

ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛ

- ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНФЛИКТНЫХ ЗОН НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ БУКСОВОГО УЗЛА С КАССЕТНЫМ ПОДШИПНИКОМ



ТЕМА НОМЕРА:

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**



8 - 10 СЕНТЯБРЯ 2005 Г. НА ПОЛИГОНЕ «СТАРАТЕЛЬ» (Г. НИЖНИЙ ТАГИЛ)
ПРОШЛА 3-Я УРАЛЬСКАЯ ВЫСТАВКА-ЯРМАРКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО,
АВТОМОБИЛЬНОГО, СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

«МАГИСТРАЛЬ 2005»

На выставке экспонировалось более 300 научных и практических разработок, в том числе 15 зарубежных. Проведена 1-я Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития грузового вагоностроения» в течение 3-х выставочных дней, а также научно-техническая конференция «Научные исследования на службе транспорта», пять пресс-конференций, восемь круглых столов и брифинг для журналистов.

На выставке демонстрировались новые виды железнодорожного, автомобильного, специального транспорта и дорожно-строительной техники, а также шоу-показ бронетехники, посвященный празднованию 85-летия Российского танкостроения.

Выставку посетило около 23 тысяч человек, в том числе:
Председатель правительства **М. Фрадков**,
Министр транспорта РФ **И. Левитин**,
Президент ОАО «РЖД» **В. Якунин**,
губернатор Свердловской области **Э. Россель**,
Председатель правительства Свердловской области **А. Воробьев**
и др.



Открыта подписка на научно-технический журнал «Транспорт Урала».
Стоимость одного номера 180 рублей. Периодичность 4 номера в год.

Министерство связи Российской Федерации		Ф СП - 1										
АБОНЕМЕНТ на		46463 (индекс издания)										
Транспорт Урала		Количество комплектов										
На 2006 год по месяцам												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Куда		 (почтовый индекс)										
Кому		 (адрес)										
Линия отреза												
П В		Место		Р/И		Тер		ДОСТАВочная КАРТОЧКА		46463 (индекс издания)		
На		Транспорт Урала										
Стои-мость	подписки	руб.	коп.	руб.	коп.	Количество комплектов						
На 2006 год по месяцам												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
почтовый индекс												
код улицы												
дом	корпус	квартира										
город												
село												
область												
район												
улица												
Фамилия И. О.												



Научно-технический журнал «Транспорт Урала». Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г. Свидетельство ПИ № 77-18098.

Адрес редакции: Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, e-mail: VSay@nis.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала не несет ответственности за предоставленные рекламные материалы



©ИД «Лазурь», 2005. Фото на обложку, дизайн, верстка. г. Екатеринбург. Тел. (343) 213-26-19, www.idlazur.ru
Отпечатано в типографии «Лазурь» (г. Реж). Заказ № 2169 Тираж 1000 экз. Подписано в печать 08.09.05

ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Выпускающий редактор — Неверова Людмила Васильевна.
Контактные телефоны: (343) 373-07-41, 245-31-88
www.usurt.ru/ru/science

В НОМЕРЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

- Сай В.М., Шутюк С.В. / МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ И СПОСОБ ОЦЕНКИ АПРИОРНОЙ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА 2

- Сафронов Э.А. / ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ 13

- Гаврюшков Е.Н., Гоголина Л.В. / ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИНОЛОГИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СМЕШАННЫХ ПЕРЕВОЗОК 18

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА

- Ковалев Р.Н., Боярский С.Н., Минин О.В. / ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНФЛИКТНЫХ ЗОН НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ 21

- Сай В.М., Бруслянин Д. А. / МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ 25

- Котельников А.П. / ОБ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ 33

- Дурандин М.Г. / ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ 40

- Асадченко В.Р., Ряхов Д.С. / СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 45

- Миронов А.А., Занкович А.В., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. / ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ БУКСОВОГО УЗЛА С КАССЕТНЫМ ПОДШИПНИКОМ 54

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Сендеров Г.К. / ВСТРЕЧИ НА ЖИЗНЕННОМ ПУТИ 62



МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ И СПОСОБ ОЦЕНКИ АПРИОРНОЙ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА



Василий Михайлович Сай,
д-р техн. наук, проректор
по научной работе (УргУПС).



Сергей Владимирович Шутюк,
начальник департамента
по взаимодействию с федеральными
и региональными органами власти
ОАО «РЖД».

Оценка состоятельности региона — очень важная составляющая практической деятельности каждой крупной компании, осуществляющей свою деятельность на протяженных территориях и взаимодействующей с регионами, расположенными на них. Рейтинги регионов и методики таких оценок чрезвычайно популярны и

постоянно проводятся в различных формах компаниями, организациями и правительствами разных уровней.

В настоящее время наработано довольно много всевозможных методик с применением достаточно большого количества групп факторов, учитываемых при оценке региона по разным направлениям. Это, например, оценки инвестиционной привлекательности, экономической состоятельности, различные маркетинговые исследования территорий и т.п. [1]. Оценки регионов исключительно важны для организации практической деятельности компаний, планирования их деятельности, принятия правильных управленческих решений и в конечном счете для повышения эффективности работы этих компаний с регионами и территориями, увеличения доходности компаний.

