |
| δB _т | 2,581 | 1,512 | -0,262 |

Таблица 6 — Численные значения коэффициентов влияния независимых параметров на контролируемые параметры дизеля 2А-5Д49

| Контролируемый параметр | Значение коэффициентов регрессии независимых параметров | | |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | δη _к | δη _т | δF _с |
| δπ _к | 2,331 | 0,998 | -1,997 |
| δT _т | -0,500 | -0,119 | -1,160 |
| δπ _т | 1,494 | 0,165 | -0,759 |
| δT _к | 0,587 | 0,409 | -0,817 |
| δG _к | 1,744 | 0,590 | -1,179 |
| δB _т | 1,308 | 0,679 | -0,008 |

Анализ данных таблиц позволяет сделать следующие выводы.

1. Изменения независимых параметров по-разному влияют на параметры работы двигателя. Например, уменьшение площади соплового аппарата турбины турбокомпрессора дизеля 2А-5Д49 на 1% увеличит степень расширения газа в турбине на 0,759%, такое же уменьшение площади соплового аппарата турбины турбокомпрессора дизеля 1А-5Д49 приведет к увеличению степени расширения на 1,824%, а для дизеля ПД1М эта величина уменьшится на 0,755%.

2. Уменьшение площади соплового аппарата вызывает увеличение всех контролируемых параметров для дизелей типа Д49. Для дизеля ПД1М уменьшение площади соплового аппарата приводит к увеличению температуры газа перед турбиной и расходу топлива.

3. Уменьшение КПД компрессора и турбины для дизеля ПД1М вызывает рост почти всех контролируемых параметров, а для дизелей типа Д49 — уменьшение параметров.

Кроме того, изменение параметров работы дизеля может быть вызвано только частичным влиянием каждого независимого параметра. Следует полагать, что параметры δη_к и δη_т зависят от величины изменения площади δF_с.

На основании приведенных выше данных можно проанализировать влияние изменения площади сечения соплового аппарата турбины турбокомпрессора на параметры работы дизеля. Рассмотрим влияние уменьшения площади сечения соплового аппарата турбокомпрессора ТК30 за счет золотых отложений на его лопатках. Так, при сокращении площади проходного сечения на 5% степень повышения давления уменьшится на δF_с(δπ_т/δF_с) = 0,712·5 = 3,56%, а расход воздуха



$\delta F_c (\delta G_k / \delta F_c) = 0,44 \cdot 5 = 2,2\%$. Эти две новые координаты позволяют определить на характеристике компрессора новую точку Б работы турбокомпрессора (рис. 1). КПД компрессора в точке Б меньше, чем в начальной точке А, примерно на 1%, а относительное снижение КПД составляет 1,27%.

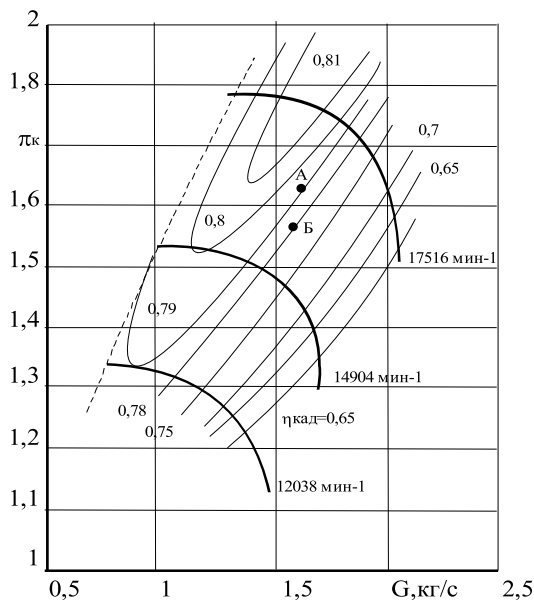


Рисунок 1 — Характеристика компрессора турбокомпрессора ТК30

Уменьшение степени расширения газа в турбине при золотых отложениях на лопатках составляет $\delta F_c (\delta \pi_t / \delta F_c) = 0,755 \cdot 5 = 3,775\%$, т. е. вместо $\pi_t = 1,28$ при работе на новом режиме будем иметь $\pi_t' = 1,23$. Уменьшение площади проходного сечения соплового аппарата, с одной стороны, снижает КПД турбины на 1%, а относительное уменьшение КПД турбины составляет $\delta \eta_t = 1,3\%$.

С учетом сделанных выводов изменения температуры газа δT_t и часового расхода топлива δB_t определим следующим образом:

$$\delta T_t = \left(\frac{\delta T_t}{\delta \eta_k} \right) \delta \eta_k + \left(\frac{\delta T_t}{\delta \eta_t} \right) \delta \eta_t + \left(\frac{\delta T_t}{\delta F_c} \right) \delta F_c =$$

$$= (-1,27) \cdot (-0,568) + (-1,3) \cdot (-0,101) + (-5) \cdot (-1,371) = 7,71 \%$$

$$\delta B_t = \left(\frac{\delta B_t}{\delta \eta_k} \right) \delta \eta_k + \left(\frac{\delta B_t}{\delta \eta_t} \right) \delta \eta_t + \left(\frac{\delta B_t}{\delta F_c} \right) \delta F_c =$$

$$= (-1,27) \cdot (-0,964) + (-1,3) \cdot (-0,494) + (-5) \cdot (-0,029) = 2,01 \%$$

При уменьшении площади проходного сечения соплового аппарата турбокомпрессора ТК38 (дизель 1А-5Д49) на 5% степень повышения давления увеличится на $\delta F_c (\delta \pi_k / \delta F_c) = 3,34 \cdot 5 = 16,7\%$, а расход воздуха $\delta F_c (\delta G_k / \delta F_c) = 2,211 \cdot 5 = 11,06\%$. Найдем на характеристике компрессора новую точку Б работы турбокомпрессора (рис. 2).

КПД компрессора в точке Б примерно останется равным КПД компрессора в точке А, т. е. $\delta \eta_k = 0$. Увеличение степени расширения газа в турбине при золотых отложениях на лопатках составляет $\delta F_c (\delta \pi_t / \delta F_c) = 1,824 \cdot 5 = 9,12\%$, т. е. вместо $\pi_t = 1,72$ при работе на новом режиме будем иметь $\pi_t' = 1,88$. Как и для предыдущего случая, КПД турбины

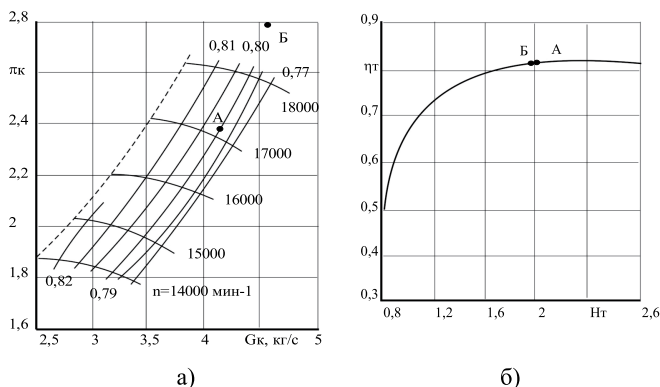


Рисунок 2 — Характеристика турбокомпрессора ТК38: а — компрессора; б — турбины

ны при уменьшении площади практически не изменяется, т. е. $\delta \eta_t = 0$.

С учетом сделанных выводов изменения температуры газа δT_t и часового расхода топлива δB_t определим следующим образом:

$$\delta T_t = \left(\frac{\delta T_t}{\delta \eta_k} \right) \delta \eta_k + \left(\frac{\delta T_t}{\delta \eta_t} \right) \delta \eta_t + \left(\frac{\delta T_t}{\delta F_c} \right) \delta F_c = (-5) \cdot (-1,227) = 6,14 \%$$

$$\delta B_t = \left(\frac{\delta B_t}{\delta \eta_k} \right) \delta \eta_k + \left(\frac{\delta B_t}{\delta \eta_t} \right) \delta \eta_t + \left(\frac{\delta B_t}{\delta F_c} \right) \delta F_c = (-5) \cdot (-0,262) = 1,31 \%$$

Для рассмотренных случаев уменьшение площади проходного сечения соплового аппарата на 5% приводит к росту как температуры газов перед турбиной, так и к увеличению расхода топлива.

При оценке влияния независимых параметров на параметры работы эксплуатируемого дизеля с помощью метода малых отклонений необходимо определить границы его применимости.

При малых изменениях параметров (2 — 5%) точность метода не будет вызывать никаких сомнений. Но при более значительном изменении параметров процесса (10 — 20%) начнет сказываться погрешность, связанная с самим существованием метода.

Определим погрешность метода малых отклонений. Найдем зависимость контролируемых параметров двигателя от независимых, т. е. функции вида

$$\pi_k = \pi_k(\eta_k). \quad (10)$$

Ранее в соответствии с методом малых отклонений полагали, что

$$\delta \pi_k = x_1 \delta \eta_k, \quad (11)$$

где x_1 — коэффициент влияния КПД компрессора на степень повышения давления в компрессоре ТК.

Относительную погрешность величины $\delta \pi_k$ определим по формуле

$$\Delta \pi_k = x_1' \delta \eta_k^2 = \frac{x_1}{2} \left(\frac{\delta x_1}{\delta \eta_k} + x_1 - 1 \right) \delta \eta_k^2. \quad (12)$$

При заданных значениях $\delta x_1 = 0,1$ и $\delta \eta_k = 0,05$ относительная погрешность $\delta \pi_k$ не превысит значения

$$\Delta \pi_k = x_1' \delta \eta_k^2 = \frac{3,594}{2} \left(\frac{0,1}{0,05} + 3,594 - 1 \right) 0,05^2 \cdot 100 = 2,06 \%$$

Результаты расчетов оценки влияния КПД компрессора, КПД турбины и площади сечения соплового аппарата турбины на контролируемые параметры приведены в табл. 7.

Изменение КПД турбины даже на 20% дает хороший результат при определении изменения всех контролируемых параметров. Изменение КПД компрессора и площади сечения соплового аппарата дает приемлемый результат только до 10% (погрешность расчета менее 5%).

Полагая допустимой погрешность 5%, установим следующие границы применения метода малых отклонений в данном случае: $\delta x_{ij} < 20\%$, $\delta \eta_k < 10\%$, $\delta \eta_t < 10\%$, $\delta F_c < 10\%$.

Наибольшее влияние на работу дизеля может оказать изменение площади проходного сечения соплового аппарата газовой турбины F_{σ} поэтому необходимо постоянно контролировать ее техническое состояние. Контроль следует осуществлять путем очистки рабочих поверхностей от маслянистых и сажевых (золовых) образований.

Таблица 7 — Расчет погрешности при использовании метода малых отклонений (дизель 1А-5Д49)

| Относительная погрешность контролируемого параметра, % | Относительное отклонение коэффициента влияния | | | | | |
|--|---|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | $\delta x_{ij}=0,1$ | $\delta x_{ij}=0,2$ | $\delta x_{ij}=0,1$ | $\delta x_{ij}=0,2$ | $\delta x_{ij}=0,1$ | $\delta x_{ij}=0,2$ |
| | независимого параметра | | | | | |
| | $\delta \eta_k=0,05$ | | $\delta \eta_k=0,10$ | | $\delta \eta_k=0,20$ | |
| $\Delta \pi_k$ | 2,06 | 2,96 | 6,46 | 8,26 | 22,24 | 25,83 |
| ΔT_t | -0,03 | -0,14 | 0,10 | -0,12 | 0,86 | 0,41 |
| $\Delta \pi_t$ | 1,03 | 1,63 | 2,90 | 4,11 | 9,21 | 11,62 |
| ΔT_k | 0,23 | 0,47 | 0,46 | 0,94 | 0,87 | 1,83 |
| ΔG_k | 1,20 | 1,86 | 3,47 | 4,79 | 11,26 | 13,90 |
| ΔB_t | 1,16 | 1,80 | 3,33 | 4,62 | 10,74 | 13,32 |
| | $\delta \eta_t=0,05$ | | $\delta \eta_t=0,10$ | | $\delta \eta_t=0,20$ | |
| $\Delta \pi_k$ | 0,56 | 0,97 | 1,39 | 2,23 | 3,91 | 5,58 |
| ΔT_t | 0,00 | -0,01 | 0,00 | -0,01 | 0,02 | 0,00 |
| $\Delta \pi_t$ | 0,15 | 0,32 | 0,25 | 0,60 | 0,28 | 0,98 |
| ΔT_k | 0,11 | 0,25 | 0,16 | 0,44 | 0,07 | 0,64 |
| ΔG_k | 0,29 | 0,57 | 0,61 | 1,16 | 1,34 | 2,44 |
| ΔB_t | 0,47 | 0,85 | 1,14 | 1,90 | 3,06 | 4,57 |
| | $\delta F_c=0,05$ | | $\delta F_c=0,10$ | | $\delta F_c=0,20$ | |
| $\Delta \pi_k$ | 0,98 | 0,14 | 5,58 | 3,91 | 25,65 | 22,31 |
| ΔT_t | 0,03 | -0,27 | 0,75 | 0,14 | 4,24 | 3,01 |
| $\Delta \pi_t$ | 0,19 | -0,27 | 1,66 | 0,75 | 8,48 | 6,65 |
| ΔT_k | 0,02 | -0,26 | 0,64 | 0,07 | 3,68 | 2,55 |
| ΔG_k | 0,33 | -0,22 | 2,44 | 1,34 | 11,99 | 9,78 |
| ΔB_t | -0,02 | -0,09 | 0,03 | -0,10 | 0,40 | 0,14 |

Литература

1. Сквородников Е.И., Анисимов А.С., Тарута М.В., Ахметов С.И. Применение метода малых отклонений для оценки влияния параметров системы наддува на работу тепловозного дизеля // Транспорт Урала. 2009. № 2 (21). С. 79 — 82.



ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ ГРЕБНЕЙ НА РЕСУРС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Пробег между ремонтами одного вида, как правило, зависит от ресурса определенных деталей. На периодичность текущего ремонта ТР-3 влияет ресурс бандажей колесных пар, тем самым устанавливая бандажи в разряд «лимитирующих деталей» для этого вида ремонта.

Необходимость повышения срока службы бандажей обусловлена не только возможностью увеличения пробега между ремонтами — замена бандажей колесных пар трудоемкий и дорогостоящий процесс, проводить который можно только в специально подготовленных для этого ремонтных помещениях. Актуальность этой проблемы подтверждается стратегией развития ОАО «РЖД» до 2015 г., согласно которой пробег бандажей колесных пар требуется увеличить до 1 млн км.

Износ бандажей колесных пар подвижного состава и рельсов влияет на срок их службы и тем самым на эксплуатационные расходы, экономические показатели железнодорожного транспорта. Вписывание колес тележек в кривые — процесс достаточно сложный. Он определяет интенсивность бокового износа рельсов и гребней бандажей. Боковой износ рельсов и гребней колесных пар локомотивов — явление многофакторное, и, чтобы существенно снизить его интенсивность, необходимо противопоставить ему не одно, а целый комплекс мероприятий.

Особо остановимся на зависимости износа от состава и качества применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов.

Конструкция и размеры бандажей должны соответствовать ГОСТ 3225 и 11018-2000. Бандажи изготавливают из углеродистой стали, выплавляемой в мартеновских, электрических печах или конвертерным способом, двух марок: сталь марки 1 — для пассажирских локомотивов и сталь марки 2 — для грузовых, маневровых локомотивов и МВПС. Бандажи, изготовленные в «черновом» виде, должны соответствовать требованиям ГОСТ 398-96.

Рельсы являются основным элементом верхнего строения железнодорожного пути, воспринимающим воздействие от колес подвижного состава. Работоспособность рельсов определяется их массой (профилем поперечного сечения), химическим составом и качеством рельсовой стали, технологией термической обработки и другими факторами. В Российской Федерации изготавливают в основном рельсы трех типов — Р50, Р65 и Р75, конструкция и размеры рельсов должны соответствовать ГОСТ 7174-75, ГОСТ 8161-75 и ГОСТ 16210-77. Рельсы изготавливают из спокойной мартеновской высокоуглеродистой стали с повышенным содержанием марганца, в обозначении марки рельсовой стали буква «М» указывает на способ выплавки стали (мартеновский), цифры — среднее содержание углерода в сотых долях процента. Для улучшения свойств в рельсовую сталь вводят небольшие добавки карбидообразующих элементов, таких как

ванадий (0,03 — 0,07 мас. %), титан (0,007 — 0,025 мас. %) и цирконий (0,001 — 0,050 мас. %). Сталь может быть микрорегирована одним из перечисленных элементов или двумя одновременно (ванадием и титаном). В обозначении марки стали, содержащей ванадий, титан или цирконий, добавляется буква «В», «Т» или «Ц». Рельсы с содержанием ванадия, титана или циркония относятся к I группе, рельсы без микродобавок — ко II группе.

Рельсовая сталь является флокеночувствительной. Флокены представляют собой очень тонкие трещины овальной или округлой формы. Они образуются при охлаждении на воздухе после прокатки в центральной части головки рельсов, от них при эксплуатации могут развиваться поперечные усталостные трещины, приводящие к полному разрушению рельсов. Образование флокенов связано с одновременным действием двух факторов:

- повышенным содержанием водорода в рельсовой стали (5 — 9 см³/100 г металла);
- наличием структурных микронапряжений.

Для предотвращения образования флокенов необходимо удалить значительную часть водорода из стали (до 2 см³/100 г металла) в жидком состоянии путем вакуумирования или в твердом состоянии путем проведения специальной противоблокенной термической обработки.

Важнейшим фактором, влияющим на износостойкость рельсов, является твердость. Для большинства сталей имеется прямая зависимость между твердостью и износостойкостью. Для термически обработанных сталей износостойкость также возрастает с увеличением твердости, но в меньшей степени. Согласно ГОСТ 18267-82 термообработанные рельсы путем объемной закалки в масле (сталь М76, М76В, М76Т, М76Ц, М76ВТ) имеют твердость, равную 341 — 388 НВ, концы — 311 — 401 НВ, а согласно требованиям ГОСТ 24182-80 горячекатаные рельсы, изготовленные из стали М74, М74Т, М74Ц, имеют твердость 255 — 302 НВ, концы — 311 — 401 НВ, тогда как бандажи колесных пар локомотивов марок 1 и 2 имеют согласно ГОСТ 398-96 твердость (на глубине 20 мм) 248 и 255 НВ соответственно [1].

Применение рельсов из высокопрочных сталей требует, следовательно, применения таких же по прочности и твердости материалов бандажей. Преимущества получают марки стали, прошедшие термическую обработку и имеющие мелкозернистую микроструктуру, которые меньше подвергаются износу при увеличении силы нажатия. То, что термически улучшенные материалы с точки зрения износа имеют преимущество, вытекает из их микроструктуры. Так



как феррит является мягким и пластичным, то он изнашивается быстрее, чем цементит, причем как в зонах структурно свободного феррита, так и в перлите. В рельсах за счет выхода феррита ламели цементита быстро изнашиваются, их концы ломаются и крошатся при движении колес, а износ активнее распространяется в глубину. При малом расстоянии между ламелями в перлите ферритовая поверхность, напротив, является незначительной. Поэтому устранение феррита протекает медленнее, а цементитные ламели не выступают слишком высоко. При этих превышениях часть ламелей ломается и крошится под воздействием бандажей, а часть сохраняется и разрушается только при значительном уменьшении количества феррита. Износ материала при небольшом расстоянии между ламелями цементита в перлите, если он подвергается термической обработке, происходит медленнее, чем при материалах, имеющих перлитно-ферритную микроструктуру с крупным перлитом, что соответствует нормализованной и не подвергнутой термообработке детали [2].

Площадь контакта нового бандажа с новым рельсом составляет $1,5 - 2 \text{ см}^2$, по мере их износа площадка (представляющая эллипс) начинает уменьшаться и при этом поворачиваться на некоторый угол. На эту площадку действует статическая нагрузка, составляющая $115 - 120 \text{ кН}$, которая может возрастать при движении локомотива из-за неровностей колес и рельсов. Помимо нормальных напряжений, изгибающих рельсы в вертикальной плоскости и значительно увеличивающихся при максимальном использовании силы тяги, касательные напряжения в рельсах достигают 2300 МПа , что значительно превышает предел текучести рельсовой стали. Однако в связи с тем что контактная площадка зажата со всех сторон рельсовым металлом, разрушения рельса в этой зоне при однократном нагружении не происходит. На криволинейных участках пути на рельсы действуют также центробежные силы подвижного состава. Площадка приложения сил перемещается к внутренней кромке наружного рельса. В этих местах начинается «спływ» металла с образованием выщербины [3].

В результате периодического действия вышеуказанных сил в головке рельса на глубине $4 - 7 \text{ мм}$ от площадки контакта возникают знакопеременные напряжения, превышающие 60% контактных. Наличие рельсовых стыков и накопившихся при эксплуатации неровностей на рельсах и колесах приводит к тому, что нагрузки часто носят ударный характер. При торможении поезда или трогании с места с пробок совкой колесных пар локомотива, а также вследствие прохождения питающего тока через контактные площадки от бандажа к рельсу происходит нагрев поверхности катания головки выше температуры превращения (феррита в аустенит) рельсовой стали и закалка на мартенсит тонкого слоя ($0,03 - 0,05 \text{ мм}$) ввиду быстрого отвода тепла внутрь металла. Выкрашивание этого слоя при эксплуатации увеличивает износ рельсов. Перечисленные условия эксплуатации рельсов приводят к возникновению и развитию в них различных дефектов и повреждений, в частности:

- к смятию и неравномерному износу головки рельса в вертикальном направлении и по боковой поверхности;

- отслоению и выкрашиванию металла на поверхности катания;
- поперечным трещинам в головке и изломам из-за них;
- дефектам и повреждениям шейки и подошвы;
- изгибам рельсов и т. д. [4].

Основным видом разрушения рельсов являются контактно-усталостные повреждения (выщербины и выколы на поверхности катания, поперечные трещины усталости в головке, изломы из-за них и т. д.). Контактно-усталостное разрушение облегчается при наличии в головке рельса концентраторов напряжений в виде флокенов и строчечных неметаллических включений.

Анализ условий работы рельсов и природы основных видов разрушений показал, что эксплуатационная стойкость рельсов в современных условиях определяется контактно-усталостной прочностью (пределом выносливости при контактном нагружении), живучестью, характеризующейся скоростью роста поперечных усталостных трещин, а также сопротивлением хрупкому разрушению. Таким образом, сталь, используемая для изготовления рельсов, должна обладать высокой износостойкостью и контактно-усталостной прочностью при определенной живучести и вязкости.

В процессе эксплуатации бандажей колесных пар в них возникают значительные напряжения вследствие взаимодействия с рельсом. Бандажи испытывают следующие виды нагрузок [5]:

- давление от оси на рельс;
- динамическую нагрузку от ударов о стыки рельсов;
- трение, возникающее при качении колеса по прямому участку пути;
- трение при торможении, возникающее на поверхности соприкосновения тормозной колодки;
- трение при движении заторможенного бандажа юзом.

Давление бандажа на рельс приводит к сжимающим напряжениям в месте контакта, достигающим 500 МПа при наезде на стык. Силы трения вызывают возникновение касательных напряжений в поверхностном слое бандажа, а следовательно, износ поверхности катания. На поверхности катания бандажей наблюдаются также выкрашивания термического и усталостного характера, аналогичные происходящим в рельсах. Основной причиной выхода из строя бандажей (до 70%) является износ по поверхности профиля катания. Значительное количество бандажей (до 25%) обтачивается при ремонте вследствие тормозных и тепловых повреждений. Многообразие условий эксплуатации бандажей колесных пар предъявляет определенные требования к металлу, предназначенному для их производства, в частности, такие как:

- высокая статическая и контактно-усталостная прочность;
- износостойкость;
- хладостойкость, нагревостойкость;
- термостойкость (сопротивление металла термической усталости) [1].

Сталь для бандажей пассажирских локомотивов должна содержать меньше углерода, чем сталь для бандажей грузовых локомотивов, так как динамическое взаимодействие между колесными парами пассажирских локомотивов и



рельсами значительно ниже. В процессе движения подвижного состава возникает как адгезивный, так и абразивный износ бандажей и рельсов. Первый из них вызывает глубокие разрушения поверхности, которые связаны с изменением поверхностных слоев вследствие большой пластической деформации, окисления, отделения и смещения частиц материалов. Он прогрессирует за счет воздействия микронных неровностей поверхности, нагрузок, температур в поверхностном слое и относительного движения, а также способности материала к образованию адгезивных микронеровностей. Абразивный износ в зоне контакта гребня бандажа колесной пары с рельсом характеризуется стачиванием частиц материалов вследствие воздействия абразивных частиц, а также воздействия твердой, шероховатой поверхности одной детали на другую. Типичным повреждением поверхности являются бороздки и сильная деформация поверхностных слоев.

В связи с опасностью возникновения тепловых трещин в бандажах при механическом торможении тормозными колодками материал бандажей локомотивов содержит 0,50 — 0,65% углерода. Бандажи колесных пар локомотивов, участвующих в интенсивном и частом торможении, изготавливаются из низколегированной стали марки 55 с добавлением ванадиевой микроприсадки, которая обеспечивает сопротивление возникновению тепловых трещин и поверхностному прокаливанию, проявляет устойчивость против хрупкого излома. Прочность этой стали составляет 882 — 1 078 МПа, относительное удлинение при разрыве — 12%, а твердость (на глубине 30 мм от поверхности катания) составляет не менее 248 НВ. Рельсам не угрожает опасность возникновения тепловых трещин, поэтому сталь различных марок для рельсов содержит углерода 0,7% и более. В России применяются рельсы из вакуумированной стали. Вакуумная обработка ведет к уменьшению газовых включений в стали, прежде всего водорода (что препятствует образованию флокенов), а также кислорода и азота приблизительно на 50% и повышению однородности химического состава. Рельсы, изготовленные из вакуумированной стали, изнашиваются так же, как и рельсы, изготовленные из не прошедшей вакуумной обработки стали того же химического состава [3].

В последние годы применяются рельсы повышенной прочности, у которых уменьшается износ, но увеличивается склонность к контактной усталости.

Микроструктура стали бандажей колесных пар подвижного состава является с точки зрения содержания в них углерода перлитоферритной, в которой содержание аморфного феррита зависит от количества углерода и термообработки. Микроструктура рельсовой стали является перлитной со слабой ферритной решеткой или чисто перлитной. Показатели прочности рельсов колеблются от 900 до 1 300 МПа, а показатели прочности бандажей — от 850 до 1 000 МПа, поэтому в системе «колесо — рельс» соприкасаются материалы с различной прочностью и микроструктурой, оказывая друг на друга изнашивающее воздействие.

Основные методы, применяемые в эксплуатации и направленные на увеличение срока службы бандажей колесных пар, состоят в следующем: смазка поверхностей

гребня и внутренней грани головки рельса, применение оптимальных профилей катания, упрочнение гребней бандажей колесных пар.

С повышением твердости материала колес и рельсов сопротивление изнашиванию также увеличивается, что подтверждает необходимость повышения твердости колеса и рельса. Однако увеличение твердости может быть одной из причин увеличения повреждаемости колес и рельсов. Каждая система качения для долгосрочной работы должна иметь возможность приработки, которая быстро уменьшается по мере повышения твердости и снижения пластичности стали. Выход из этой ситуации найден в следующем — необходима разная твердость круга катания и поверхности гребня [1].

В настоящее время твердость рельсов составляет 400 — 450 НВ, а твердость бандажей колесных пар электровозов — 275 — 315 НВ, а это значит, что при переходе на новый тип рельсов с повышенной твердостью (объемно-закаленные) увеличивается как износ бандажей, так и рельсов.

При исследовании К.И. Домбровским износа бандажей колесных пар локомотивов в эксплуатации было замечено, что минимальный износ бандажей и рельсов (рис. 1) получается при соотношении твердости бандажа и рельсов в пределах $H_b/H_p = 1 — 1,05$.

Общее повышение твердости бандажей колесных пар позволяет значительно снизить интенсивность износа рабочей поверхности, тем самым увеличивая ее ресурс и сокращая затраты на ремонт локомотива. Считалось, что закаленные бандажи могут вызвать повышенный износ рельсов и снизить величину коэффициента сцепления, возможно и появление трещин на закаленных колесах в процессе эксплуатации. Однако такие опасения необоснованны. При работе твердого бандажа или колеса по твердому рельсу взаимное истирание уменьшается, а пара «мягкое колесо — твердый рельс» работает хуже.

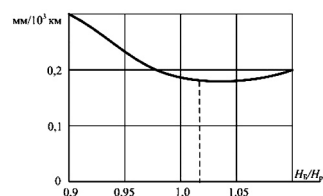


Рисунок 1 — Кривая зависимости износа бандажа от отношения его твердости к твердости рельсов

До недавнего времени упрочнение поверхности гребней лазерным лучом было одним из самых перспективных направлений. Поверхностное упрочнение с помощью этого метода имеет ряд положительных особенностей. Среди них возможность локального упрочнения объемов материала обрабатываемых деталей в местах износа. Метод позволяет получить определенные физико-механические, химические и другие свойства обрабатываемых поверхностей деталей, легируя их различными элементами с помощью лазерного излучения. При упрочнении отсутствуют какие-

либо деформации деталей. Возможность обработки деталей сложной формы и плавность хода обусловлены легкой транспортировкой луча в обрабатываемую область. Указанный метод основан на использовании явления высокочастотного разогрева, материал под действием лазерного луча разогревается до температуры, превышающей температуру фазовых превращений, а затем быстро охлаждается за счет отвода тепла с поверхности в основную массу металла. Обработку проводят в воздушной атмосфере и в инертном газе аргоне.

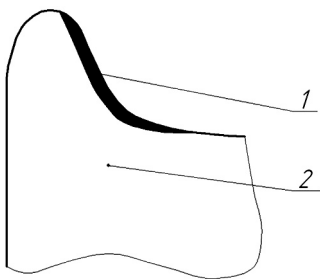


Рисунок 2 — Зона упрочнения гребня бандажа: 1 — упрочненный слой; 2 — основной материал

Упрочнению подвергается внутренняя часть гребня или часть гребня с заходом на часть круга катания (рис. 2). Глубина закаленного слоя составляет от 0,9 до 1,1 мм [6].

Наряду с лазерным упрочнением возникло аналогичное направление — так называемое плазменное упрочнение, которое, будучи более экономичным, получило большее распространение в дальнейшем. Как и всякое нововведение, плазменное упрочнение было подвергнуто различным исследованиям, в ходе которых получены положительные результаты, подтверждающие эффективность применения плазменного упрочнения.

Для оценки влияния упрочнения в конкретных условиях эксплуатации необходимо определить ресурс бандажей колесных пар с применением упрочнения и без него. Выполнить расчет ресурса позволяет методика, описанная в [7].

В локомотивном депо Свердловск-Сортировочный Свердловской железной дороги в настоящее время применяется газоплазменное упрочнение бандажей колесных пар электровозов ВЛ11. В период упрочнения в книгу ремонта формы ТУ-28 заносятся пометки об упрочненных колесных парах, что позволяет исследовать процесс эксплуатации упрочненной колесной пары. На основании данных замеров изменения толщин бандажа и гребня после математической обработки выборочных совокупностей построены зависимости величины износа гребня и бандажа колесных пар от пробега.

Следует отметить, что наблюдению подвергались только колесные пары с постоянно восстанавливаемым упрочненным слоем. Как известно, толщина упрочненного слоя составляет от 2,5 до 3 мм, что не обеспечивает защиту гребня на длительный период, поэтому для достижения максимального эффекта упрочнение следует вести через равные промежутки пробега или по результатам периодических замеров в пунктах технического обслуживания и в цехе текущего ремонта ТР-1. Также

восстановление упрочненного слоя следует проводить после проведения каждого технического обслуживания ТУ-4 ввиду разупрочнения материала гребня перед отточкой и удалением слоя металла.

Для упрощения расчетов и получения для изучения большого количества данных следует объединить данные с близким пробегом в одну выборочную совокупность. Игнорировать разницу пробега нам позволяют погрешность мерительного инструмента, а также инертность износа, т. е. малое отклонение значения износа при небольшом изменении пробега.

Для определения типа распределения необходимо обработать выборочную совокупность с помощью методов математической статистики. Выдвигается гипотеза о нормальном распределении и записывается плотность его распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Проверка нулевой гипотезы H_0 о нормальном распределении статистических данных с известными параметрами проводится по критерию Пирсона

$$\chi^2_{\text{набл}} = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \quad (2)$$

По таблице критических значений распределения χ^2 в зависимости от уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы определяется $\chi^2_{\text{крит}}$. Если $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{крит}}$, то нулевая гипотеза принимается.

Зависимость математического ожидания от пробега хорошо описывается линейным уравнением. С помощью метода наименьших квадратов определяются коэффициенты уравнения регрессии, и с их помощью зависимость экстраполируется в область больших пробегов. Значение среднеквадратического отклонения усредняется для всей выборки и принимается постоянной величиной.

Численное значение ресурса исследуемого объекта можно определить исходя из вероятности его безотказной работы в заданный промежуток времени (пробега). Для этого необходимо определить вероятность отказа при пробегах, близких к критическим. В данном случае при нормальном распределении вероятность отказа будет иметь следующий вид:

$$P(L) = \frac{1}{\sigma_x(L) \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{X_{\text{доп}}}^{M_x(L) + 3\sigma_x(L)} e^{-\frac{[X - M_x(L)]^2}{2\sigma_x^2(L)}} \quad (3)$$

где σ_x — среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра;

M_x — математическое ожидание контролируемого параметра; $X_{\text{доп}}$ — допускаемое значение контролируемого параметра, мм;

L — пробег, соответствующий моменту замера, км.

В соответствии с приведенной методикой оптимальная величина ресурса будет соответствовать вероятности безотказной работы, равной 0,9, т. е. не превышать 90%-й ресурс. Целесообразность ограничения 90%-м ресурсом объясняется максимальным отклонением межремонтных пробегов и точностью мерительного инструмента $\pm 10\%$ [3, 7].



Эти зависимости с достаточной степенью точности (коэффициент корреляции 0,8 — 0,9) описываются при помощи линейных уравнений. На рис. 3 приведены зависимости математического ожидания износа бандажа колесной пары от пробега с применением упрочнения 2 и без него 1. По приведенной диаграмме видно, что с увеличением пробега интенсивность износа бандажа без применения упрочнения существенно выше, чем у упрочненной колесной пары. Таким образом, снижая интенсивность износа гребня при помощи упрочнения, можно увеличить ресурс бандажей колесных пар.

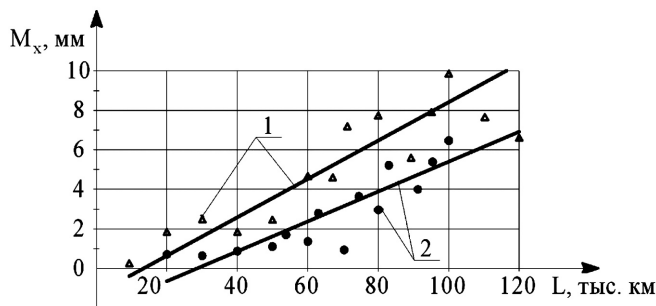


Рисунок 3 — Зависимость математического ожидания износа бандажа электровозов ВЛ11 от пробега:
 1 — без упрочнения, $M_{x1} = 7,82 \cdot 10^{-5} \cdot L + 0,938$; 2 — с упрочнением, $M_{x2} = 7,08 \cdot 10^{-5} \cdot L - 2,069$

По полученным зависимостям математического ожидания от износа и усредненного значения среднеквадратического отклонения можно построить зависимость вероятности отказа от пробега для колесных пар с применением упрочнения и без него (рис. 4).

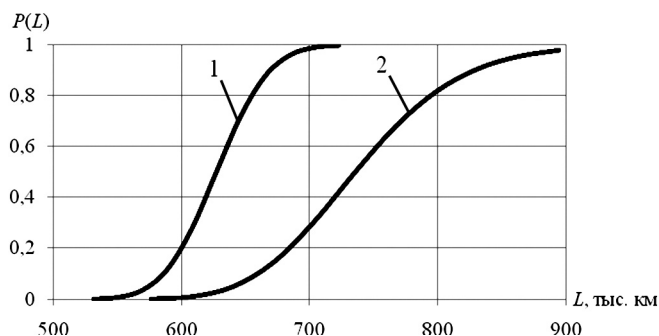


Рисунок 4 — Зависимость вероятности отказа бандажа колесной пары электровозов ВЛ11:
 1 — без упрочнения; 2 — с упрочнением

По результатам расчета получены следующие значения ресурса бандажей колесных пар: с применением упрочнения — 830 тыс. км, без упрочнения — 660 тыс. км. Как видно, срок службы упрочненных колесных пар на 25% выше, что свидетельствует о целесообразности использования упрочнения гребней колесных пар.

Из проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

При движении подвижного состава происходит передача усилий между бандажом и рельсом, величина, направление и точки приложения которых изменяются в зависимости от разнообразных положений колесных пар на рельсовом пути. В местах передачи сил происходит износ соприкасающихся поверхностей или пластические деформации. В кривых участках пути вследствие бокового изнашивания изнашиваются в первую очередь поверхности гребней бандажей колесных пар и боковых (внутренних) граней головок рельс.

На износ бандажей колесных пар и рельсов в кривых участках пути в основном влияют:

- свойство стали бандажей и рельсов, их химический состав, микроструктура, шероховатость и твердость верхнего слоя, которые определяют их устойчивость по отношению к сжимающей нагрузке и растягивающим силам;
- угол наклона гребня бандажа, определяемый типом профиля бандажа и степенью его износа;
- положение колесной пары на рельсах, которое характеризуется углом набегания;
- радиус кривой;
- величина коэффициентов трения между поверхностью катания колеса и головкой рельса, а также между гребнем бандажа и внутренней гранью головки рельса;
- наличие смазки на гребнях бандажей или боковой грани рельсов;
- загрязнения и повреждения поверхностей бандажей колесных пар и рельсов;
- атмосферные условия (температура, влажность).

С целью снижения износа бандажей и рельсов необходимо, чтобы материал имел:

- минимальное содержание структурно-свободного феррита;
- минимальные расстояния между ламелями цементита в перлите;
- мелкозернистую структуру.

Результаты лабораторных исследований позволяют определить общие закономерности износа углеродистой стали бандажей и рельсов:

- износ материала низкой прочности при взаимодействии со сталью большей прочности происходит интенсивнее;
- материал с наличием в микроструктуре свободного феррита изнашивается интенсивнее;
- из материалов одинаковой прочности сильнее изнашивается тот, который содержит больше структурно-свободного феррита;
- в месте контакта высокопрочной стали с маркой из менее прочного материала изнашивается сталь и более высокой прочности, при этом степень ее износа оказывается выше, чем при контакте двух высокопрочных марок стали;
- минимально и равномерно изнашиваются при контакте материалы бандажей и рельсов одинаково высокой прочности, которые не содержат структурно-свободного феррита.

Необходимо довести твердость бандажей колесных пар локомотивов до твердости рельсов (350 — 400 НВ), учитывая

при этом осевые нагрузки и применяемые режимы торможения. Ранее поднять твердость бандажей до твердости рельсов было невозможно из-за отсутствия резцов и фрез, позволяющих произвести механическую обработку «твердых» бандажей, тогда как в настоящее время эта проблема снята. Необходимо уже сегодня вернуться к этому вопросу и начать выпуск более прочных бандажей.

Из проведенных в УрГУПС исследований следует, что с увеличением скорости движения подвижного состава, уменьшением радиуса кривых участков пути и снижением возвышения наружного рельса над внутренним увеличиваются вертикальные и поперечные силы в зоне контакта бандажей с рельсами. Это означает возрастание силы нажатия между колесом и рельсом, поэтому в кривых участках пути (как на упорных, так и на внутренних нитях) необходимо укладывать рельсы I группы с твердостью не ниже 350 НВ. На упорных кривых это грозит резким ростом интенсивности особенно бокового износа рельсов, а на внутренних — появлением вертикальных расслоений головки рельса в результате ее раздавливания. Из результатов исследований следует, что рельсы в кривых участках

пути с твердостью около 400 НВ по сравнению с рельсами твердостью 325 НВ имеют меньшую интенсивность бокового износа.

Кроме того, замеренная твердость бандажей колесных пар тепловозов и электровозов в ряде локомотивных депо на сети железных дорог России выявила следующее:

- средняя твердость бандажей локомотивов, находящихся в эксплуатации на поверхности катания колесных пар, составляет 275 НВ (при отклонениях ± 20 НВ), тогда как на поверхности гребня — 280 НВ (при отклонениях ± 45 НВ);
- средняя твердость бандажей колесных пар после обточки составляет на поверхности катания 250 НВ (при отклонениях ± 15 НВ), на поверхности гребня — 240 НВ (при отклонениях ± 10 НВ);
- средняя твердость новых колесных пар составляет на поверхности катания и на гребне 295 (при отклонениях ± 10 НВ).

Таким образом, твердость бандажей отличается от твердости рельсов на 20 — 45%, что недопустимо.

Литература

1. Буйносов А.П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22 — 25.
2. Буйносов А.П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Транспорт Урала. 2009. № 4. С. 53 — 55.
3. Буйносов А.П. Повышение надежности бандажей // Железнодорожный транспорт. 1996. № 12. С. 23 — 24.
4. Буйносов А.П. Влияние твердости колеса и рельса на их износ // Локомотив. 1995. № 3. С. 31 — 32.
5. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39 — 41.
6. Горский А.В., Воробьев А.А., Куанышев Б.М., Кельперис В.П. Лазер сделает колеса прочными // Локомотив. 1998. № 5. С. 30 — 31.
7. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в условиях эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1992. 336 с.



Алексей Анатольевич Ковалев, канд. техн. наук (УрГУПС, Екатеринбург),
Галина Степановна Лобанова, канд. техн. наук (УрГУПС, Екатеринбург),
Федор Сергеевич Несмелов, аспирант (УрГУПС, Екатеринбург)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА НАКЛОНА ОПОРЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

В настоящее время на железных дорогах общего и необщего пользования широкое применение нашли цельные железобетонные опоры, используемые в качестве анкерных, переходных и промежуточных опор с однопутными консолями, а также в качестве фиксирующих опор и стоек жестких поперечин. С увеличением срока службы большое количество опор регулируется. Для оценки степени влияния деформационных характеристик грунта, в который погружена опора, на ее перемещение на уровне поверхности грунта и на уровне верха опоры был разработан соответствующий метод.

Существующие методы расчета заделки опор в грунт основаны на различных эпохах реактивного давления грунта при воздействии на него внешних усилий [1]. Часть этих эпох подтверждалась экспериментами, часть — теоретическими рассуждениями и выкладками. Действительные грунтовые условия, с которыми приходится иметь дело при расчете фундаментов под опоры, исключительно многообразны. Поэтому их трудно учесть в предварительных расчетах заделки опор в грунт, так как для этого необходимо проводить исследование грунтов под каждой опорой, что технически невозможно и экономически невыгодно, особенно для консольных опор, расположенных на большом протяжении. Эти обстоятельства заставляют пользоваться упрощенными методами, не требующими изучения грунтов.

Различные способы закрепления опор в грунте преследуют одну цель — обеспечить действие внешних нагрузок (горизонтальных и вертикальных усилий и изгибающих моментов) так, чтобы при любых расчетных режимах положение опорных конструкций изменялось в допустимых пределах [2].

Устойчивость любой опорной конструкции контактной сети можно характеризовать двумя условиями:

1) она не должна под действием вертикальных нагрузок погружаться в грунт;

2) под действием горизонтальных нагрузок и изгибающего момента наклон ее в грунте должен быть не более определенной величины.

По мнению В.П. Михеева [3], при определении предельного опрокидывающего момента проверку на деформации можно не проводить, так как характеристики грунта в нормативах заданы исходя из условий допустимости соответствующих перемещений фундаментов опор при эксплуатации.

В действительности это не всегда так. Для проверки этого высказывания разработаем метод расчета перемещений цельных железобетонных опор контактной сети в зависимости от нагрузок, глубины погружения опоры в грунт и типа грунта. При этом подземную часть опоры будем рассматривать как свая, нагруженную одиночной горизонтальной силой H_0 и моментом M_0 [4] (табл. 1).

В расчете примем, что грунт, окружающий сваю, — это упругая линейная деформируемая среда.

Горизонтальное перемещение опоры U_0 и угол поворота ψ_0 следует определять по формулам [4]:

Таблица 1 — Значение изгибающих моментов и нормативных сил [5]

| M_0 , кНм | H_0 , кН |
|-------------|------------|
| 59 | 6 |
| 79 | 8 |
| 98 | 10 |

$$U_0 = H_0 \varepsilon_{HH} + M_0 \varepsilon_{HM}; \quad (1)$$

$$\psi_0 = H_0 \varepsilon_{MH} + M_0 \varepsilon_{MM}, \quad (2)$$

где ε_{HH} — горизонтальное перемещение сечения от действия силы $H = 1$, приложенной в уровне поверхности грунта, м/кН [формула (3)];

ε_{HM} — горизонтальное перемещение сечения от момента $M = 1$, действующего в уровне поверхности грунта, 1 кН/м [формула (4)];

ε_{MH} — угол поворота сечения от силы $H = 1$, 1/кН;

ε_{MM} — угол поворота сечения от момента $M = 1$, 1/кНм [формула (5)].

$$\varepsilon_{HH} = \frac{A_0}{\alpha_\varepsilon^3 \cdot E \cdot I}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{MH} = \varepsilon_{HM} = \frac{B_0}{\alpha_\varepsilon^2 \cdot E \cdot I}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{C_0}{\alpha_\varepsilon \cdot E \cdot I}, \quad (5)$$

где A_0 , B_0 , C_0 — безразмерные коэффициенты, принимаемые в зависимости от приведенной глубины погружения фундамента в грунт;

α_ε — коэффициент деформации, 1/м;

E — модуль упругости бетона, Па;

I — момент инерции, м⁴.

В [3] даны значения безразмерных коэффициентов A_0 , B_0 , C_0 в зависимости от приведенной длины фундамента (табл. 2).



Таблица 2 — Табличные значения нормативных безразмерных коэффициентов в зависимости от приведенной длины подземной части опоры

| | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| $L, м$ | 1,886 | 2,104 | 2,306 | 2,533 |
| A_0 | 5,19 | 4,032 | 3,526 | 3,163 |
| B_0 | 3,878 | 2,756 | 2,327 | 2,048 |
| C_0 | 3,679 | 2,591 | 2,048 | 2,013 |

Приведенная длина фундамента опоры определяется по формуле

$$L = l \cdot \alpha_{\varepsilon}, \quad (6)$$

где l — длина фундамента.

Рассчитаем горизонтальное перемещение и угол поворота поперечного сечения фундамента опоры. Сечение опор представляет собой кольцо. Внешний диаметр D составляет 492 мм, внутренний d — 290 мм.

При $\alpha = \frac{d}{D}$ момент инерции сечения I будет равен

$$I = 0.05D^4(1 - \alpha^4), \quad (7)$$

Коэффициент деформации равен

$$\alpha_{\varepsilon} = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b \cdot p}{\gamma_c E \cdot I}}, \quad (8)$$

где $\gamma_c = 3$ — коэффициент условия работы;

b_p — условная ширина фундамента;

K — коэффициент пропорциональности в зависимости от типа грунта.

$$b_p = 1.5d + 0.5. \quad (9)$$

Проведем расчет для четырех типов грунтов, наиболее часто встречающихся на Свердловской железной дороге, в том числе на подъездных путях Качканарского ГОК «Ванадий»:

- 1) глины и суглинки текучепластичные;
- 2) пески пылеватые, супеси пластичные, глины и суглинки мягкопластичные;
- 3) пески мелкие, пески средней крупности, супеси твердые, глины и суглинки тугопластичные и полутвердые;
- 4) пески крупные, глины и суглинки твердые.

Деформационные характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3 — Расчетные значения коэффициента деформации и приведенной длины фундамента в зависимости от деформационных характеристик грунта

| Тип грунта | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|
| $K, кН/м^4$ | 5 500 | 9 500 | 15 000 | 24 000 |
| $\alpha_{\varepsilon}, 1/м$ | 0,741 | 0,526 | 0,576 | 0,623 |
| $L, м$ | 1,886 | 2,104 | 2,306 | 2,533 |

В результате получаем значение горизонтального перемещения опоры на уровне грунта и верха опоры в зависимости от типов грунтов при разных значениях нормативных изгибающих моментов и поперечных сил (рис. 1).

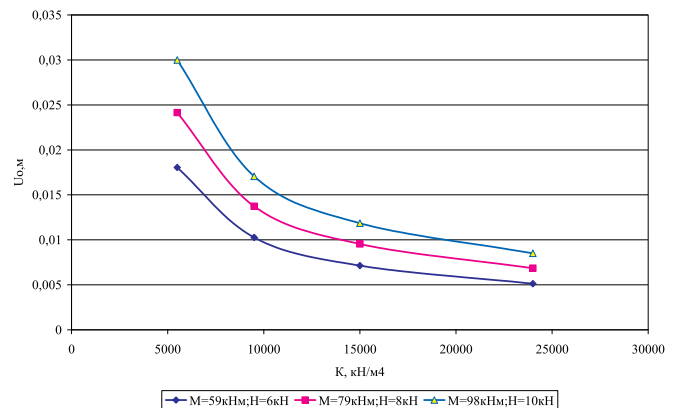


Рисунок 1 — Расчетные значения перемещения опоры на уровне поверхности грунта при различных нагрузках

Из рис. 1 видно, что с увеличением деформативности грунта уменьшается перемещение опоры на уровне поверхности земли. При слабых грунтах ($K = 5\,000$ кН/м⁴) перемещение опоры на уровне земли достигает 3 см при изгибающем моменте $M_0 = 98$ кНм. Для этой же опоры перемещение верха составит около 15 см, или 1,56% от ее длины (рис. 2).

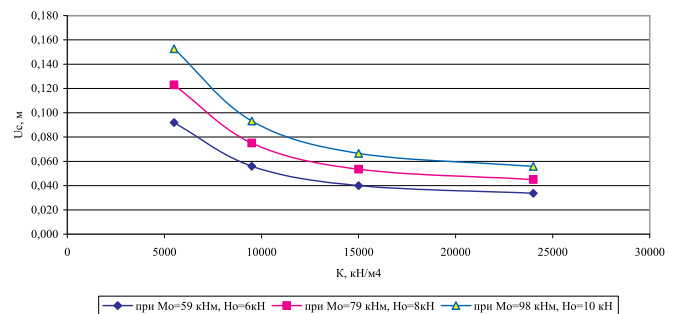


Рисунок 2 — Расчетные значения перемещения верха опоры для различных изгибающих моментов

Из рис. 2 можно сделать вывод, что при малых деформационных характеристиках грунта существенно увеличивается угол наклона опоры. Поэтому при электрификации новых участков железной дороги, а также при реконструкции, когда происходит отсыпка грунта под новые пути, большое внимание надо уделять подбору типа опор по изгибающим моментам. В действующем типовом проекте [6] по условиям закрепления фундаментов и опор контактной сети классификация грунтов очень узка, из-за чего на стадии проектирования возможно допустить ошибки. Это служит предпосылкой к увеличению угла наклона опоры при дальнейшей эксплуатации. Исходя из этого в ряде случаев стоит проводить проверку на деформацию.

Чтобы оценить, насколько влияет глубина погружения опоры на ее наклон, по произведенным расчетам построена графическая зависимость (рис. 3).

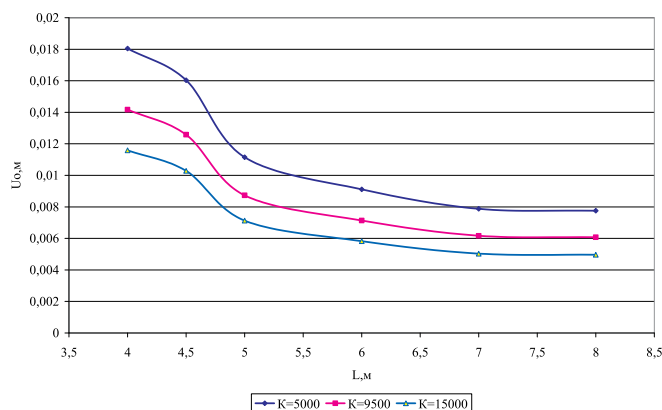


Рисунок 3 — Влияние перемещения опоры на уровне грунта от заглубления фундамента

С увеличением глубины заложения фундамента значительно уменьшается перемещение опоры на уровне земли.

В настоящее время, согласно [6], для железобетонных опор максимальная глубина погружения составляет 5 м. Учитывая, что опора также претерпевает и вертикальное перемещение, можно сделать вывод, что при увеличении глубины заложения фундамента вероятность наклона опоры в процессе эксплуатации уменьшится.

Основная цель обеспечения безопасности железнодорожного транспорта, в том числе и карьерного, — кардинальное сокращение случаев браков и аварий при повышении скоростей движения поездов, пропускных способностей участков и направлений и снижение непроизводительных расходов за счет создания многофункциональной системы управления и обеспечения безопасности движения поездов с использованием новых технических средств и технологий управления, цифровых систем связи и новых методов технической диагностики. Предложенный метод рекомендуется применять для стационарных опор карьеров, а также опор контактной сети железнодорожного транспорта.

Литература

1. Власов И.И. Проектирование контактной сети электрифицированных железных дорог: Учебник для вузов / И.И. Власов, Б.Г. Поршнев, А.В. Фрайфельд. М.: Трансжелдориздат, 1959.
2. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебное пособие для строит. спец. вузов / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др.; Под ред. С.Б. Ухова; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002. 556 с.
3. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2003. 416 с.
4. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: Стройиздат, 1986. 44 с.
5. СТН ЦЭ 141-99. Нормы проектирования контактной сети. М., 2001. 112 с.
6. Условие закрепления фундаментов и опор контактной сети. Типовой проект № 2190. М.: ОАО ЦНИИС. 2003.

МЕТОДИКА ВХОДНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗАЖИМОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Надежная работа электрифицированных линий в условиях скоростного движения, а также при пропуске тяжеловесных поездов во многом зависит от качества соединительной арматуры проводов контактной сети.

Нормальная работа арматуры, в частности токопроводящих зажимов, обеспечивается в том случае, если она имеет необходимую проводимость, механическую прочность, высокую коррозионную стойкость, обусловленные качеством изготовления.

На сегодняшний день входной контроль качества токопроводящих зажимов в эксплуатации осуществляется визуально [1]. Таким действием возможно выявление лишь тех дефектов, которые расположены на поверхности зажима, однако в процессе изготовления зажимов могут возникать скрытые дефекты (полости, раковины, пористость). Наличие подобных дефектов в процессе эксплуатации способно привести к разрушению зажима и провода контактной подвески в месте присоединения [2].

Из анализа работы хозяйства электроснабжения и электрификации ОАО «РЖД» за период 2002 — 2007 гг. видно, что повреждения зажимов контактной сети занимают 2 — 3-е место из общего списка повреждаемых элементов, что составляет от 14 до 20% ежегодно. Это свидетельствует об актуальности их входного контроля.

Акустические методы достаточно эффективно используются для неразрушающего контроля (НК) различных объектов во многих отраслях машиностроения. На железнодорожном транспорте они применяются для контроля колесных пар, рельсов и т. п.

Целесообразно проверить также перспективы акустических методов для контроля качества изготовления зажимов контактной сети [3].

Акустические характеристики зажимов условно можно разделить на две основные группы, которым присущи свои особенности:

- собственно физические величины, обусловленные только состоянием материала;
- акустические величины, зависящие и от состояния материала, и от геометрических размеров изделия [4].

Для первой группы, как правило, необходимо знание абсолютных значений требуемых величин, для второй — их относительные изменения.

Таким образом, математическая модель, обеспечивающая высокую степень достоверности результатов акустического контроля, должна учитывать многочисленные параметры реальных моделей. Тогда в общем виде она представляется как

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

где x_i — измеряемые параметры;

y — параметр, определяющий степень «дефектности» зажима.

При этом в общем случае надежно определить вид функции $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ представляется затруднительным. Для упрощения можно использовать сгруппированные статистические данные, что позволит произвести их сравнительный анализ [5]. В качестве характерных признаков, определяющих наличие дефекта, можно выбрать следующие:

- изменения положения гармоники спектра по оси частот;
- относительное изменение амплитуды сигнала.

Статистические сведения в нашем случае, полученные в результате обработки экспериментальных данных для определенного типа зажима, описываются представленными ниже формулами.

Средняя частота определенной гармоники в частотном спектре, Гц,

$$f_{cp} = \frac{f_1 + f_2 + f_i + \dots + f_n}{n}, \quad (2)$$

где f_i — численное значение частоты i -го замера;
 n — количество замеров.

Абсолютное изменение частоты, Гц,

$$\Delta f_{cpi} = f_{cp} - f_i \quad (3)$$

и среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{\Delta f_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta f_{cpi})^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Допустимое отклонение средней частоты гармоники будет равно

$$s = f_{cp} \pm t_{\alpha}(n) \cdot \sigma_{\Delta f_i}, \quad (5)$$

где $t_{\alpha}(n)$ — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа проведенных испытаний n и от заданного значения коэффициента надежности контроля α .

Статистическая обработка величин амплитуд сигналов производится по тем же формулам (2) — (5).

Выявление дефектного зажима будет выполняться сопоставлением спектрограммы (преобразование акустического сигнала в ряды Фурье) испытуемого зажима с



шаблоном. Последний представляет собой осредненную спектрограмму, построенную по приведенной выше методике для определенного типа и заведомо бездефектного зажима из выборки в 11 штук с 7-разовым испытанием каждого из них. На рис. 1 показана методика построения такого шаблона.

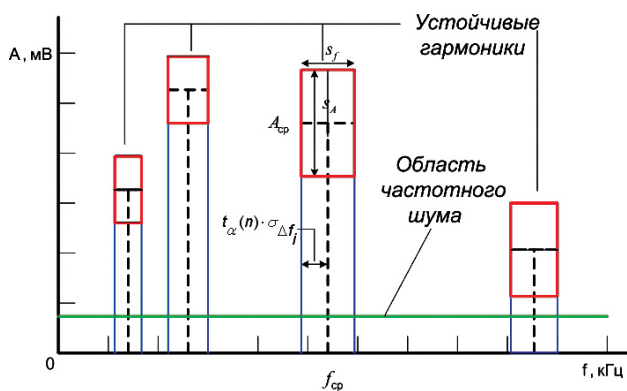


Рисунок 1 — Формирование структуры шаблона на основании сгруппированных статистических данных

С целью реализации разработанной методики в устройстве определения дефектности зажимов проведены экспериментальные исследования по определению информативных параметров их контроля.

В экспериментах рассматривались два метода — теневой и метод свободных колебаний [6, 7] (рис. 2 и 3). В основе первой схемы (см. рис. 2) лежит метод возбуждения и приема колебаний пьезодатчиками, включенными по раздельной схеме, входящими в комплектацию промышленного дефектоскопа УК10-ПМ (теневой метод контроля). Во втором случае (см. рис. 3) свободные колебания в испытуемом образце возбуждаются механическим ударом, а прием звукового сигнала осуществляется высокочастотным микрофоном.

Предварительные результаты экспериментов при работе по схеме, приведенной на рис. 2, показали, что повторяемость результатов от переустановки датчиков недостаточна. Это влечет за собой искажение результатов статистической обработки. Их анализ позволил определить основную причину нестабильности — высокую шероховатость поверхности зажимов (она достигает для некоторых типов зажимов 100 мкм и более). Для устранения выявленного недостатка необходима зачистка поверхности мест установки датчиков, что нерационально. К тому же в ряде случаев размеры датчиков превосходят размеры исследуемого образца.

Приемлемые результаты поиска дефектов зажимов дает метод свободных колебаний (см. рис. 3).

Осциллограммы спектральных характеристик двух плашек одного из зажимов представлены на рис. 4.

Отметим, что в спектре сигнала имеются достаточно устойчивые гармоники, различающиеся по амплитуде при нанесении удара на внешнюю и внутреннюю сторону плашки зажима (на внешней стороне располагается клеймо завода-изготовителя). Проведение 11 однотипных опытов для каждого зажима

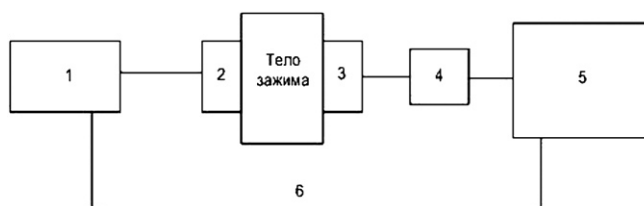


Рисунок 2 — Блок-схема экспериментальной установки, реализующей теневой метод: 1 — генератор сигналов; 2 — излучающий пьезодатчик; 3 — приемный пьезодатчик; 4 — усилитель; 5 — осциллограф-спектроанализатор; 6 — цепь синхронизации

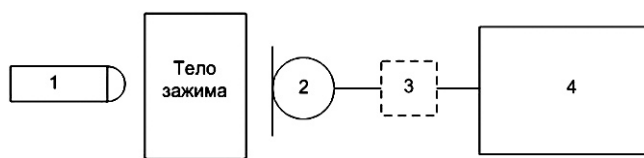


Рисунок 3 — Блок-схема экспериментальной установки, реализующей метод свободных колебаний: 1 — ударник; 2 — высокочастотный микрофон; 3 — усилитель; 4 — осциллограф-спектроанализатор

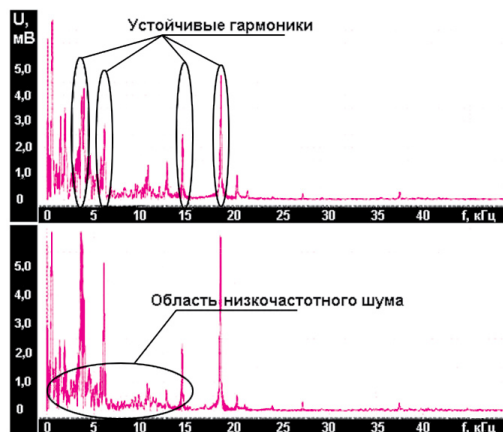


Рисунок 4 — Спектры смешанного сигнала для зажима при нанесении удара

дает возможность выделить гармоники, повторяющиеся более чем в 95% случаев, что говорит о возможности создания соответствующего шаблона.

Тогда изменение спектрограммы (отличие от шаблона) свидетельствует о наличии дефекта в испытуемом зажиме. При этом возможны следующие варианты (табл. 1).

На рис. 5 приведены осциллограммы для «бездефектных» и «дефектных» плашек зажимов одного типа.

Полученный принцип был использован при разработке устройства для входного контроля зажимов контактной сети ВКЗ-1.

Номенклатура типов обследуемых токопроводящих зажимов неограниченна.

Таблица 1 — Возможные изменения спектра и их вероятные причины

| Изменение спектра | Вероятная причина |
|--|--|
| Смещение одной или нескольких спектральных линий по частоте | Отклонение размеров или упругих характеристик плашки (чаще всего это не дефект) |
| Изменение соотношений амплитуд спектральных линий, превышающее возможный допуск, без появления дополнительных спектральных линий | Наличие мелких дефектов типа раковины или поры, размер и количество которых не влияют на эксплуатационные свойства (не более 1 мм и в количестве не более 0,5% от всей поверхности детали) |
| Изменение соотношений амплитуд спектральных линий, превышающее возможный допуск, с появлением дополнительных спектральных линий | Наличие достаточно крупных дефектов типа раковины или поры, размер которых превышает 3 мм и количество которых более 0,5% (возможно снижение эксплуатационных свойств зажима) |
| Изменение положения (частоты) одной из основных спектральных линий, изменение частот всех линий спектра | Наличие достаточно крупных дефектов типа трещины, раковины или поры (зажим заведомо дефектен) |
| Значительное уменьшение амплитуды одной или всех спектральных линий | |

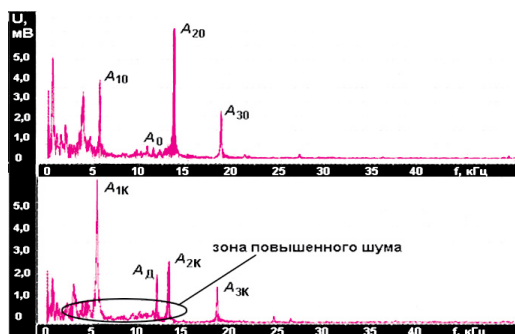


Рисунок 5 — Осциллограммы «бездефектной» (верхний спектр) и «дефектной» (нижний спектр) плашек зажима

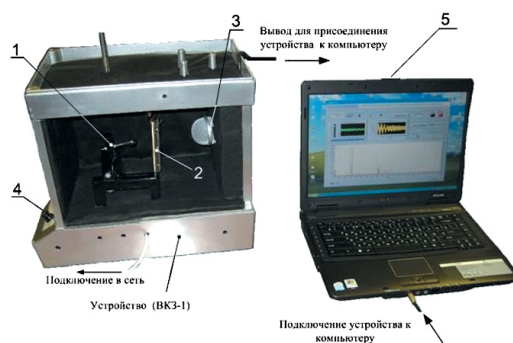


Рисунок 6 — Устройство входного контроля ВКЗ-1: 1 — ударник; 2 — испытуемый образец; 3 — акустический приемник; 4 — кнопка запуска; 5 — компьютер с установленным программным обеспечением

Внешний вид устройства приведен на рис. 6.

Процесс обработки результатов «обстукивания» осуществляется автоматически специальным программным обеспечением, основанным на использовании программного продукта LabView.

Для подготовки операторов дефектоскопической установки в комплекте поставки ВКЗ-1 предлагаются готовые шаблоны разных типов зажимов.

Выводы

1. При выборе метода входного контроля зажимов контактной сети акустическими методами более предпочтительным оказался метод свободных колебаний.
2. Разработана методика неразрушающего контроля зажимов, реализованная в устройстве входного контроля ВКЗ-1.

Литература

1. ГОСТ 12393-77. Арматура контактной сети для электрифицированных железных дорог. М.: Изд-во стандартов, 1985. 20 с.
2. Ли В.Н., Химухин С.Н. Неразрушающий контроль элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог: Монография. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. 266 с.
3. Ли В.Н., Костюк П.В., Химухин С.Н. Диагностика токопроводящих зажимов контактной сети // Контроль. Диагностика. М.: Машиностроение. 2006. № 5. (95) С. 27 — 31.
4. Кондратьев А.И. Прецизионные методы и средства измерения акустических величин твердых сред: Монография. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. 152 с.
5. Ли В.Н., Игнатенко И.В., Алимов А.А. Осуществление входного контроля зажимов контактной сети // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: Труды Всерос. науч. конф., 22 — 24 апреля 2008 г. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. Т. 1. С. 112 — 115.
6. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
7. Алешин Н.П. и др. Методы акустического контроля металлов. М.: Машиностроение, 1989. 455 с.



ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНЫХ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Обеспечить требуемый уровень приспособленности объекта к диагностированию можно только в том случае, если уже с первого этапа его проектирования будут учитываться требования технической диагностики. В общем случае под объектом диагностирования понимается динамическая система, преобразующая совокупность входных воздействий $X(t) = \{x_i(t)\}, i = \overline{1, n}$ в совокупность выходных реакций $Y(t) = \{y_j(t)\}, j = \overline{1, m}$.

Входные воздействия включают рабочие и тестовые сигналы, а также помехи. Совокупность внутренних переменных $Z(t) = \{z_\gamma(t)\}, \gamma = \overline{1, k}$ представляет собственные параметры объекта, определяющие его свойства как преобразователя $X(t)$ в $Y(t)$, т. е. $Y(t) = Z(t) X(t)$.

Если зафиксировать входные воздействия в установленных пределах, то выходная реакция объекта диагностирования должна быть в пределах области работоспособности в случае его работоспособного состояния. Если же при нормальном входном сигнале $Y(t)$ выходит за установленные пределы, то произошли изменения свойств объекта, связанные с изменением $Z(t)$. Поскольку требуется выбрать диагностические признаки объекта диагностирования, когда он еще физически отсутствует, то для этой цели приходится использовать его модель или модели.

Проектирование современных средств диагностирования (СД) представляет собой многоэтапный и длительный процесс, который может включать как теоретические, так и экспериментальные исследования с использованием разнообразного математического аппарата и современные ЭВМ. Если в процессе исследования средств диагностирования ограничиться изготовлением опытного образца, то проектирование будет содержать три этапа:

- 1) техническое предложение;
- 2) эскизный проект;
- 3) технический проект.

Техническое предложение является определяющим и должно выполняться одновременно с разработкой технического задания на специальные машины как единой системы. На этом этапе должны быть выработаны и обоснованы критерии эффективности системы диагностирования техники как наиболее полные и численные характеристики соответствия проектируемой системы ее целевому назначению с учетом различного рода затрат, необходимых для создания систем. Заканчивается этот этап разработкой технического задания, которое определяет, что требуется от СД, но не содержит рекомендаций по реализации этих требований.

На этапе эскизного проекта разрабатываются алгоритмы, функциональные и структурные схемы средств диагностирования, определяются характеристики и параметры подсистем и отдельных устройств, выбираются способы технической реализации и решаются вопросы размещения системы и согласования с характеристиками другой специальной машины.

На этапе технического проекта разрабатываются принципиальные и монтажные схемы, рабочие чертежи, спецификации и другая техническая документация, необходимая для изготовления и эксплуатации средств диагностирования.

Система диагностирования включает три разнородных элемента: объект, средства диагностирования, человек-оператор. Разнообразие пожарной и аварийно-спасательной техники оказывает большое влияние на процесс создания средств диагностирования, однако, основываясь на приведенном содержании процесса проектирования, можно рассматривать процедуру разработки средств диагностирования специальной техники, представленную на рис. 1 [1].

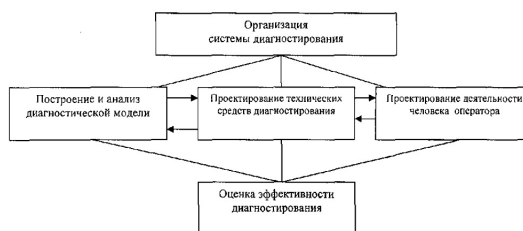


Рисунок 1 — Процедура разработки системы диагностирования

Сначала осуществляется организация взаимодействия элементов системы диагностирования. При этом согласовывается использование объекта с диагностированием и определяются требования, которым должны удовлетворять все элементы. В соответствии с выбранным критерием организации системы диагностирования формируются требования по безотказности, контролю и ремонтпригодности объекта и средств диагностирования, а также требования к человеку-оператору. Эти действия соответствуют первому из рассмотренных этапов проектирования. Качество разрабатываемой СД зависит от постановки и решения задач первого этапа. При этом необходимо:

- 1) выбрать критерий к организации СД, учитывающий показатели объекта диагностирования Π_1 , технических средств диагностирования Π_2 , человека-оператора Π_3 , режимов использования И и диагностирования Д. В общем случае необходимо, чтобы этот критерий позволял учитывать затраты на СД;
- 2) получить выражение для выбранного критерия К вида $K = f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, И, Д)$;
- 3) решить задачи организации на основе критерия К.

Затем процедура предусматривает параллельное во времени решение вопросов, связанных с проектированием отдельных элементов СД: строится и анализируется диагностическая модель с целью выбора совокупности диагностических признаков, задания условий и областей работоспособности, разработки алгоритмов диагностирования; проектируются ТСД и деятельность человека-оператора.

Необходимость одновременного решения этих вопросов определяется стандартом на разработку СД и объясняется целесообразностью принятия согласованных решений в процессе проектирования отдельных элементов, что обеспечивает высокую эффективность разрабатываемой системы. С другой стороны, самостоятельное рассмотрение вопросов, связанных с проектированием отдельных элементов СД, объясняется тем, что в большинстве случаев разработка элементов осуществляется различными проектными организациями. Это обстоятельство требует тщательной обработки и согласования всех принимаемых решений по созданию отдельных элементов СД.

Поскольку СД имеет подчиненное значение и предназначается для повышения эффективности объекта, то функции специалиста технической диагностики сводятся не к собственно проектированию объекта, а к разработке диагностического обеспечения, реализация которого создает требуемый уровень приспособленности объектов к диагностированию. Заканчивается параллельный процесс разработки элементов СД принятием технических решений. Параллельная во времени разработка элементов СД по своему содержанию соответствует второму и третьему этапам процесса проектирования технических объектов.

Поскольку в процессе диагностирования в общем случае участвуют три элемента, то для решения задач организации необходимо выбирать критерий, который должен характеризовать зависимость от показателей элементов СД, показателей использования и диагностирования объекта. Такой критерий представляет собой функцию вида

$$K = f(P_1, P_2, P_3, И, Д).$$

Задачи организации СД формулируются в зависимости от задач проектирования с учетом зависимости и имеющейся информации:

1) определить показатели, обеспечивающие максимум критерия организации K_{max} ;

2) определить показатели, обеспечивающие требуемое значение критерия организации $K_{тр}$.

Самыми распространенными постановками задач организации СД могут быть следующие.

1. Наиболее общая. Определить показатели $P_1, P_2, P_3, И, Д$, обеспечивающие K_{max} или $K_{тр}$.

2. Заданы: организация использования И и диагностирования Д. Определить P_1, P_2, P_3 , обеспечивающие K_{max} и $K_{тр}$.

3. Заданы требования к элементам системы диагностирования P_1, P_2, P_3 . Определить требования к режимам использования И и диагностирования Д, обеспечивающие K_{max} или $K_{тр}$.

4. Объект диагностирования разработан (известен P_1 , и для него жестко заданы режимы использования И и диагностирования Д). Определить требования к средствам диагностирования P_2 и человеку-оператору P_3 , обеспечивающие K_{max} или $K_{тр}$.

5. Известны показатели организации использования И, диагностирования Д, элементов системы диагностирования P_1, P_2, P_3 . Определить значение критерия К.

Первые четыре задачи оптимизационные, пятая — расчетная. В связи с тем что техническая диагностика является средством повышения ремонтпригодности и поддержания безотказности ОД, желательно, чтобы критерий К зависел от показателей безотказности, ремонтпригодности и приспособленности к диагностированию. Для этого в дальнейшем необходимо считать, что показатели P_1, P_2, P_3 включают эти показатели, т. е. $P_1 = (B_1, P_{n1}, П_{д1})$; $P_2 = (B_2, P_{n2}, П_{д2})$; $P_3 = (B_3, П_{д3})$,

где B_1, B_2, B_3 — показатели безотказности;

P_{n1}, P_{n2} — показатели ремонтпригодности;

$П_{д1}, П_{д2}, П_{д3}$ — показатели приспособленности к диагностированию ОД, ТСД и ЧО.

С учетом этого количество задач организации СД может значительно увеличиться.

В дальнейшем необходимо сформулировать математическую постановку задачи в общем виде.

Если обозначать через $X \{x_i\}$ показатели, входящие в К, то постановку задачи можно представить следующим образом. Известно несколько показателей $x_j, I = 1, K$. Требуется так выбрать значения остальных показателей $x_j, j = \overline{k+1, n}$, чтобы К = $f(x_1, \dots, x_k, \dots, x_n) = f(x)$ достиг значений K_{max} или $K_{тр}$.

Математическая постановка задачи в первом случае.

Найти $\max_{x_j \in L_1} K(x_1, \dots, x_n)$ при ограничениях $L_1: x_j^u \leq x_j \leq x_j^o$ (x_j^u — нижнее и верхнее граничные значения j -го показателя). Если показатели в пределах $[x_j^u, x_j^o]$ изменяются монотонно, то решение задачи находится в границах полученных значений

$$O = \{ \lfloor x_{k+1}^u, x_{k+1}^o \rfloor, \dots, \lfloor x_j^u, x_j^o \rfloor, \dots, \lfloor x_n^u, x_n^o \rfloor \}. \quad (1)$$

Во втором случае для обеспечения требуемого уровня критерия организации $K_{тр}$ необходимо решить уравнение

$$K(x) = K_{тр} \quad (2)$$

при ограничениях L_1 .

Существует по крайней мере одна комбинация значений показателей x , которая является решением этого уравнения. Сначала определяется целевая функция, позволяющая свести эту задачу к оптимизационной. Обозначим через $X_0 = (x_1, \dots, x_k, \dots, x_k, x_{k+1}^0, x_j^0, \dots, x_n^0) \in L$ вектор, доставляющий максимум функции $K(X)$, т. е. $K(X_0) = K(x_0) = \max K(x)$, где X_j^0 — наилучшие значения показателей.

Единственность решения задачи требует перевода уравнения (2) в число ограничений. В качестве целевой функции целесообразно использовать функцию близости векторов X_0 и X , т. е. решения уравнения (2), и обеспечить в процессе оптимизации ее в минимум $\min R(x, x_0) = \min \left[\sum_{j=k+1}^n \left(\frac{x_j - x_j^0}{x_j^0} \right)^2 \right]^{1/2}$ при ограничениях $L_2: x_j^u \leq x_j \leq x_j^o, K(X) = K_{тр}$.

В связи с тем что показатели, входящие в $K(X)$, могут различаться по величине на несколько порядков вследствие различной физической природы (вероятность, время), то, отыскивая $K(X, X_0)$, целесообразно нормировать показатели, введя коэффициенты масштабирования. Такая задача является универсальной. Она не зависит от количества искомым показателей x_j и необходимости минимизации или максимизации отдельных показателей. Для решения поставленной задачи может быть использован метод штрафных функций как наиболее универсальный.

Вид выражения для К во многом определяется выбором критерия организации СД. В качестве К можно выбрать вероятность нахождения СД в одном или нескольких состояниях. Для большинства технических объектов такие состояния работоспособны. При этом можно определить готовность ОД к использованию. Воспользуемся критерием организации СД — показателем готовности $П_г$, определяющим вероятность того, что ОД работоспособен в произвольный момент времени.

Методика получения выражения для К в случаях, когда переход из состояния в состояние вероятностный (марковский или полумарковский), сводится к следующему [2].



1. Определить совокупность состояний СД $S = \{s_i\}, i = \overline{1, n}$ на основе анализа режимов эксплуатации.

2. Построить граф $G(P, Q)$. Множество вершин $P = \{p_i\}, i = \overline{1, n}$ графа соответствует числу n обобщенных состояний и представляет собой множество вероятностей нахождения СД в соответствующих состояниях. Множество ветвей $Q = \{q_{ij}\}, i = \overline{1, n}$ определяет множество возможных переходов СД из состояния в состояние. Если процесс переходов принят однородным марковским случайным процессом, то каждой i -й вершине (состояние S_i) графа соответствует вероятность нахождения СД в i -м состоянии, а оператор ветви графа переходов представляет собой интенсивность перехода $q_{ij} = \text{const}$.

Если за процесс перехода СД из состояния в состояние принят полумарковский случайный процесс (ПМП), то вершинам графа соответствуют вероятности нахождения СД в этом состоянии, а каждая ветвь характеризуется вероятностью P_{ij} перехода из i -го в j -е состояние и условной средней длительностью $M(\tau_{ij})$ пребывания СД в состоянии S_i до перехода в состояние S_j при условии, что переход осуществляется мгновенно.

3. Составить систему уравнений по графу $G(P, Q)$ на основе правила, что алгебраическая сумма входящих в вершину сигналов равна 0. Знак «+» присваивается входящему сигналу, знак «-» — выходящему. Число уравнений соответствует числу вершин в графе.

Если процесс переходов — однородный марковский процесс, то система уравнений связывает вероятности P_i пребывания СД в различных состояниях с интенсивностями переходов

$q_i = \frac{1}{\tau_i}$ и при $i \rightarrow 0$ может быть представлена матричными уравнениями вида $PV = 0$ при условии $\sum_{i=1}^n P_i = 1$, где P — вектор вероятностей; V — матрица коэффициентов.

Если процесс переходов — полумарковский случайный процесс, то система уравнений имеет вид

$$\pi_j = \sum_{i=1}^n \pi_i P_{ij}$$

при условии $\sum_{j=1}^n \pi_j = 1$.

Здесь π_j — стационарная вероятность пребывания СД в состоянии S_j без учета средней длительности T_i пребывания в этом состоянии; P_{ij} — стационарная вероятность пребывания СД в состоянии S_j с учетом длительности T_i пребывания в этом состоянии.

4. Решить систему уравнений для случая одностороннего марковского процесса или для случая полумарковского процесса относительно p_i и π_i . Затем, выбрав одну из этих вероятностей (p_i или π_i) в качестве базовой (p_0 или π_0), привести все остальные вероятности к базовой введением коэффициентов

A_i или A_j , причем для случая однородного марковского процесса $A_i = \frac{P_i}{P_0}$, а для случая полумарковского процесса $A_i = \frac{P_i}{P_0}$.

5. Выбрать совокупность S^* из m состояний ($S^* \in S$), которая интересует проектировщика СД. При оценке готовности ОД в эту совокупность входят все состояния, характеризующие работоспособность ОД, а критерий K трансформируется в показатель готовности Π_1 . В общем случае эта совокупность может включать и другие состояния.

6. Определить вероятность нахождения СД в интересующих нас состояниях.

Если процесс переходов — однородный марковский процесс, то вероятность будет

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

Если процесс переходов — полумарковский процесс, то вероятность будет

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m A_i T_{0i}}{\sum_{i=1}^n A_i T_i} \quad (4)$$

Для каждого состояния S_i определяют безусловную длительность T_i пребывания СД в этом состоянии $T_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} M(\tau_{ij})$.

Для каждого состояния S_i из выбранной совокупности m состояний определяют среднее значение T_{0i} для безусловной длительности отсутствия дефектов в течение T_i

$$T_{0i} = \int_0^{T_i} P_0(t) dt,$$

где $P_0(t)$ — вероятность того, что в течение времени t в ОД не возникнет дефект.

Значение K , полученное из выражения (3) или (4), выбирают в качестве критерия организации СД.

Таким образом, предложена методика получения выражения для критерия организации системы диагностирования. Эта методика в случаях, когда переход из состояния в состояние вероятностный (марковский или полумарковский), сводится к следующему:

- 1) определить совокупность состояний системы диагностирования на основе анализа режимов эксплуатации;
- 2) построить граф;
- 3) составить систему уравнений по графу на основе правила, что алгебраическая сумма входящих в вершину сигналов равна 0;
- 4) решить систему уравнений для случаев марковского или полумарковского процесса;
- 5) выбрать совокупность из множества состояний, которая интересует проектировщика системы диагностирования;
- 6) определить вероятность нахождения системы диагностирования в интересующих нас состояниях.

Литература

1. *Специальные пожарные автомобили: Сборник нормативных документов. М.: ВНИИПО, 2000. Вып. 11.*
2. *Расход топлива и ГСМ. М.: Приор-издат, 2004.*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОВЗОВ

При работе тепловозов в окружающую среду выделяется большое количество вредных веществ, что резко снижает экологическую безопасность. Разрабатываются нормы, а также проводятся специальные испытательные циклы, которые позволяют оценить валовый выброс вредных веществ при эксплуатации тепловоза. При этом целесообразно использовать тепловозную и токсическую характеристики локомотива.

Экологическая безопасность железнодорожного транспорта в последние годы привлекает внимание общественности, однако оценивать выбросы вредных веществ тепловозов начали только в конце прошлого века. Это обусловлено тем, что еще недавно при разработке тепловозных дизелей принимали во внимание только экономические показатели двигателя. Но природоохранные требования в последние годы ужесточились. Это заставляет железные дороги и заводы — изготовители железнодорожной техники перейти на такую организацию эксплуатационной деятельности, которая позволит реализовать высокую энергетическую и экономическую эффективность тепловозов и максимально снизить вредное влияние на окружающую среду. Меры по снижению воздействия вредных выбросов от железнодорожного транспорта предпринимаются в разных странах уже в течение ряда лет. Для этого разрабатываются различные программы [1, 2].

Железные дороги признаны более экологичным видом транспорта в сравнении с другими. Подтверждением этому могут служить следующие данные. Используя 1 галлон (3,785 л) дизельного топлива, железнодорожный транспорт обеспечивает перевозку 1 т груза на расстояние 700 км (автомобильный — на 225 км); удельные выбросы в атмосферу оксидов азота и различных твердых веществ на единицу перевозочной работы (ткм) на железнодорожном транспорте примерно в три раза ниже, чем на автомобильном [2]. Однако, несмотря на это, давление, оказываемое железными дорогами на окружающую среду, остается весьма ощутимым.

Железнодорожный транспорт еще долго не сможет обходиться без тепловозов. В общей сложности на железных дорогах мира их насчитывается более 110 тыс. (без стран СНГ), из которых 28 500 эксплуатируются в США. В России в подразделениях ОАО «РЖД» и на предприятиях промышленного железнодорожного транспорта работает более 100 000 тепловозов [3]. Только на подъездных путях промышленных предприятий более 28,5 тыс. маневровых тепловозов. Современные тепловозные двигатели обладают большой мощностью, что обеспечивает массивный выброс вредных отработавших газов (ОГ). В отдельных случаях это приводит к локальному загрязнению окружающей среды, что особенно ощутимо при работе маневровых тепловозов. По нашей оценке, выброс вредных веществ от тепловозов ОАО «РЖД» составляет порядка 1,2 — 1,3 млн т в год, при этом используется более 4 млн т дизельного топлива [4].

В составе ОГ обнаружено более 200 индивидуальных токсичных веществ, которые составляют 1,5 — 2% от общего

объема ОГ ДВС, но именно эта небольшая часть и доставляет людям все неприятности и тревоги [5]. В структуре ущерба окружающей среде и здоровью от выбросов транспорта на долю 9 веществ приходится 95% суммарного ущерба: это оксиды азота (44,5%), свинец (21%), акролеин (7,5%), сажа (7,4%), оксид углерода (6%), диоксид серы (3,4%), формальдегид (2,8%), бенз(а)пирен (1,3%), ацетальдегид (1,1%). Атмосфера Земли сильно загрязнена диоксидом углерода (CO₂), в больших количествах содержащегося в ОГ ДВС. Этот газ играет основную роль в формировании парникового эффекта — явления, которое в настоящее время стало глобальной проблемой.

Все вредные вещества обладают разной агрессивностью, или токсичностью (табл. 1)

Таблица 1 — Относительная токсичность основных компонентов ОГ

| Токсичный компонент | Относительная токсичность, приведенная к CO |
|---------------------|---|
| Оксид углерода | 1,0 |
| Углеводороды | 3,16 |
| Оксиды азота | 41,1 |
| Акролеин | 20,0 |
| Диоксид серы | 22,0 |
| Формальдегид | 60,0 |
| Сажа | 25,0 |
| Свинец | 22 400 |
| Бенз(а)пирен | 11 200 |

В настоящее время в составе ОГ обнаружены тысячи наименований твердых частиц, которые по своей агрессивности (вредности) значительно превосходят газообразные вещества [6]. Особенно их много в выхлопе дизельных двигателей. Под частицами (particulate) в области экологии транспорта понимают все вещества в твердой и жидкой фазах (за исключением воды), выбрасываемые в атмосферу с ОГ дизелей. В Правилах № 49-02 ЕЭК ООН указано, что частицы — это весь материал, отбираемый на фильтр из ОГ, охлажденных до 52 — 42 °С.

Дизельные частицы составляют лишь 3 — 10% от всех частиц, выбрасываемых в атмосферу, но именно они самые опасные.

Особенно велика вероятность токсичного воздействия дизельных частиц на людей, работающих в условиях с ограниченным воздухообменом, например в производственных помещениях, куда для осуществления технологического цикла заходят тепловозы. Исследованиями установлено, что при



воздействию больших доз дизельных частиц на людей риск возникновения рака легких повышается на 40%.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Агентство по охране окружающей среды США и Департамент воздушных ресурсов штата Калифорния внесли твердые частицы в список наиболее токсичных примесей к воздуху, т. е. веществ, которые сами являются причиной массовых заболеваний и смертности либо вносят вклад в увеличение их количества и могут представлять прямую или потенциальную угрозу для здоровья человека. Поэтому ОГ дизелей включены в перечень веществ, продуктов, производственных процессов и бытовых факторов, канцерогенных для человека. Очень серьезную угрозу представляют канцерогенные полиароматические углеводороды (ПАУ) и их нитропроизводные, а также оксиды азота и сажа, которые при соединении с парами воды создают ядовитый туман — смог. В нем происходят цепные реакции с образованием особо токсичных и канцерогенно опасных соединений.

Россия, как и весь мир, прежде всего приняла нормы на ограничение вредных выбросов от автомобильного транспорта и лишь намного позже — от тягового подвижного состава.

В соответствии с нормами ЕЭК ООН должны быть ограничены следующие выбросы: для бензиновых и газовых двигателей — оксиды азота, оксид углерода, углеводороды; для дизельных двигателей — оксиды азота, оксид углерода, углеводороды, твердые частицы.

К первым нормативным документам можно отнести вышедшую в 1955 г. Памятку 623, требования которой носили рекомендательный характер (табл. 2).

Предельные величины выброса вредных веществ в ОГ тепловозных дизелей пересматривались в 1982, 1993 и 1997 гг., став обязательными к исполнению.

Таблица 2 — Удельный выброс вредных веществ с ОГ тепловозных дизелей

| Документ | Предельная концентрация, г/кВт·ч | | | | Индекс Бош |
|----------------------------|----------------------------------|-----|-----------------|------|------------|
| | СН | СО | NO _x | Сажа | |
| Памятка МСЖД 623 | 0,8 | 3,0 | 12,0 | — | 1,6 — 2,5 |
| ЕРА (США) (2005 г.) | 0,4 | 2,0 | 7,4 | 0,27 | — |
| УВА (Германия) (с 2005 г.) | 0,3 | 1,0 | 3,0 | — | До 1,0 |

В Европе практически до конца XX в. не было предельных норм выбросов вредных веществ, установленных законодательством. Существовал лишь закон железных дорог Германии (DBAG), согласно которому выбросы следовало исключить или минимизировать (см. табл. 2). В тот же период МСЖД (UIC) разработал рекомендации, которые послужили основой для создания методики (цикла) проверки тепловозов на токсичность ISO-F. Этими разработками предусматривались следующие предельные нормы выброса вредных веществ: СО — 3; СН — 0,8; NO_x — 12 г/кВт·ч. Для оценки содержания сажи в ОГ использовалось число Бош, значение которого было в пределах от 1,6 до 2,5.

В новом тысячелетии МСЖД ужесточил рекомендации по предельному значению содержания вредных веществ в ОГ для железнодорожного транспорта (табл. 3) [7].

Эти рекомендации выполняются добровольно — при получении разрешений на эксплуатацию нового или модернизированного подвижного состава.

Таблица 3 — Нормы выброса вредных веществ с ОГ тепловозов [3]

| Токсичный компонент | Предельное выделение вредных выбросов, г/кВт·ч | | |
|---------------------|--|--------|--------|
| | EURO 0 | EURO 1 | EURO 2 |
| СО | 11,2 | 5 | 4 |
| СН | 2,4 | 1,25 | 1,1 |
| NO _x | 14,4 | 9 | 7 |
| Частицы сажи | — | 0,4 | 0,15 |

МСЖД и входящие в него железные дороги в течение многих лет работали над техническими требованиями к дизельному подвижному составу. Последние из них содержатся в обязательном к применению документе МСЖД 624.

На рис. 1 и в табл. 1 — 5 показано, как постепенно ужесточались требования к выбросу вредных веществ с ОГ дизелей [7].

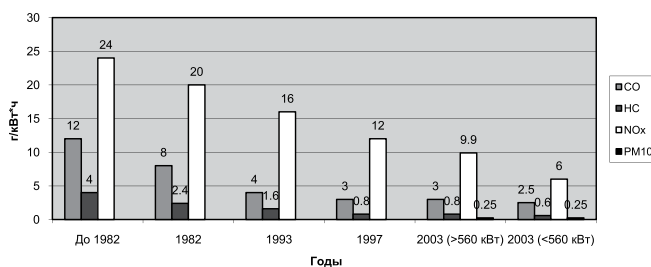


Рисунок 1 — Динамика ужесточения требований токсичности дизелей подвижного состава

В табл. 4 для сравнения приведена динамика ужесточения норм на выброс вредных веществ от дизелей автомобильного назначения [8].

Таблица 4 — Нормы выброса вредных веществ от дизелей автомобильного транспорта

| Стандарт | Срок введения | Содержание в отработавших газах, г/км | | | |
|----------|---------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | | СО | NO _x | HC+ NO _x | Твердые частицы |
| Евро-1 | 01.01.93 | 8,0 | — | 2,0 | 0,29 |
| Евро-2 | 01.01.98 | 1,5 | — | 1,2 | 0,17 |
| Евро-3 | 01.01.01 | 0,95 | 0,78 | 0,86 | 0,10 |
| Евро-4 | 01.01.06 | 0,74 | 0,39 | 0,46 | 0,06 |
| Евро-5 | 01.09.10 | 0,74 | 0,28 | 0,45 | 0,005 |
| Евро-6 | 01.09.15 | 0,74 | 0,125 | 0,215 | 0,005 |

Несмотря на то что дизели, установленные на автомобилях и тепловозах, относятся к разным классам по мощности, сравнение показывает, что современные нормы для автомобилей более жесткие. Как быстро и какие технологии воплотятся в жизнь для дальнейшего снижения давления на окружающую среду железнодорожным транспортом, зависит от многих факторов.

Члены ЕС приняли свои более жесткие нормы по сравнению с нормами МСЖД (Директива EG97/68).

В табл. 6 — 8 для сравнения приведены нормы, ограничивающие токсичность ОГ тепловозных дизелей в США (ЕРА), МСЖД и в Европейском экономическом сообществе.

Таблица 5 — Предельные значения, рекомендованные МСЖД (UIC) в разные годы [6]

| Источник | Срок действия | Мощность дизеля, кВт | Содержание, г/кВт·ч | | | | Показатель дымности |
|----------|---------------|--|---------------------|-----|-----------------|------|---------------------|
| | | | CO | CH | NO _x | PM | |
| UIC—ORE | До 1982 г. | Для всех двигателей | 12 | 4 | 24 | | 1,6 — 2,5 |
| UIC—OREI | До 1993 г. | | 8 | 2,4 | 20 | | 1,6 — 2,5 |
| UIC—OREI | С 1993 г. | | 4 | 1,6 | 16 | | 1,6 — 2,5 |
| UIC—OREI | С 1993 г. | | 3 | 0,8 | 12 | | 1,6 — 2,5 |
| UICII | С 2003 г. | < 560 | 2,5 | 0,6 | 6 | 0,25 | — |
| | | > 560 при n > 1000 об/мин > 560 при n > 1000 об/мин | 3 | 0,8 | 9,5 9,9 | 0,25 | — |
| UIC III | С 2008 г. | < 560 | 2 | 0,5 | 4,5 6 | 0,15 | — |

Таблица 6 — Сроки внедрения норм (Директива ЕС 97/68) [6]

| Подвижной состав | Срок ввода в действие | Мощность дизеля, кВт | Содержание, г/кВт·ч | | | | |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------|-----------------|---------------------|-------|
| | | | CO | CH | NO _x | NO _x +CH | PM |
| Моторные вагоны | С 2006 г. | > 130 | 3,5 | — | — | 4 | 0,2 |
| Локомотивы | С 2007 г. | < 560 | 3,5 | — | — | 4 | 0,2 |
| Локомотивы | С 2009 г. | > 560 | 3,5 | 0,5 | 6 | — | 0,2 |
| Локомотивы | С 2009 г. | > 560 | 3,5 | 0,4 | 7,4 | — | 0,2 |
| Локомотивы | С 2012 г. | > 130 | 3,5 | 0,19 | 2,0 | — | 0,025 |
| Локомотивы | С 2012 г. | > 130 | 3,5 | — | — | 4 | 0,025 |

Таблица 7 — Предельное значение концентрации вредных веществ в ОГ дизелей [6]

| Вредные вещества | Нормы, г/кВт·ч | | | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|---|---|--------------|
| | ЕРА США | | | МСЖД 2 (ERRI), 2003 г. | R11 04/26EG | |
| | ступень 0, 2001 г. | ступень 1, 2004 г. | ступень 2, 2005 г. | | Ступень IIIA | Ступень IIIB |
| | Для магистральных локомотивов | | | Цикл F согласно ISO 8178 (3 режима испытаний) | Цикл C1 согласно ISO 8178-4 (8 режимов испытаний) | |
| CH | 1,34 | 0,74 | 0,4 | 0,8 | 4* | 0,19 |
| NO | 12,7 | 9,9 | 7,4 | 9,5/9/9** | | |
| CO | 6,7 | 2,9 | 2 | 3 | 3,5 | 3,5 |
| Сажа | 0,8 | 0,6 | 0,27 | 0,25 | 0,2 | 0,025 |

* Суммарная концентрация CH и NO.

** n > 1000 об/мин / n ≤ 1000 об/мин.

Таблица 8 — Предельные величины выделений загрязнителей воздуха согласно Директиве EG 97/68, г/кВт·ч [6]

| Уровень | Категория по мощности, кВт | Тип подвижного состава | Срок ввода в действие | | CO | CH | NO _x | PM ₁₀ | |
|---------|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|----------|------|-----------------|------------------|-----|
| | | | Принятие | Внедрение | | | | | |
| IIIA | RCA | > 130 | Дизель-поезд | 01.07.05 | 01.01.06 | 3,5 | 4,0 | 0,2 | |
| | RLA | 130-560 | | 01.01.06 | 01.01.07 | | | | |
| | RHA | > 560 | Тепловоз | 01.01.08 | 01.01.09 | | 0,5 | | 6,0 |
| | RHA | > 200 | | | | | 0,4 | | 7,4 |
| IIIB | RCB | >130 | Дизель-поезд | 01.01.11 | 01.01.12 | 0,19 | 2,0 | 0,025 | |
| | RB | | | | | 4,0 | | | |

Предельные значения по удельным выбросам вредных веществ от тепловозов, разработанные в США, Европе, МСЖД, нельзя сравнивать друг с другом. Однако ясно видно, что все нормы имеют тенденцию к ужесточению. Многие железнодорожные компании активно начали поддерживать поиски технических решений по минимизации затрат жизненного цикла (ЛСС) и разрабатывать в содружестве с промышленностью экономичные и оптимальные технические решения.

В 2002 г. на территории США вступили в силу новые законодательные акты, опирающиеся на положения, разработанные Ведомством по охране окружающей среды США (ЕРА). Тепловозы, эксплуатируемые на железных дорогах США, подразделяются на три категории. К категории 0 относятся локомотивы, построенные в 1973 — 2001 гг., к категории 1 — локомотивы, построенные до конца 2004 г., и, наконец, к категории 2 — новые локомотивы, введенные в эксплуатацию после 1 января 2005 г. Для каждой категории предусмотрены разные допустимые концентрации содержания в ОГ оксидов азота (NO_x), углеводородов (CH) и оксида углерода (CO), а также твердых частиц. Стандарт разрешил эксплуатацию тепловозов постройки до 1974 г., если даже они не удовлетворяют требованиям, — вплоть до очередного капитального ремонта. Под это требование подпадают многие маневровые тепловозы, построенные фирмой ЕМД GM с 1966 по 1973 г.

В России нормативные документы, ограничивающие выбросы вредных веществ и дымность ОГ, появились в середине 90-х гг. XX в. Это «Временные нормы дымности и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с ОГ эксплуатируемого дизельного подвижного состава» (1995 г.) и ГОСТ Р 50953-96, разработанный в соответствии с международными требованиями.

Таблица 10 — Исследовательский испытательный цикл для тепловозов (применительно к тепловозу ТГМ 6А)

| Номер режима цикла | Позиция контроллера | Частота вращения коленчатого вала, об/мин/с ⁻¹ | Мощность двигателя, л.с./кВт | Весовой коэффициент |
|--------------------|---------------------|---|------------------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 420/7 | 0 | 0,6 |
| 2 | 1 | 420/7 | 84/62 | 0,088 |
| 3 | 2 | 500/8,3 | 150/110 | 0,090 |
| 4 | 3 | 585/9,6 | 230/169 | 0,104 |
| 5 | 4 | 670/10,8 | 330/243 | 0,053 |
| 6 | 5 | 750/12,5 | 527/387 | 0,030 |
| 7 | 6 | 835/14,2 | 661/486 | 0,015 |
| 8 | 7 | 920/15,0 | 876/644 | 0,01 |
| 9 | 8 | 1000/16,6 | 1200/883 | 0,01 |

1. Проводить регулярные проверки на соответствие техническим нормативам выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (далее именуются — проверки): — автотранспортных средств, тракторов, самоходных дорожно-строительных и иных машин, маневровых, магистральных тепловозов, воздушных судов гражданской авиации, начиная с 2004 г., — путевой техники, морских судов, судов внутреннего плавания, судов смешанного (река — море) плавания, спортивных и прогулочных судов начиная с 2004 г.

2. Установить, что:

а) проверки маневровых, магистральных тепловозов и путевой техники организуются и проводятся Федеральной службой по надзору в сфере транспорта совместно с Федеральной службой по надзору в сфере природопользования с установленной этими службами периодичностью...»

В Кодексе об административных правонарушениях существует глава 8 «Административные правонарушения в области охраны окружающей среды и природопользования», статья 8.2 которой гласит: «Несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при обращении с опасными отходами производства и потребления или иными опасными веществами влечет наложение административного штрафа на юридическое лицо — от ста тысяч до двухсот пятидесяти тысяч рублей или административного приостановления деятельности на срок до девяноста суток».

Таким образом, созданная в стране законодательная база, если ее правильно использовать, может значительно повысить экологическую безопасность тепловозов — как магистральных, так и маневровых.

Литература

1. *Пассажирский рельсовый транспорт США: природоохранные аспекты // Железные дороги мира. 2009. № 9. С. 17 — 20.*
2. *Экологический инжиниринг на железных дорогах Северной Америки // Железные дороги мира. 2009. № 9. С. 21 — 27.*
3. *Радионов А.Г. Экологическая экспертиза подвижного состава // Эксперт РСТ. 2009. Август. С. 18 — 19.*
4. *Техносферная и экологическая безопасность на транспорте: Матер. междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2008. 327 с.*
5. *Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1981. 160 с.*
6. *Звонов В.А., Козлов А.В., Кутенев В.Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. М.: НАМИ, 2001. 248 с.*
7. *Булаев В.Г. Железнодорожный транспорт и загрязнение окружающей природной среды // Транспорт Урала. 2008. № 1 (16). С. 28 — 32.*
8. *Булаев В.Г. Экологические проблемы, возникающие при эксплуатации тепловозов, и способы их решения // Промышленный транспорт. XXI век. 2004. № 2. С. 55 — 56.*
9. *Булаев В.Г. Токсичность выхлопных газов дизелей // Электрическая и тепловозная тяга. 1982. № 4. С. 18 — 19.*
10. *Exhaust Emissions // Railway Locomotives and Cars. 1972. No. 7. P. 32.*



ТОКСИЧНОСТЬ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье представлены результаты исследования токсичности газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации с учетом массы перевозимого груза и предложена методика дифференцированного корректирования платы за выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

Актуальность проблемы

Прогресс в автомобильной промышленности, дальнейшее увеличение грузооборота автомобильного транспорта предусматривает не только количественный рост автопарка, но и значительное улучшение использования имеющихся автомобилей, повышение культуры эксплуатации.

В области развития и совершенствования автомобильных двигателей основными задачами являются: расширение использования дизелей, повышение топливной экономичности и снижение удельной массы двигателей, стоимости их производства и эксплуатации [1]. На принципиально новый уровень ставится борьба с токсичными выбросами двигателей в атмосферу. Под токсичностью двигателей внутреннего сгорания (ДВС) понимается негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду (растения, животных, людей и строения) вредными веществами, содержащимися в отработавших газах (ОГ) ДВС [2].

Огромное влияние на эффективность автомобилей и автотранспортных систем оказывают условия эксплуатации, существенно изменяя уровень их производительности, топливной экономичности, надежности и ряда других показателей [3].

Ввиду того что большая часть территории России находится в зонах с суровыми и умеренными зимами, в которых эксплуатируется значительное количество автотранспортных средств, а серийное производство автомобилей осуществляется, как правило, для нормальных условий эксплуатации (температура воздуха — 25°C, барометрическое давление 760 мм рт. ст., относительная влажность воздуха 50% и т. д.), становятся актуальными вопросы приспособленности данных автомобилей к таким условиям эксплуатации [4]. Решение этой проблемы позволяет объективно корректировать нормируемое значение расхода топлива на выполнение транспортных работ и осуществлять взимание платы за выбросы вредных веществ (ВВ) с ОГ.

Из года в год увеличиваются темпы газификации автотранспортных систем, среди которых газодизельные автомобили занимают далеко не последнее место. Конвертация дизельных автомобилей в газодизельные обусловлена удорожанием традиционного моторного топлива, а также ужесточением экологических требований к эксплуатации автотранспорта. Использование компримированного природного газа (КПГ) в качестве моторного топлива позволяет снизить выбросы в атмосферу оксидов углерода и оксидов азота на 30 — 70%, а также уменьшить дымность ОГ в 8 — 10 раз [5]. Поэтому расширение использования КПГ на автомобильном транспорте является одним из важных направлений повышения его экологической безопасности.

В настоящее время в Российской Федерации взимание платы за загрязнение окружающей природной среды осуществляется согласно инструктивно-методическим указаниям [6]. К недостаткам существующего подхода взимания платы относится то, что он не учитывает фактическое значение температуры окружающего воздуха во время эксплуатации автомобилей, климатические особенности региона, в котором эксплуатируется автомобиль. Между тем требуется корректировка и к среднесуточному изменению климатических условий, особенно при эксплуатации автомобилей по двух- и даже трехсменному рабочему графику, поскольку температура воздуха в ночное и дневное время суток, как правило, различна. Из этого следует, что автотранспортные средства будут сжигать неодинаковое количество моторного топлива в течение всего периода и, следовательно, количество выбрасываемых ВВ с ОГ будет различным.

Методика исследований

Методика включала проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния температуры окружающего воздуха и массы перевозимого груза на токсичность газодизельного автомобиля (ГДА) КамАЗ-5320. На первом этапе производились измерения выбросов оксидов азота с ОГ газоанализатором ГИАМ-27-04 с БВ-1 и дымности ОГ дымомером КИД-2 автомобиля при работе двигателя на холостом ходу и при повышенных оборотах 2000 об/мин; значения сравнивались со значениями, полученными аналитическим путем, оценивалось расхождение, выявлялись закономерности. На втором этапе проводился аналитический расчет выбросов ВВ с ОГ автомобиля при движении со скоростью 70 км/ч по междугородной автомобильной дороге категории II с ровным асфальтобетонным покрытием. Диапазон исследуемых температур окружающего воздуха от 0 до минус 40°C. Загрузка автомобиля изменялась от нуля до максимально возможной, согласно нормативно-технической документации на автомобиль.

Результаты исследований

На основании использования широко апробированных методик [1, 7 — 9] был произведен тепловой расчет дизельного двигателя КамАЗ-7409.10 при работе по дизельному циклу (ДЦ) и газодизельному циклу (ГДЦ) в низкотемпературных условиях эксплуатации с учетом массы перевозимого груза. Тепловой расчет позволяет с достаточной степенью точности аналитическим путем определить основные параметры двигателя в любых заданных условиях его работы, оценить влияние отдельных факторов на протекание процессов и показатели



цикла в целом. Далее по методикам моделирования процесса образования вредных веществ [2, 10], результатам исследований [9, 11] и ряду других источников были рассчитаны массовые концентрации выбросов оксидов азота и сажи автомобиля КамАЗ-5320 при работе на холостом ходу. Результаты аналитического расчета выбросов ВВ с ОГ и экспериментальных исследований с применением газоанализатора и дымомера при работе автомобиля на холостом ходу показали достаточно высокий уровень сходимости данных (рис. 1 и 2). Расхождение в значениях по выбросам оксидов азота варьируется в интервале 7 — 11%, выбросов сажи 9 — 17%, но необходимо отметить, что в целом характер изменения распределения точек имеет аналогичную зависимость. Однако надо учитывать, что моделирование процесса образования сажи и оксидов азота в нашем случае базируется на модели процесса горения, характерном для данного типа двигателя. На основании этого был произведен расчет выбросов ВВ с ОГ автомобиля в движении со скоростью 70 км/ч с учетом температур окружающего воздуха от 0 до минус 40°C и массы перевозимого груза. На рис. 3 представлена графическая зависимость выбросов массовых концентраций оксидов азота от температуры окружающего воздуха, рассчитанных аналитическим методом. Понижение

температуры воздуха с 0 до минус 40°C приводит к снижению выбросов оксидов азота во всем диапазоне изменения коэффициента использования грузоподъемности ($\gamma = 0 — 1$) как при работе по ДЦ, так и по ГДЦ. При понижении температуры также снижается выброс массовой концентрации сажи при работе по ДЦ на 28 — 32% (рис. 4). Уменьшение содержания сажи и оксидов азота с понижением температуры воздуха можно объяснить так: пониженная температура воздуха на входе в дизельный двигатель приводит к увеличению весового заряда и коэффициента избытка воздуха в цилиндре. Абсолютная концентрация кислорода в камере сгорания возрастает, что способствует быстрому и более полному сгоранию топлива. Следовало бы ожидать, что выход оксидов азота увеличится, однако концентрация оксидов азота понижается. Причина — снижение общего температурного уровня цикла, обусловленного меньшей начальной температурой заряда. Это оказывает более сильное влияние на образование оксидов азота, чем увеличение концентрации кислорода. При работе автомобиля по ГДЦ он менее восприимчив (более приспособлен) к изменению нагрузки на двигатель. Количество выбрасываемой при этом сажи на 60 — 80%, т. е. в 2 — 2,5 раза меньше, чем при работе по ДЦ.

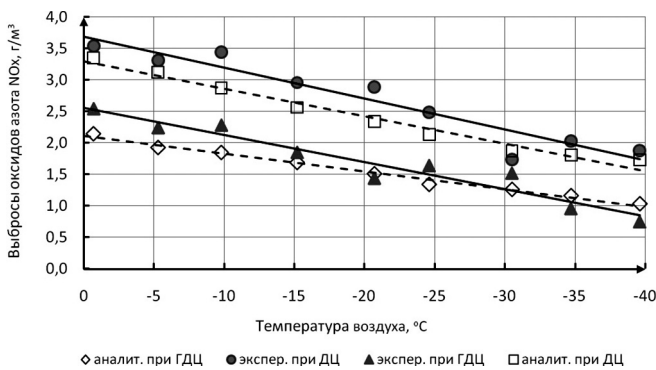


Рисунок 1 — Зависимость выбросов оксидов азота от температуры воздуха

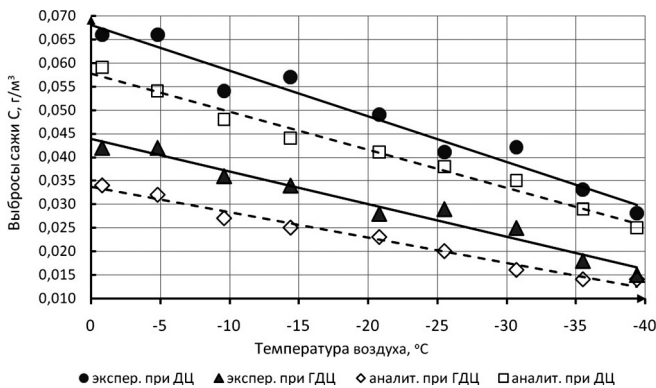


Рисунок 2 — Зависимость выбросов сажи от температуры воздуха

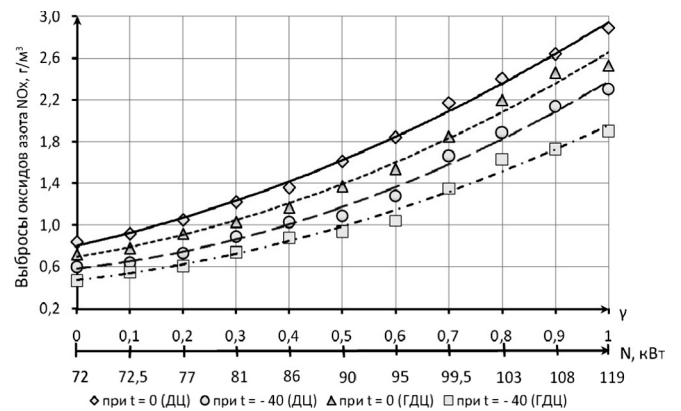


Рисунок 3 — Зависимость выбросов оксидов азота от коэффициента использования грузоподъемности γ (мощности N , развиваемой двигателем)

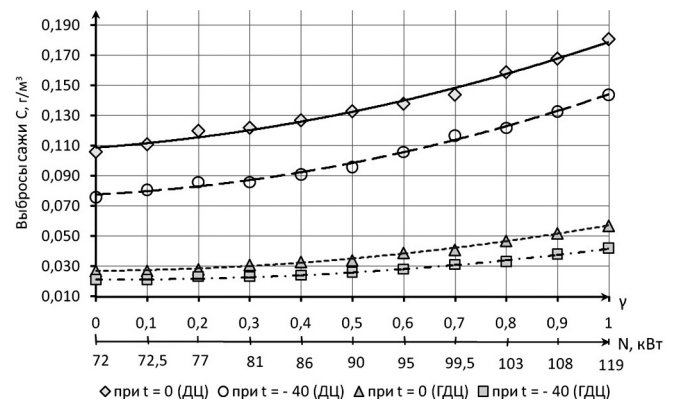


Рисунок 4 — Зависимость выбросов сажи от коэффициента использования грузоподъемности γ (мощности N , развиваемой двигателем)



На основании результатов исследования была разработана методика дифференцированного корректирования платы за выбросы ВВ с ОГ ГДА с учетом влияния температуры окружающего воздуха и массы перевозимого груза. Методика включает: определение дифференцированного коэффициента, корректирующего плату за выбросы ВВ с ОГ ГДА; расчет платы за выбросы ВВ с ОГ с учетом корректирующего коэффициента.

Величина дифференцированного коэффициента (K_δ), корректирующего плату за выбросы ВВ с ОГ автомобилей, является обратной величиной коэффициента приспособленности (A)

$$K_\delta = \frac{1}{A}. \quad (1)$$

Коэффициент приспособленности представляет собой среднее арифметическое значение между коэффициентом приспособленности по выбросам оксидов азота (A_{NOx}) и по выбросам сажи (A_c) и определяется как отношение нормативного массового выброса (M_H) к фактическому (M_ϕ)

$$A = \frac{M_H}{M_\phi}. \quad (2)$$

Удельная плата за допустимые выбросы ВВ с ОГ от автотранспортных средств, образующиеся при сжигании 1 т различных видов топлива, определяется по формуле

$$Y_i = H \cdot K_\delta, \quad (3)$$

где Y_i — удельная плата за допустимые выбросы ВВ с ОГ, образующиеся при сжигании 1 т i -го вида топлива, руб.;

H — базовый норматив платы за выбросы 1 т ВВ с ОГ в размерах, не превышающих предельно допустимые значения выбросов, руб.;

K_δ — корректирующий коэффициент платы за выбросы ВВ с ОГ;

e — вид топлива.

Выводы

1. Значения выбросов ВВ с ОГ, рассчитанные аналитическим методом для движения автомобиля с установленными скоростями в низкотемпературных условиях с учетом массы перевозимого груза, могут отличаться от истинных значений, однако они дают более объективную картину с точки зрения взимания платы за выбросы вредных веществ относительно той методики, которая применяется в настоящее время.

2. Предлагаемая методика дифференцированного корректирования платы за выбросы ВВ с ОГ позволит повысить эффективность использования газодизельных автомобилей (снизить себестоимость перевозок, повысить конкурентоспособность автотранспортного предприятия).

3. Экономический эффект от внедрения предлагаемой методики для парка газодизельных автомобилей КамАЗ-5320 в количестве 100 единиц при их эксплуатации в зимний период (5,5 месяцев) на юге Тюменской области составит при работе по ДЦ 260 руб., по ГДЦ 940 руб. Расчеты показывают, что сумма, взимаемая за загрязнение окружающей среды автотранспортными средствами, несоизмерима (в десятки раз меньше) с суммой, необходимой для устранения ущерба, наносимого выбросами вредных веществ. Поэтому действующие инструктивно-методические указания требуют корректировки.

Литература

1. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002. 496 с.
2. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для высшей школы: 2-е изд., испр. и доп. М.: Академический проект, 2004. 400 с.
3. Резник Л.Г. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. Учеб. пособие. Тюмень: ТГУ, 1985. С. 5.
4. Анисимов И.А. Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на различных видах топлива // Транспорт Урала. 2008. № 4. С. 90 — 91.
5. Резник Л.Г., Анисимов И.А., Барков В.Н. Концепция перевода транспорта на компримированный природный газ в условиях Тюменской области // Транспорт Урала. 2007. № 4. С. 101 — 105.
6. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды: Зарегистр. в Минюсте РФ 24.03.03 № 190.
7. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1992. 414 с.
8. Ерохов В.И. Газодизельные автомобили. Конструкция, расчет, эксплуатация: Учеб. пособие для вузов / В.И. Ерохов, А.Л. Карунин. М.: Граф-Пресс, 2005. 560 с.
9. Лиханов В.А. Сгорание и сажеобразование в цилиндре газодизеля. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 104 с.
10. Зельдович Я.Б. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. М.: Наука, 1980. 478 с.
11. Терещенко М.А. Моделирование нестационарных процессов в аппаратах пульсирующего горения и исследование их влияния на экологические характеристики: Дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2008. 124 с.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ САМОВОЗГОРАНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Выполнен анализ пожарной опасности самовозгорания углей при транспортировке железнодорожным транспортом. Рассмотрены основные подходы к количественному определению условий самопроизвольного возникновения горения. Рассмотрена физическая сущность явления самовозгорания, приведены расчетные формулы, позволяющие по кинетическим параметрам оценивать свойства самонагревающихся материалов.

Одним из основных источников энергии в мире является каменный уголь, потребление которого в последнее десятилетие существенно возросло, что повлекло за собой рост его добычи, транспортировки и переработки, в том числе восточных месторождений России, главным достоинством которых является низкая себестоимость, а главным недостатком — склонность к самовозгоранию [1].

Сегодня грузовой железнодорожный транспорт — ключевой элемент транспортной системы страны. В структуре совокупного грузооборота на долю железнодорожных перевозок в 2005 г. приходилось около 41%. За последние 10 лет этот показатель вырос на 7% (рис. 1).

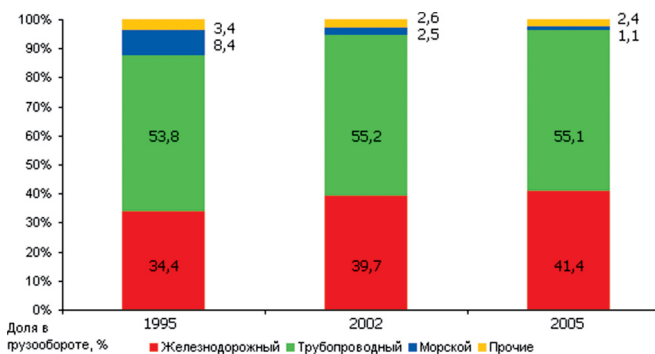


Рисунок 1 — Доля железнодорожного транспорта в суммарном грузообороте страны

Перевозка каменного угля, нефти и нефтепродуктов, черных металлов обеспечивает более половины грузооборота российских железных дорог, причем наиболее динамичный рост прослеживается в перевозке угля. Если в 1995 г. на долю этой продукции приходилось лишь 26% общего грузооборота, то в 2005 г. этот показатель превысил 30% (рис. 2).

В то же время высокая пожарная опасность углей, прежде всего склонность к самовозгоранию, не позволяет складировать и транспортировать их навалом. Статистические данные показывают, что количество пожаров на железнодорожном транспорте от самовозгорания достаточно существенно, причем статистика носит стабильный характер и не меняется существенно со временем.

Следует отметить, что в связи с большим количеством пожаров на подвижном составе (примерно 80% общего количества пожаров на железнодорожном транспорте) необходимо

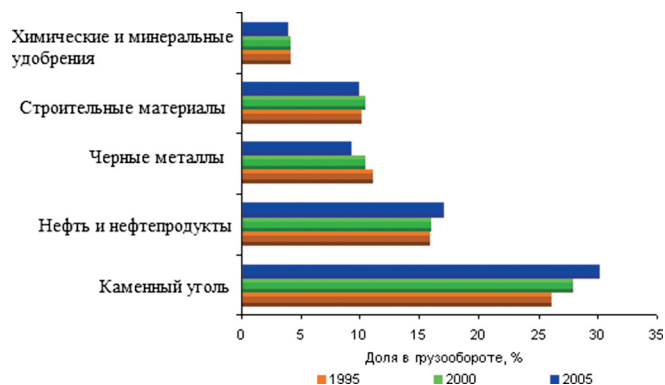


Рисунок 2 — Динамика товарной структуры грузооборота железнодорожного транспорта

разработать более эффективные меры по предупреждению их распространения в грузовых вагонах.

Для обеспечения пожарной безопасности в грузовом подвижном составе важное значение имеет постоянный контроль за качеством подготовки вагонов к перевозкам грузов, особенно пожаро- и взрывоопасных, а также за выполнением требований правил погрузки и перевозок в вагонах.

В период 1995 — 2005 гг. из-за самовозгорания веществ и материалов происходило 1 — 2 тыс. пожаров за год, в которых погибало от 5 до 12 человек, при этом всего на производстве в России в результате пожаров безвозвратные потери составляют около 600 чел. в год [2]. На транспорте от самовозгорания происходит ежегодно от 42 до 127 пожаров, в том числе около половины — на железнодорожном транспорте, что связано, по-видимому, прежде всего с повышенной влажностью груза при его транспортировке. В течение 1990 — 2005 гг. самовозгорание стало причиной 22 пожаров с крупным материальным ущербом.

Угли по своему химическому составу, а также по своему внешнему строению, свойствам, пожарной опасности весьма разнообразны, что затрудняет как их изучение, так и безопасное применение. Уже давно делались попытки в зависимости от свойств углей ввести ту или иную их классификацию по пожарной опасности, однако и до сих пор единой общепризнанной классификации не разработано, что вызывает определенные затруднения при использовании этим видом топлива, прежде всего при его хранении и перевозке. Одной из основных причин, затрудняющих изуче-



ние пожарной опасности углей, в первую очередь прогноза условий самовозгорания, является энергетическая неоднородность поверхности.

К настоящему времени имеются четыре основных подхода к количественному определению условий самопроизвольного возникновения горения (самовозгорания, самовоспламенения, самопроизвольного взрыва).

Первый подход был разработан еще Н.Н. Семеновым, положившим начало физике горения и взрыва [3]. Н.Н. Семенов принял источники тепловыделения аррениусовскими, а теплопровод — ньютоновским. Во всей реагирующей массе температура одна и та же (рис. 3).

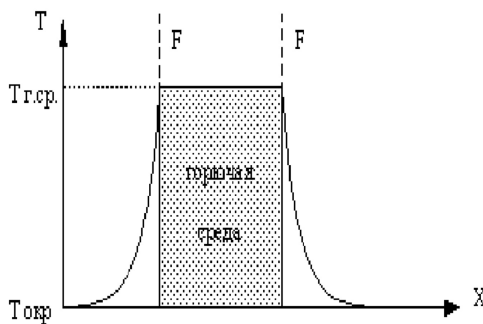


Рисунок 3 — Температурное поле в модели Семенова

Величина разогрева реагирующей массы определяется главным образом значениями кинетических параметров: энергии активации E и предэкспоненциальным множителем C , а также отношением внешней поверхности F скопления горючей среды к ее объему V .

Условия теплового самовоспламенения описываются неравенством

$$\frac{E}{RT_B^2} \frac{QZ}{c_p \rho} \cdot \exp \left\{ \frac{-E}{RT_B} \right\} \geq \frac{\alpha F}{c_p \rho V},$$

- где Q — тепловой эффект реакции, Дж·моль⁻¹;
- Z — предэкспоненциальный множитель объемной скорости реакции, моль·м⁻³·с⁻¹;
- c_p — удельная теплоемкость, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;
- ρ — плотность материала, кг·м⁻³;
- α — коэффициент теплоотдачи, Вт·м⁻²·К⁻¹;
- F — площадь поверхности, м²;
- V — объем скопления материала, м³;
- T_B и T_0 — критические для самовозгорания (самовоспламенения) температуры вещества (горючей смеси) и окружающей среды, К.

При этом предэкспоненциальный множитель представляет собой выражение $C = \frac{Q \cdot Z}{c_p \cdot \rho}$.

Вследствие линейности теплоотода критические температуры вещества T_B и окружающей среды T_0 связаны соотношением Тодеса [4]

$$T_0 = T_B - \frac{RT_B^2}{E}. \quad (1)$$

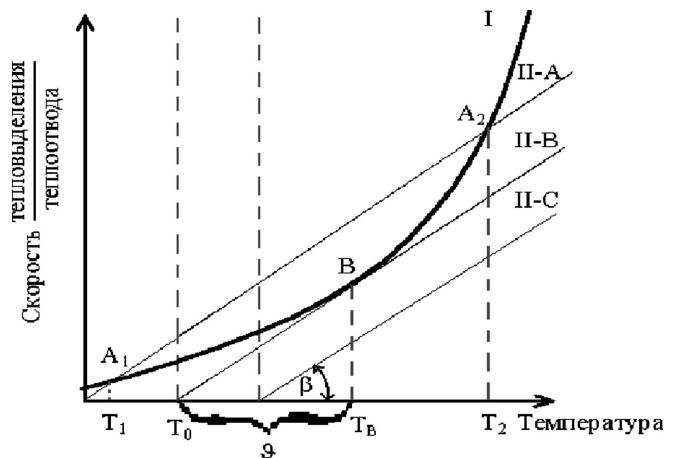


Рисунок 4 — Диаграмма Н.Н. Семенова:

I — кривая скорости тепловыделения; *II-A*, *II-B*, *II-C* — прямые скоростей теплоотода; T_B — критическая температура самовозгорания, соответствующая температуре наиболее нагретого элемента реагирующей массы; T_0 — критическая температура окружающей среды

Для наглядности критические условия теплового самовоспламенения Н.Н. Семенов представил диаграммой, получившей название диаграммы Семенова (рис. 4).

Второе направление было разработано во Всесоюзном научно-исследовательском институте противопожарной обороны МВД (ныне — ФГУ ВНИИПО МЧС России) [5]. Научные сотрудники этого института эмпирически нашли зависимость критической температуры теплового самовозгорания T_0 твердых материалов от отношения внешней поверхности скопления самонагревающейся массы F к ее объему V в виде

$$t_{кр} = A_p \cdot \left(\frac{F}{V} \right)^{n_p}. \quad (2)$$

В эмпирической формуле ВНИИПО энергию активации E и предэкспоненциальный множитель C заменяют коэффициенты A_p и n_p .

Общий недостаток подхода Семенова и ВНИИПО к определению условий теплового самовозгорания и самовоспламенения состоит в том, что в них не учитывается неравномерность нагрева реагирующей массы горючей среды.

Свои решения для этой задачи предложили Д.А. Франк-Каменецкий [6], а затем на этой базе Я.С. Киселев [4].

Сложность аналитического решения задачи самопроизвольного возникновения горения при неравномерном температурном поле реагирующей массы скопления состоит в том, что строгое решение возможно только в том случае, если бы удалось проинтегрировать экспоненту Аррениуса по объему реагирующей массы. Однако это невозможно. Д.А. Франк-Каменецкий предложил показатель экспоненты аппроксимировать рядом вида [6]

$$e^{-E/(RT)} \approx e^{-E/(RT_0)} \cdot e^{\theta},$$

$$\theta = \frac{E}{RT_0^2} \cdot \Delta T.$$

где

В результате аналитического решения стационарной задачи теплового самовоспламенения критические условия определились неравенством

$$\frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot \frac{Q \cdot Z}{\lambda} \cdot R_x^2 \cdot e^{-E/RT_0} \geq \delta_{KP}, \quad (3)$$

где δ_{KP} — критерий Франк-Каменецкого;
 Q — тепловой эффект реакции, Дж·моль⁻¹;
 Z — предэкспонент объемной скорости реакции, моль·м⁻³·с⁻¹ — коэффициент теплопроводности;
 R_x — определяющий размер скопления горючей среды, м.

Критерий δ_{KP} зависит от формы скопления самонагревающегося материала, например формы реакционного сосуда, в котором находится горючая смесь; от параметра $\beta = E/R \cdot T_0$, характеризующего температурную крутизну кривой тепловы-

деления, и от критерия Био ($Bi = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R_x$).

Я.С. Киселевым в работе [4] получено универсальное критериальное выражение, позволяющее определять значение δ_{KP} для скоплений различной конфигурации с помощью уравнения

$$\delta_{KP} = Bi \cdot \psi \cdot Se \cdot i,$$

где Bi — критерий Био;
 ψ — критерий неравномерности нагрева;
 Se — критерий Семенова;
 i — критерий формы.

Достоинство метода Франк-Каменецкого состоит в том, что он позволяет аналитически и численно рассчитывать профиль температурного поля тел с внутренними источниками теплоты (при стационарном температурном поле) [6]. Однако этот метод чрезвычайно сложен математически.

Это обстоятельство побудило Я.С. Киселева искать новый подход к решению задачи теплового самовозгорания и самовоспламенения, в котором сохранялась бы простота и изящность модели Семенова, но учитывалась бы неравномерность температурного поля реагирующей массы. Такое решение было найдено. В этом решении скорость тепловыделения объемом реагирующей массы горючей среды находится не суммированием скоростей тепловыделения всеми элементами скопления, а суммированием тепловых потоков от самонагревающейся массы к поверхности, ограждающей горючую среду.

В результате аналитического решения этой задачи получена более общая зависимость, описывающая критические условия теплового самовозгорания (самовоспламенения), из которой формулы Франк-Каменецкого, Мержанова с Барзыкиным и Семенова вытекают как частные случаи. Покажем это.

Формулу Франк-Каменецкого (3)

$$\frac{E}{R T_0^2} \cdot \frac{QZ}{\lambda} \cdot R_x^2 \exp\left\{\frac{-E}{RT_0}\right\} = \delta_*$$

преобразуем следующим образом:

$$\frac{E \cdot Q \cdot Z}{R \cdot T_0^2 \cdot c_p \cdot \rho} \cdot e^{-E/RT_0} = \frac{\delta_* \cdot \lambda}{c_p \cdot \rho \cdot R_x^2}. \quad (4)$$

Сравним формулу (4) с формулой, полученной Я.С. Киселевым [4],

$$\frac{E}{RT_0^2} \cdot \frac{QZ}{c_p \cdot \rho} \cdot \exp\left\{\frac{-E}{RT_0}\right\} = \frac{\Psi \alpha F}{\tilde{e} c_p \rho V}, \quad (5)$$

где \tilde{e} — отношение производных скоростей тепловыделения по температуре при температурах T_B и T_0 .

Приближенно число \tilde{e} равно основанию натуральных логарифмов. Ввиду тождественности левых частей формул (5) и (4), приравняем правые части

$$\frac{\Psi \alpha F}{\tilde{e} c_p \rho V} = \frac{\delta_* \lambda}{c_p \rho R_x^2}.$$

Введем общеизвестные безразмерные параметры (критерии):

$$\frac{FR_x}{V} = i; \quad \frac{\alpha R_x}{\lambda} = Bi,$$

где i — критерий формы, для неограниченных плоскости, цилиндра и тела конечной формы соответственно равный 1, 2 и 3;
 Bi — критерий Био.

Обратную величину $1/\tilde{e}$, согласно [3], назовем критерием Семенова

$$1/\tilde{e} = Se.$$

Тогда, δ_* запишется через критерии Bi , ψ , Se и i следующим образом:

$$\delta_* = Bi \psi Se i, \quad (6)$$

или

$$\delta_* = n_\infty M Se i, \quad (7)$$

где M — критерий тепловой инерции.

Из полученного уравнения в форме (6) или (7) видно, что критерий Франк-Каменецкого δ_* можно представить произведением из критериев Bi , Ψ , тепловой инерции M , Se Семенова и формы i , а также относительного градиента n_∞ .

Аналогично, аппроксимируя экспоненту степенной функцией и принимая теплоотвод линейным относительно разности температур наиболее нагретого элемента горючей и окружающей сред, получена степенная зависимость, из которой эмпирическая формула ВНИИПО (1) вытекает как частный случай.

Напомним, что Я.С. Киселевым сначала эмпирически была получена степенная формула в виде

$$T_0 = A \cdot P_0^n. \quad (8)$$

Раскроем параметр охлаждения P_0



$$\Pi_0 = \frac{\psi\alpha F}{c_p \rho V}, \quad (9)$$

где ψ — критерий неравномерности нагрева;
 α — коэффициент теплоотдачи, Вт·м²·К⁻¹;
 F — внешняя поверхность скопления материала, м²;
 c_p — удельная теплоемкость материала, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;
 ρ — плотность, кг·м⁻³;
 V — объем скопления, м³.

Примем $(\psi\alpha)/(c_p\rho) = const$.

Тогда

$$T_0 = A \cdot \Pi_0^n = A \cdot \left(\frac{\psi\alpha}{c_p\rho} \right)^n \cdot \left(\frac{F}{V} \right)^n.$$

Обозначая $A((\psi\alpha)^n / (c_p\rho)^n) = A_p$, получим

$$T_0 = A_p \left(\frac{F}{V} \right)^n.$$

Таким образом, мы получили в явном виде зависимость критической температуры теплового самовозгорания T_0 от темпа (параметра) охлаждения и удельной поверхности скопления горючей среды в виде степенных формул, последняя из которых во ВНИИПО была получена экспериментально.

Отметим, что общим итогом всех подходов является то, что критические температуры теплового самовозгорания и самовоспламенения не являются величинами постоянными, а зависят от размеров скоплений горючих сред.

Для повышения пожаробезопасности подвижных составов, перевозящих уголь, необходимо выполнять расчеты по одной из рассмотренных методик, предварительно проведя ограниченный круг исследований на определение наиболее подходящей теории с учетом высокой влажности угля, что способствует его самовозгоранию.

Литература

1. Бутузова Л.Ф., Турчанина О.Н., Збыковский Е.И., Бутузов Г.Н. Статистические характеристики состава и свойств низкотемпературных углей Донбасса разных генетических типов // Углекимический журнал. 2003. № 3. С. 7 — 12.
2. Корольченко И.А. Тепловое самовозгорание насыпей и отложений твердых дисперсных материалов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. 41 с.
3. Семенов Н.Н. Тепловая теория горения и взрывов // Усп. физ. наук. 1940. Т. 23. Вып. 3.
4. Киселев Я.С. Исследование закономерностей самовозгорания сухих молочных продуктов // Дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1968. 281 с.
5. Баратов А.Н. Горение — Пожар — Взрыв — Безопасность. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. 364 с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967. 491 с.

АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Характерной особенностью железнодорожного транспорта является повышенное акустическое загрязнение окружающей среды, рабочих мест персонала наземных служб и подвижного состава, а также мест пребывания пассажиров [1 — 3]. Актуальность исследований обусловлена уровнем современных требований к комфорту пассажиров и обслуживающего персонала.

Конструкционные особенности пассажирских вагонов предусматривают соответствие «Санитарным правилам по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте» (СП 2.5.1198-03). Однако в процессе формирования составов и при эксплуатации вагонов возникают технические проблемы, обусловленные старением вагонов, децентровкой, дефектами пути и т. п., что приводит на практике к ухудшению акустического режима. Кроме того, неблагоприятное воздействие на состояние шумового фона оказывают отдельные пассажиры во время передвижений по вагону, громких разговоров, а также при использовании индивидуальных аудиосистем.

Цель исследований — установить уровень шумовой нагрузки на проводников и пассажиров в технологическом режиме эксплуатации различных типов пассажирских вагонов.

Замеры осуществлялись во время движения:

- в фирменном скором поезде № 99/100 «Иван Паристый», следовавшем по маршруту Москва — Брянск 9 — 10 октября 2008 г. анализатором звука и вибрации SVAN 912 AE № 2618. Погрешность измерения уровня акустического давления в диапазоне от 70 — 130 дБА $\pm 0,4$ дБ. Замеры проводились в тамбурах вагонов, в рабочих и пассажирских купе;
- в скором поезде № 85/86 Брест — Волгоград, курсировавшем по маршруту 16 марта 2008 г. Измерение уровня шума проводили в предпоследнем купе при закрытом окне и двери на уровне 0,8 м от пола измерителем уровня звука АТТ-9000. Погрешность измерений $\pm 1,5$ дБ.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (п. 6.2) нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) $L_{A_{эвк}}$, дБА, и максимальные уровни звука $L_{A_{макс}}$, дБА. Причем оценка непостоянного шума относительно допустимых значений должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным нормам. В п. 5.2 указанных СН отмечено, что характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА. В табл. 2 этих СН для помещений персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных и т. п. помещений установлен норматив в 60 дБА.

В «Санитарных правилах по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте» (СП 2.5.1198-03) уточнено, что уровни звукового давления не должны превышать для пассажирского купе 60 дБА, для тамбуров — 68 дБА, для межвагонных переходов — 80 дБА, в помещениях, расположенных над тележками, — 65 дБА.

Для обеспечения корректности и сопоставимости данных нами дополнительно осуществлялось измерение минимального уровня шума $L_{A_{мин}}$, дБА.

Результаты исследований

Анализ результатов замеров осуществлялся путем сравнения с допустимыми уровнями по СП 2.5.1198-03, а также методом ранжированного ряда.

Было установлено, что в 20% вагонах акустический режим по уровню эквивалентного звука выходит за границы, установленные нормативами. В первую очередь это касается рабочих и нерабочих тамбуров, где превышение составляло 8,0 — 10,0 и 11,0 — 13,0 дБА соответственно. Неблагоприятный акустический режим в рабочем купе проводника был зарегистрирован в одном купейном вагоне.

Для получения более объективной информации по полученным данным был построен ранжированный ряд и осуществлена группировка вагонов по уровню акустического загрязнения (табл. 1).

Таблица 1 — Результаты замеров шума в вагонах пассажирского поезда, дБА

| Тип вагона | Ранжир. группа | Рабочий тамбур | | | Нерабочий тамбур | | | Рабочее купе проводника | | |
|-------------|----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| | | $L_{A_{макс}}$ | $L_{A_{эвк}}$ | $L_{A_{мин}}$ | $L_{A_{макс}}$ | $L_{A_{эвк}}$ | $L_{A_{мин}}$ | $L_{A_{макс}}$ | $L_{A_{эвк}}$ | $L_{A_{мин}}$ |
| СВ** | X_1 | 79,0 | 76,0* | 74,0 | 80,0 | 79,0 | 75,0 | 81,0 | 64,0 | 61,0 |
| К*** | X_1 | 79,5 | 78,0 | 72,5 | 83,5 | 81,5 | 76,5 | 71,5 | 66,5 | 65,0 |
| X_{1cp} | | 79,3 | 77,0 | 73,3 | 81,8 | 80,3 | 75,8 | 76,3 | 65,3 | 63,0 |
| К | X_2 | 65,8 | 62,8 | 57,3 | 66,5 | 64,5 | 58,5 | 59,0 | 54,3 | 51,3 |
| ПК**** | X_2 | 63,1 | 59,0 | 53,1 | 61,3 | 57,3 | 53,4 | 54,0 | 48,8 | 46,0 |
| X_{2cp} | | 64,5 | 60,9 | 55,2 | 63,9 | 60,9 | 56,0 | 56,5 | 51,6 | 48,7 |
| X_{1-2cp} | | 67,1 | 63,7 | 58,2 | 66,9 | 63,9 | 59,3 | 57,8 | 52,0 | 48,5 |
| ДУ | | - | 68,0 | - | - | 68,0 | - | - | 65,0 | - |

* Курсивом выделены значения, превышающие допустимые уровни (ДУ).

** Спальные вагоны.

*** Купейные вагоны.

**** Плацкартные вагоны.

Оказалось, что все вагоны поезда можно разделить на две группы, принципиально отличающиеся друг от друга по уровню шума на рабочих местах проводника.

Первую группу (X_1) образуют спальные вагоны и часть купейных вагонов. Для них характерно, как указывалось выше, превышение допустимого уровня по эквивалентному уровню звука. Кроме того, крайне велики значения максимального уровня шума, часто достигающие 80,0 дБА и более. Уровень минимального шума в тамбурах превышает норматив по эквивален-



тному шуму. Исходя из представлений о безопасности жизнедеятельности подобный акустический режим недопустим для рабочего места любого работника, в том числе проводника, подверженного действию иных многочисленных вредных и опасных факторов.

Вторую группу (x_2) составляет часть купейных вагонов и все плацкартные вагоны, в которых нет случаев превышения допустимых уровней ни по одной точке замеров шума на рабочих местах проводников. Более того, уровень максимального шума в рабочих тамбурах ниже, чем в аналогичных точках вагонов первой группы, на 14,8 дБА, в нерабочих на — 20,5 дБА, а в рабочих купе — на 19,8 дБА. Уровень минимального шума ниже в среднем на 14,3 — 19,8 дБА. То есть в вагонах второй группы созданы благоприятные условия по исследуемому параметру для деятельности персонала.

Безусловный интерес вызывает акустическое состояние вагонов первой группы с учетом их высокой классности — это спальные и часть купейных вагонов. Учитывая то, что указанные вагоны относятся к новым сериям, конструкционные особенности которых предполагают создание благоприятных акустических условий, можно предположить, что повышенный уровень шума создается из-за децентровки вагонов при формировании поезда. Выбор более благоприятного сочетания вагонов по условиям центровки и соответственно по уровню шума возможен эмпирическим методом, вполне приемлемым для одного поезда.

В купейных вагонах указанного фирменного скорого поезда была произведена оценка акустического режима пассажирского и иных видов специализированных помещений (табл. 2).

Таблица 2 — Акустический режим помещений купейных вагонов, дБА

| Тип помещения | Ранжированная группа | $L_{\text{Амкс.}}$ | $L_{\text{Аэкв.}}$ | $L_{\text{Амин.}}$ |
|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Пассажирское | x_1 | 68,5 | 66,5 | 60,5 |
| | x_2 | 56,5 | 49,0 | 44,5 |
| Инвалидное | - | 51,0 | 50,0 | 47,0 |
| Буфет | - | 53,0 | 50,0 | 48,0 |
| Штабное | - | 36,0 | 33,0 | 32,0 |
| ДУ | - | - | 60,0 | - |

Было установлено, что в пассажирских купе благоприятный акустический режим по эквивалентному уровню звука характерен только для купейных вагонов второй ранжированной группы. В иных помещениях эквивалентный уровень звука находится в пределах нормы. Наиболее благоприятный акустический режим характерен для штабного купе, что по данному параметру создает комфортные условия на рабочем месте бригадира поезда.

Несмотря на то что максимальный и минимальный уровень шума по СП 2.5.1198-03 не нормируется, соотношение полученных данных весьма показательны (см. табл. 2).

Существенный негативный вклад в акустический режим пассажирского вагона вносят внешние шумы. Во время движения поезда они менее заметны, чем на остановках. Так, в данной ситуации движение электропоезда на соседнем пути увеличивало эквивалентный уровень звука в купе на 25,7 дБА

и создавало очевидный акустический дискомфорт в пассажирском вагоне.

Значительно ухудшить звуковой и психоэмоциональный режим могут аудиосистемы, используемые пассажирами [3]. В последнее время достаточно часто пассажиры прослушивают музыкальные произведения, используя отдельные модели сотовых телефонов в режиме радиоприемника. Насколько велик вклад сотовых телефонов с функцией радиотрансляции в акустическое загрязнение пассажирского вагона, было установлено в результате проведения замеров шума в скором поезде № 85/86 Брест — Волгоград (табл. 3).

Таблица 3 — Результаты замеров уровня шума в купе пассажирского вагона

| Условия работы радиотехнических устройств | Движение поезда | Шум, дБА | |
|---|-----------------|--------------------|--------------------|
| | | $L_{\text{Аэкв.}}$ | $L_{\text{Амкс.}}$ |
| FM-радиоприемник отключен | Нет | 34,3 | 53,6 |
| FM-радиоприемник включен | Нет | 52,8 | 64,1 |
| FM-радиоприемник отключен | Есть | 55,6 | 63,7 |
| FM-радиоприемник включен | Есть | 62,2 | 73,6 |
| Поездное радио включено | Есть | 65,3 | 76,5 |
| ПДУ* | При движении | 60,0 | - |
| ПДУ** | - | 45,0 | 60,0 |

* ПДУ по СП 2.5.1198-03 для пассажирского купе (пп. 5.1.51, приложение № 7).

** ПДУ по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 для номеров гостиниц и жилых комнат общежитий с 7.00 до 23.00 (табл. 3, строка 5).

Акустический режим в купе железнодорожного вагона во время остановки в ситуации без включенных радиотехнических устройств соответствовал всем вышеуказанным нормативам.

Включенный сотовый телефон в режиме радио повышал эквивалентный уровень шума на 18,5 дБА, т. е. в 1,54 раза, и максимальный уровень шума на 10,5 дБА, т. е. в 1,2 раза, чем сразу же создавал дискомфортные акустические условия относительно ПДУ (табл. 3 СН 2.2.4/2.1.8.562-96).

Как известно, увеличение уровня звукового давления на 10 дБА соответствует изменению громкости шума в 2 раза. Таким образом, акустический дискомфорт от работы сотового телефона в режиме радио увеличился в 3,7 раза.

Уровень шума, создаваемый работающим сотовым телефоном в купе в режиме радио во время остановки, практически равен транспортному шуму, регистрируемому в купе во время движения.

Включенный громкоговоритель сотового телефона во время движения создает наиболее дискомфортные условия. Уровень эквивалентного шума достигает 62,2 дБА, что превышает на 2,2 дБА ПДУ по СП 2.5.1198-03 и на 6,6 дБА — транспортный шум в купе вагона. При этом на 9,9 дБА увеличивает уровень максимального шума.

Для объективной оценки интенсивности шумового загрязнения пространства купе пассажирского вагона сотовым телефоном в указанном режиме проводилось сравнение с работой поездного радио при максимальной громкости (контроль). Было установлено, что поездное радио, предназначенное для оперативного информирования пассажиров об особенностях

работы поездной бригады и оповещения на случай аварийных ситуаций создает шумовой эффект, сравнимый с работой сотового телефона в режиме радио. Однако у пассажиров есть возможность регулировать громкость трансляции, а у персонала поезда — отключать поездное радио в любое время. Законных прав для отключения индивидуальных сотовых телефонов, громко транслирующих в дневное время музыку, нет.

На основании проведенных технических замеров и анализа полученных данных считаем необходимым:

- рекомендовать пассажирам воздерживаться во время поездки от использования FM-радиоприемника сотового телефона без совместимой мини-гарнитуры вследствие превышения предельно допустимого уровня звука и создания неблагоприятной психоэмоциональной обстановки;
- рассмотреть вопрос об использовании предупредительных плакатов в вагоне о необходимости применять при работе сотового телефона и подобных ему акустических устройств в режиме радио средств индивидуального прослушивания.

Выводы

1. Акустический режим в 20,0% вагонов фирменного скорого поезда 99/100 Москва — Брянск не соответствует установленным нормативам по уровню эквивалентного звука.

2. Благоприятный акустический режим на рабочих местах проводника имеется во всех плацкартных вагонах поезда и в большей части купейных.

3. Группу вагонов с повышенным уровнем шума создают спальные и часть купейных вагонов.

4. Возможной причиной повышенного шумового загрязнения рабочих мест может быть децентровка вагонов при формировании состава.

5. Акустический дискомфорт от работы в купе пассажирского вагона сотового телефона в режиме радио увеличивается в 3,7 раза.

6. Уровень эквивалентного шума в купе при включенном громкоговорителе сотового телефона во время движения поезда достигает 62,2 дБА, что превышает на 2,2 дБА допустимый уровень.

Литература

1. Бурак В.Е. Анализ шумового загрязнения скверов при железнодорожных вокзалах / В.Е. Бурак, Т.О. Субботина // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Матер. II Междунар. конф. / Гомель: БелГУТ, 2008. С. 266 — 267.

2. Бурак В.Е. Сравнительный анализ акустического режима парка в вегетативный и зимний периоды / В.Е. Бурак, Т.О. Субботина // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Брянск: БФ МИИТ, 2009. С. 87 — 92.

3. Бурак В.Е. Шумовое загрязнение купе железнодорожного вагона FM-радиоприемником сотового телефона / В.Е. Бурак, Т.О. Субботина // Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия на объектах транспорта Российской Федерации: Сб. науч.-практ. работ. М.: ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора, 2008. С. 170 — 173.



УДК 656.2:656.22(0:01)

Ефимов А. В., Сай В. М. **Транспортный полигон высокоскоростных испытаний — необходимое условие развития железнодорожного транспорта страны** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 2 — 6.

В статье приведены принципиальные схемы полигона: два кольца и кольцо в кольце. Предложено внутрипроизводственное путовое развитие скоростного испытательного полигона. Выполнено прогнозное трассирование по самому сложному варианту. Приведены характеристики плана и профиля.

Ключевые слова: скоростное движение, испытательный полигон, характеристики полигона, план и профиль.

Efimov A.V., Sai V.M. **Transport testing areas of high-speed testings — is the necessary condition of country railway transport development**

In the article there are given schematic circuits of testing areas: two wheels and wheel in a wheel. There is given intraproductive track development of a high-speed testing area. There is performed the forecasting routing based on the most difficult variant. There are given the characteristics of a plan and a profile.

Key words: high-speed traffic, testing area, characteristics of a testing area, plan and profile.

УДК 656.2:658.5

Верескун В. Д. **Мировой опыт реформирования организации производства и управления железнодорожным транспортом** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 7 — 8.

Рассмотрены отдельные аспекты реформ железнодорожного транспорта: разделение функций организации эксплуатационной деятельности и управления инфраструктурой с созданием независимых государственных и частных компаний, занимающихся организацией перевозок и управления инфраструктурой.

Ключевые слова: реформирование железнодорожного транспорта, инфраструктура, перевозки, конкурентные отношения, операторы грузовых перевозок, грузоотправители, модели реформы железнодорожного транспорта.

Vereskun V. D. **World experience in railway transport process organization and management reforming**

Some issues concerning railway transport reforms are considered, including task sharing in maintenance organization and infrastructure management while establishing independent public and private companies dealing with transportation organization and infrastructure management.

Key words: railway transport reforming, infrastructure, transportations, competitive coexistence, cargo transportation operators, consignors, models of railway transport reforms.

УДК 656.2:658.5

Верескун В. Д. **Организационно-технологическая надежность взаимодействия производственных процессов организации движения и инфраструктуры железнодорожного транспорта** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 9 — 12.

Рассмотрены отдельные аспекты системной оценки эффективности взаимодействия производственных процессов организации движения и инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе методов моделирования по всем фазам реализации проектов реформирования, выраженные организационно-технологической надежностью (ОТН).

Ключевые слова: производственные процессы, организация движения, инфраструктура железнодорожного транспорта, организационно-технологическая надежность, характеристики системы управления производством, состояние пути.

Vereskun V. D. **Organization-technological interaction reliability of traffic control production processes and railway transport infrastructure**

There are investigated separate aspects of system efficiency estimation of traffic control production processes and railway transport infrastructure interaction on the base of modeling methods by all phases of reforming projects realization expressed by organization-technological reliability (OTR).

Key words: production processes, traffic organization, railway transport infrastructure, organization-technological reliability, characteristics of production control system, track condition.

УДК 656.2:658(100)

Сай В. М., Сизый С. В., Афанасьева Н. А. **Согласование программ развития ОАО «РЖД» с региональными программами развития транспортной инфраструктуры** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 13 — 16.

Разработана математическая модель согласования программ развития ОАО «РЖД» с региональными программами развития транспортной инфраструктуры на основе математической теории игр. Определены интегральный коэффициент эффективности взаимодействия ОАО «РЖД» с субъектами РФ и показатель роста состоятельности региона при реализации программ сотрудничества.

Ключевые слова: взаимодействие субъектов, транспортная инфраструктура, моделирование, оптимизация, критерии, эффективность взаимодействия, состоятельность региона.

Sai V. M., Sisyi S. V., Afanasieva N. A. **Coordination of Joint-Stock Company "Russian railways" development programs with regional transport infrastructure development programs**

There is developed a mathematical model of coordination of Joint-Stock Company "Russian railways" development programs with regional transport infrastructure development programs on the base of mathematical game theory. There is detected the integral efficient factor of Joint-Stock Company "Russian railways" interaction with Russian regions and growth rate of region's wealth while collaboration programs realization.

Key words: regions interaction, transport infrastructure, simulation, optimization, criteria, interaction efficiency, region's wealth.

УДК 656

Владимирская И. П. **Транспортные системы с адаптивной структурной технологией** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 17 — 18.

Статья посвящена методу оптимизации структурно-функционального взаимодействия, когда технологическими способами изменяют параметры структуры. Цель статьи — математическая формализация задачи расчета в динамике оптимальных транспортных потоков и функциональной структуры. Структура становится более адаптивной, резервы управления используются более активно. Это особенно важно в современных рыночных условиях.

Ключевые слова: метод оптимизации, транспортный процесс, транспортный поток, функция, структура, системный эффект.

Vladimirskaya I. P. **Transport systems with adaptive structural technology**

Clause is devoted to a method of optimization of structurally functional interaction when in the technological ways change parameters of structure. The purpose of clause — mathematical formalization of a problem of calculation in dynamics of optimum transport streams and functional structure. The structure becomes more adaptive, reserves of management are used more actively. It is especially important in modern market conditions.

Key words: method of optimization, transport process, transport stream, function, structure, system effect.

УДК 528.48(625.11+625.72)

Давыдов А. В., Рубежанский П. Н. **Методические подходы к измерению показателей системы управления перевозочным комплексом** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 19 — 22.

Управление перевозками с использованием современных информационных технологий и технических средств позволяет быстро и безошибочно принимать оптимальные управленческие решения. В последние годы на железных дорогах широко развиваются автоматизированные системы управления.

Авторами статьи представлен методический подход к управлению перевозочным комплексом на экономических методах, который способствует эффективному решению технических, технологических и организационных проблем. Представлены элементы определения эффективности системы управления перевозками в границах деятельности железной дороги как филиала ОАО «РЖД».

Ключевые слова: управление перевозками, управленческие решения, автоматизированные системы управления.

Davydov A. V., Rubezhansky P. N. **Methodological approaches to indicators measurement of transportation complex control system**

Transportation control with the use of modern information technologies and techniques lets make optimal management decisions promptly and correctly. In recent years automated control systems have been developed widely in railway industry.

The authors of the article offer the methodological approach to transportation complex control based on economic methods that contributes to effective solution of technical, technological and management problems. There are presented detection components of transportation control system efficiency restrained by the railway operation as subsidiary of Open Joint-Stock Company "Russian Railways".

Key words: transportation control, management decisions, automated control systems.

УДК 656+622++629

Воскресенская Т. П., Покровская О. Д. **Инновационно-методологический подход к обоснованию создания в регионе сети терминалов как единого транспортно-экспедиционного пространства (на примере Кемеровской области)** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 23 — 27.

Терминальные комплексы рассматриваются в качестве сетевой основы развития транспортной инфраструктуры региона. В статье разработан инновационно-методологический подход как инструмент оптимизации процессов грузодвижения и интенсификации экономических процессов. Предлагается переход от фрагментарного размещения складских инфраструктур к единому транспортно-экспедиционному пространству региона.

Ключевые слова: единое транспортно-экспедиционное пространство региона, грузовой терминал, логистический накопительно-распределительный центр, грузодвижение, логистические принципы, терминальная сеть, кластер.

Voskresenskaya T. P., Pokrovskaya O. D. **The innovative-methodological approach to terminals' network creation substantiation in the region as unified transport-forwarding space (after the example of Kemerovo region)**

Terminal complexes are considered as a network basis of the regional transport infrastructure development. The innovative — methodological approach as the tool of cargoes movement processes optimization and economic processes intensification is developed in the article. There is offered the transition from fragmentary placement of warehouses' infrastructures to unified transport-forwarding space of the region.

Key words: unified transport-forwarding space of the region, the cargo terminal, logistic accumulation-distribution centre, movement of cargoes, terminal network, cluster.

УДК 656.731

Пугачев И. Н. **Развитие городских транспортно-распределительных систем** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 28 — 31.

Статья посвящена решению задачи снижения транспортных издержек, которые составляют значительную часть в себестоимости продукции промышленного сектора экономики и предприятий, за счет осуществления комплекса операций логистики в области транспортных услуг.

Статья является теоретической работой, цель которой — математическая формализация решения частных задач оптимизации транспортных, складских и распределительных процессов в промышленных, транспортных и торговых предприятиях за счет создания транспортно-распределительной системы (TPC) на уровне крупного города.

Ключевые слова: транспортно-распределительная система, оптимизация транспортных процессов, эффективность функционирования базовых объектов.

Pugachev I. N. **Urban transport-distribution systems development**

The article deals with the problem's solution of transport costs reduction, which forms the considerable part in products' prime cost of economics' industrial sector and enterprises at the expense of logistics' operations realization, in the field of transport services.

The article is a theoretical work, its aim is a mathematical solution formalization of private optimization problems of transport, stocking and distribution processes in industrial, transport and trade enterprises, at the expense of transport-distribution system (TDS) in a large city.

Key words: transport-distribution system, transport processes optimization, base object operation efficiency.



УДК 656.13

Будалин С. В., Ляхов С. В. **Оценка состояния грузового автотранспорта Свердловской области** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 32 — 34.

Эффективное функционирование автомобильного транспорта является необходимым условием успешного развития экономического комплекса и социальной сферы региона. Ведущее значение в этой сфере деятельности отводится работе грузового автотранспорта.

Ключевые слова: транспортная система, грузовой автотранспорт, грузовые перевозки, коммерческие перевозки.

Budalin S. V., Lyahov S. V. **Estimation of Sverdlovsk region's freight transport condition**

Motor transport efficient operation is the necessary condition of economic complex and region's social sphere successful development. The most significant in this field of activity is freight motor transport.

Key words: transport system, freight motor transport, freight traffic, and commercial transport.

УДК 656:621.3

Александров Д. А. **Выбор метода для построения системы обнаружения врезок в магистральные нефтепроводы** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 35 — 38.

Статья посвящена выбору метода для решения одной из важных и сложных проблем эксплуатации нефтепроводов — обнаружения врезок и утечек, предотвращения хищений нефти из нефтепровода.

В статье дан краткий анализ существующих способов решения этой проблемы. Проведено исследование возможности построения системы мониторинга нефтепровода, использующей метод активной радиолокации широкополосными сигналами. Исследованы два возможных способа организации канала распространения зондирующего сигнала по трубе нефтепровода. Обоснован выбор способа организации канала распространения по внешним стенкам трубы.

Ключевые слова: нефтепровод, врезка, широкополосные сигналы, канал распространения зондирующего сигнала, масштабное моделирование, затухание сигнала.

Aleksandrov D. A. **Method's selection for building detection system of oil trunk pipeline tie-ins**

This article is devoted to method's selection for solving one of the most important and complex problems of pipeline maintenance — detection of tie-ins and leaks, prevention of oil theft from an oil pipeline. The short analysis of the existing problems solution is given. There is investigated the possibility of building oil pipeline monitoring system using active radio-location method with wideband signals. Two possible ways of distribution channel setup of probing signal by a pipeline. There is chosen the way of distribution center organization by outer walls of a pipe.

Key words: oil pipeline, tie-in, wideband signals, probing signal spread, scaled modelling, signal attenuation.

УДК 629.4.012+621.3(075.8)

Константинов К. В., Дороничев А. В. **Вейвлет-технологии в области вибродиагностики объектов железнодорожного транспорта** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 39 — 42.

В статье рассмотрены перспективы использования дискретного вейвлет-преобразования для оценки технического состояния подшипниковых узлов колесно-редукторных блоков и электродвигателей локомотивов, обнаружения дефектов подшипников качения на самых ранних стадиях их развития по отношению к частотно-временному анализу Фурье. Наглядно иллюстрируется алгоритм оценки информативности коэффициентов дискретного вейвлет-разложения, используемый в качестве заключения состояния подшипников качения. Приведен графический пример вейвлет-преобразования реальных сигналов, полученных с помощью стационарной системы вибрационной диагностики КПА-1В колесно-редукторных блоков локомотивов ЭП-1 и ВЛ-80 в процессе ежемесячного осмотра и обслуживания.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, вейвлет-разложение, подшипниковые узлы, колесно-редукторные блоки, подшипники качения.

Konstantinov K. V., Doronichev A. V. **Wavelet technologies in vibrodiagnostics sphere of railway transport objects**

In the article there are shown discrete wavelet-transformation use perspectives for technical condition estimation of wheel-gear blocks' bearing units and locomotives' electric motors, rolling bearings defects detection at the earliest stages of their development in relation to time-frequency analysis of Fourier. There is illustrated estimation algorithm of self-descriptiveness factors of discrete wavelet-decomposition used as rolling bearings condition detection. There is given the graphic example of real signals wavelet-transformation received by means of vibration diagnostics stationary system KPA — 1V of EP1 and VL-80 locomotives wheel-gear blocks while monthly inspection and maintenance.

Key words: wavelet-transformation, wavelet-decomposition, bearing units, wheel-gear blocks, rolling bearings.

УДК 629.42.07

Авилов В. Д., Климович А. В., Кообар А. А., Лендясов А. С. **Методика расчета графика движения поезда с учетом распределенных по длине параметров** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 43 — 46.

Предлагается методика расчета графика движения поезда по перевалистому профилю пути с учетом распределенных его параметров по длине. Методика основана на использовании аналитического решения дифференциального уравнения движения поезда для математической модели, в которой последний представляется материальной точкой. Выполнена сравнительная оценка результатов вычислений по предлагаемой методике.

Ключевые слова: график движения поезда, распределенные параметры, уравнение движения поезда, тяговые расчеты, основное сопротивление движению.

Avilov V. D., Klimovich A. V., Koobar A. A., Lendyasov A. S. **Methods of train tratic diagrams design with regard to distributed parameters by length**

The method of calculation of the train schedule on a difficult profile of a way taking into account its distributed parameters by length is offered. The technique is based on use of the analytical decision of the differential equation of movement of a train for mathematical model in which the last one is represented a material point. The comparative estimation of calculation results by an offered technique is executed.

Key words: train schedule, distributed parameters, train operation equation, traction calculation, main resistance to the motion.

УДК 656.256.12

Полевой Ю. И. **Относительная рельсовая цепь** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 47 — 48.

В статье представлено описание работы относительной рельсовой цепи с контролем занятия рельсовой линии по току питающего конца.

Основное отличие представленной рельсовой цепи от известных заключается в том, что при фиксации занятия рельсовой линии напряжение приемного конца принимается за пороговое напряжение. Освобождение рельсовой цепи фиксируется так же, как и в типовых рельсовых цепях: напряжение на входе приемника должно превышать пороговое напряжение. В статье приводится структурная схема и блок-схема алгоритма работы рельсовой цепи.

Ключевые слова: относительная рельсовая цепь, рельсовая линия, блок-схема алгоритма контроля, структурная схема, сопротивление изоляции.

Polevoy J. I. **Relative track circuit**

The function of relative track circuit with control of track line holding by supply end current is offered in the article.

The main difference of the presented track circuit from the known ones is that when fixing the track line holding the receiving end voltage is taken for the threshold voltage. The deliverance of track circuit is fixed just as in standard track circuits: voltage on head end exceeds the threshold voltage. The article also gives the structural chart and flow diagram of track circuit functioning algorithm.

Key words: relative track circuit, track line, flow diagram of control algorithm, structural chart, insulation resistance.

УДК 656.212.6.073.21

Оленцевич В. А. **Вертикальные колебания вагона с грузом при движении подвижного состава по волнам неровности пути** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 49 — 53.

В статье приводятся результаты аналитических исследований по определению характера колебаний вагона с грузом при относительном движении подвижного состава по волнам неровности пути. Выведены аналитические формулы для определения параметров вынужденных колебаний вагона с грузом, возникающих из-за наличия волны неровности пути как кинематического возмущения, которые окажут влияние на средства крепления груза, размещенного в вагоне.

Ключевые слова: волна неровности пути, сила инерции переносного движения, колебания вагона с грузом.

Olentsevich V. A. **Bouncing of a carload when rolling-stock motion on track irregularity waves**

The article offers the results of analytical research on detecting the character of carload vibrations during rolling-stock relative motion on track irregularity waves. The author has derived the analytical formula to detect the parameters of carload forced vibrations, which will influence the facility of cargo fastening, set in a railcar.

Key words: track irregularity wave, force of inertia, translational motion, bouncing of a carload.

УДК 656.212.6.073.21

Черепов О. В., Оленцевич В. А. **Вертикальные колебания вагона как одноосного экипажа с упругой подвеской при наличии силы сухого трения** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 54 — 58.

В статье изложены результаты аналитических исследований по построению динамической модели и решению кусочно-линейных неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами, описывающих движение вагона с грузом с упругой подвеской при наличии силы сухого трения относительно волны неровности пути.

Ключевые слова: грузовой вагон, колебания, сухое трение.

Cherepov O. V., Olentsevich V. A. **Car bouncing as a single-axle vehicle with elastic suspension under dry friction force**

The article offers the results of analytical research on dynamic model construction and solution of piecewise-linear inhomogeneous differential second-degree equations with constant coefficients, describing the motion of a carload with elastic suspension under dry friction force relative to the track irregularity wave.

Key words: freight car, vibrations, dry friction.

УДК 621.436:629.424.1

Сковородников Е. И., Анисимов А. С. **Результаты исследований влияния элементов турбокомпрессора на работу тепловозного дизеля** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 59 — 62.

Составлена система уравнений рабочего процесса четырехтактного тепловозного дизеля в малых отклонениях и приведено ее решение. Представлены результаты исследования влияния элементов агрегатов системы наддува на работу дизелей на основе метода малых отклонений. Определены границы применения метода малых отклонений при оценке влияния независимых параметров на параметры работы эксплуатируемого дизеля.

Ключевые слова: четырехтактный тепловозный дизель, системы наддува, метод малых отклонений, независимые параметры.

Skovorodnikov E. I., Anisimov A. S. **Research results on influence of turbo-compressor elements on locomotive diesel engine functioning**

The authors have made an equations' system of a four-cycle locomotive diesel engine in small deviations and have given its solution. They have also presented the research results of influence of units' elements of air pressurization system on diesels functioning on the basis of small deviations method. The borders of small deviations method application when estimating the influence of independent parameters on operation parameters of exploited diesel engine have been defined.

Key words: four-cycle locomotive diesel engine, air pressurization systems, small deviations method, independent parameters.



УДК 625.031.1

Буйнов А. П., Худояров Д. Л. **Влияние упрочнения гребней на ресурс бандажей колесных пар** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63 — 68.

Описаны свойства бандажной и рельсовой стали. Рассмотрено влияние твердости бандажей и рельс на ресурс бандажей колесных пар. Рассмотрены вопросы упрочнения гребней. Выполнен сравнительный расчет ресурса бандажей колесных пар с применением упрочнения и без него.

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, твердость, упрочнение, гребень.

Buynov A. P., Khudoyarov D. L. **Influence of crests' hardening on the resource of wheel sets' bandages**

In the article the properties of a bandage and rail steel are described. Influence of bandages and rail's hardness on a resource of wheel sets' bandages is studied. Questions of crests' hardening of are also examined. Comparative calculation of a resource of wheel sets' bandages with application of hardening and without it is made.

Key words: the locomotive, wheel set, a bandage, hardness, hardening, a crest.

УДК 621.332(076.5)

Ковалев А. А., Лобанова Г. С., Несмелов Ф. С. **Разработка метода расчета наклона опоры контактной сети на основе учета деформационных характеристик грунта** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 69 — 71.

В настоящее время на железных дорогах общего и необщего пользования широкое применение нашли цельные железобетонные опоры, используемые в качестве анкерных, переходных и промежуточных опор с однопутными консолями, а также в качестве фиксирующих опор и стоек жестких поперечин. С увеличением срока службы большое количество опор разрегулируются. С целью оценки степени влияния деформационных характеристик грунта, в который погружена опора, на ее перемещение на уровне поверхности грунта и на уровне верха опоры был разработан соответствующий метод.

Ключевые слова: железобетонные опоры, разрегулировка, перемещение опор, деформационные характеристики грунта.

Kovalyov A. A., Lobanova G. S., Nesmelov F. S. **Development of calculation method of slope of contact system mast on the basis of accounting earth deformative characteristics**

At present time on public and non-public railways solid concrete poles, used as anchoring, crossing and intermediate poles with single-track cantilevers, and also as fixing poles and porter structure poles are widely adopted. More and more poles become deregulated due to increasing period of their operating life. In order to estimate the degree of influence of deformative characteristics of earth, where the pole is set, on its displacement on the subgrade level and on the level of the pole top, the fit method has been developed.

Key words: solid concrete poles, disarrangement, poles displacement, deformative characteristics of earth.

УДК 621.332.31:625.1:620.179.1

Кондратьев А. И., Ли В. Н., Игнатенко И. В., Химухин С. Н. **Методика входного неразрушающего контроля зажимов контактной сети** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 72 — 74.

Приведены результаты, показывающие целесообразность неразрушающего контроля зажимов контактной сети методом свободных колебаний. Создана экспериментальная установка.

Ключевые слова: контактная сеть, зажимы КС, неразрушающий контроль.

Kondratiev A. I., Lee V. N., Ignatenko I. V., Khimukhin S. N. **Methods of incoming non-destructive inspection of contact system clamps**

The article presents the results demonstrating the expedience of non-destructive inspection of contact system clamps by free oscillations' method. The experimental device has been constructed.

Key words: contact system, contact system clamps, non-destructive inspection.

УДК 656.135.8

Архипов Г. Ф., Шевцов В. И. **Диагностические модели технического состояния пожарных и аварийно-спасательных автомобилей** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 75 — 77.

В статье изложены основные положения оценки состояния специальной техники по диагностическим признакам: параметрам и характеристикам.

Из всех возможных принципов построения системы классификации предлагается классификация диагностических моделей, основанных на методах их анализа. Такая классификация позволяет ориентировать разработчика при выборе диагностической модели на определенные методы их анализа и соответственно на использование конкретного математического аппарата.

Ключевые слова: объект диагностирования, диагностические модели, системы диагностирования.

Arkhipov G. F., Shevtsov V. I. **Justification methods of criteria and tasks of organization of fire-fighting and crash vehicles' technical state diagnosis**

The article states the basic estimation propositions of special equipment technical state by diagnostic characters: parameters and characteristics. Among all possible principles of classification system design the authors offer classification of diagnostic models based on the methods of their analysis. Such classification allows to orientate the developer when choosing a diagnostic model to the certain methods of analysis and, accordingly, to the use of a specific mathematical apparatus.

Key words: diagnosis object, diagnosis model, diagnosis systems.

УДК 621.43.068

Булаев В. Г. **Экологическая безопасность тепловозов** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 78 — 82.

При работе тепловозов в окружающую среду выделяется большое количество вредных веществ, что резко снижает их экологическую безопасность. Актуальной является оценка вредных выбросов. Для этого разрабатываются нормы на удельный выброс вредных веществ, а также специальные испытательные циклы, которые позволяют оценить валовый выброс вредных веществ при реальной эксплуатации тепловоза. Для оценки выбросов целесообразно использовать тепловозную и токсическую характеристики локомотива.

Ключевые слова: экологическая безопасность, токсичные вещества, твердые частицы, концентрация вредных веществ, удельные выделения, испытательный цикл, нормы, платежи.

Bulayev V. G. **Diesel locomotives' environmental safety**

In the process of diesel locomotives' operating huge amount of hazardous substances is evolved. This leads to lowering the environmental safety. The topical question is estimation of hazardous substances. In order to solve this task the norms for specific outburst of hazardous substances and special test cycles, which allow to estimate the gross outburst of hazardous substances by diesel locomotive's exploitation are developed. The rational method to estimate the outbursts is to use diesel and toxic characteristics of a diesel locomotive.

Key words: environmental safety, toxic substances, solid particles, hazardous substances concentration, specific outbursts, test cycle, norms, payments.

УДК 629.12

Анисимов И. А., Иванов А. С. **Токсичность газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 83 — 85.

В статье представлены результаты исследования токсичности газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации с учетом массы перевозимого груза и предложена методика дифференцированного корректирования платы за выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

Ключевые слова: газодизельный автомобиль, выбросы вредных веществ с отработавшими газами, низкие температуры окружающего воздуха.

Anisimov I. A., Ivanov A. S. **Gas and diesel automobiles' toxicity in low temperature exploitation conditions**

The article presents the research results of gas and diesel automobiles' toxicity in low temperature exploitation conditions taking into account the weight of transported cargo and gives the method of differentiated correction of payment for exhaust emission.

Key words: gas and diesel automobile, exhaust emission, low temperatures of ambient air.

УДК 658.2 : 614.8

Турсенев С. А. **Предупреждение самовозгорания при транспортировке углей железнодорожным транспортом** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 86 — 89.

Произведен анализ пожарной опасности самовозгорания углей при транспортировке железнодорожным транспортом. Рассмотрены основные подходы к количественному определению условий самопроизвольного возникновения горения. Рассмотрена физическая сущность явления самовозгорания, приведены расчетные формулы, позволяющие по кинетическим параметрам оценивать свойства самонагревающихся материалов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, самовозгорание, критические условия, энергия активации.

Tursenev S. A. **Prevention of spontaneous combustion when transporting coal by railway**

Analysis of fire risk of spontaneous combustion of coal transported by railway has been carried out. The basic approaches to quantify the conditions of spontaneous combustion have been considered. The physical essence of spontaneous combustion phenomenon has been examined; design formulas to evaluate the properties of self-heating materials by kinetic parameters have been given.

Key words: railway transport, spontaneous combustion, activation energy, the critical conditions.

УДК 613.644:656.2

Бурак В. Е., Субботина Т. О. **Акустический режим пассажирского вагона** // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 90 — 92.

Результаты замеров шума в пассажирских вагонах показали, что в ряде случаев формируется неблагоприятный акустический режим для персонала и пассажиров железнодорожного транспорта. Он определяется типом вагонов и особенностями формирования состава. Установлен вклад работающих аудиосистем в создание акустического дискомфорта.

Ключевые слова: шум, акустический режим, железнодорожный транспорт, вагон, эквивалентный уровень звука, максимальный уровень звука.

Burack V. E., Subbotina T. O. **Acoustic conditions of a passenger car**

Noise measurement results in passenger cars have revealed that in a number of cases unfavorable acoustic conditions for the railway personnel and passengers emerge. These conditions are determined by the type of cars and peculiarities of train makeup. The extent of influence of working audio systems on the creation of acoustic discomfort has been established.

Key words: noise, acoustic conditions, railway transport, car, equivalent noise level, maximum noise level.