С другой стороны, для научных и теоретических исследований в области экономико-математического моделирования процессов взаимодействия крупных компаний с регионами России необходимо иметь ряд показателей, достаточно полно характеризующих обе взаимодействующие стороны — компанию, осуществляющую производственную деятельность в регионе, и сам регион, в условиях которого ведется эта практи-

ческая деятельность. Как правило, крупные компании самостоятельно ведут разработку некоторых показателей, оценивающих эффективность их деятельности в том или ином регионе. Такие показатели характеризуют эффективность процессов взаимодействия в паре компания—регион лишь с одной стороны — со стороны действующей компании — и никак не учитывают интересы региона или территории.

Так, например, работы [2—5] посвящены моделированию процессов взаимодействия и разработке коэффициента эффективности взаимодействия компании ОАО «Российские железные дороги» с субъектами Российской Федерации и хозяйствующими субъектами, находящимися на их территории. Этот коэффициент оценивает эффективность и характеризует процессы взаимодействия с точки зрения только одной стороны — компании «Российские железные дороги», поскольку основан лишь на учете внутренних экономических показателей самой компании ОАО «РЖД».

Однако взаимодействие (и тем более — эффективное взаимодействие!) возможно только в том слу-



чае, если будут учитываться интересы обеих сторон. Поэтому для исследовательских и практических целей крайне необходим показатель, объективно оценивающий и другую сторону — само поле деятельности крупной компании, на котором происходит рассматриваемое взаимодействие, т.е. необходим обобщенный показатель региона. Отметим, что необходимость разработки системы оценки привлекательности регионов для компании «Российские железные дороги» интуитивно высказывают и сами работники железных дорог, непосредственно сотрудничающие с субъектами.

В настоящей статье мы предлагаем единообразный и унифицированный методический подход к проведению таких оценок и определению коэффициента априорной состоятельности региона (территории) России с точки зрения интересов некоторой крупной компании. При этом совершенно точно формулируем и формализуем математически фразы «в интересах некоторой крупной компании» и «состоятельность региона в заданном направлении оценки».

Преимущества подхода, предлагаемого в настоящей работе, — унификация методик оценки, возможность единообразно учитывать любые группы интересующих факторов (т.е. интересы практически любой компании), общеприменимость получаемых методик. Предлагаемая точка зрения позволит нам распределять аналитическую и вычислительную работу по определению коэффициента состоятельности региона между различными исполнителями (отделами, информационно-аналитическими агентствами и т.п.), в частности, она даст возможность использования готовых исходных данных, полученных сторонними организациями и изначально не предназначенных для применения в нашей методике. Последнее обстоятельство послужит существенным фактором снижения затрат компании на работу по оценке регионов и сокращения времени получения требуемых оценок.

Рассмотрим прежде всего вопросы, которые неизбежно встают перед руководством крупной компании при формировании оценки любого региона или территории с точки зрения производственных интересов компании (привлекательности региона для компании). Какие факторы (переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$ — региональные показатели) следует учитывать при оценке региона? Почему мы принимаем к рассмотрению и учету одни параметры и не принимаем во внимание другие параметры региона?

Ясно, что выбор учитываемых региональных показателей $x_1, x_2, \dots, x_n$ зависит от интересов той компании, для которой производится наша оценка. С другой

стороны, мы желаем получить универсальную методику оценки территорий и регионов общеприменимого характера, пригодную к использованию в любых компаниях. Как совместить эти, казалось бы, несовместимые требования?

Для решения этой задачи мы объективно приходим к необходимости встать на универсальную точку зрения и формировать методики оценки территорий общим для всех компаний способом, допуская в этих методиках изменение некоторых параметров, варьирование которых осуществляется уже в каждом частном случае именно в интересах той или иной оцениваемой компании.

Для разъяснения сущности предлагаемой общей методики рассмотрим сначала конкретный пример, из которого прежде всего будет ясна идейная основа, аналитические рассуждения и мотивировки вводимых понятий. На этом примере будут видны общие закономерности формирования и вычисления требуемых оценочных коэффициентов регионов России в интересах конкретной крупной компании. В качестве первоначального демонстрационного примера построения общей методики предлагаем рассмотреть поэтапное формирование и получение оценки состоятельности (привлекательности) региона России с точки зрения компании ОАО «Российские железные дороги» — компании, интересы и производственная деятельность которой, вне всякого сомнения, охватывают широчайшие территории и регионы различного качества.

Итак, нам необходимо разработать некоторый показатель, который характеризует субъект Российской Федерации: его мощь, промышленное развитие, привлекательность, народонаселение, территорию, платежеспособность, инвестиционную привлекательность и т.п. по отношению к хозяйствующим субъектам, в том числе и к железным дорогам ОАО «РЖД». Для компании ОАО «РЖД» это показатель значимости, весомости и, если угодно, важности региона.

В дальнейшем будем называть вводимый нами коэффициент коэффициентом априорной состоятельности региона с точки зрения анализирующей компании (в нашем случае — компании ОАО «РЖД»). Будем всюду далее обозначать этот показатель символом $\tau_{\text{ап.}}$.

В результате анализа различных сторон регионального экономического взаимодействия выделены основные факторы, представляющие интерес для железной дороги в данном абстрактном регионе (некотором субъекте Российской Федерации). Именно эти нижеперечисленные факторы необходимо учитывать

в первую очередь при формировании коэффициента априорной состоятельности территории. (В скобках указывается размерность учитываемого фактора.)

1. Тонны погрузки в регионе M_{pec} (т/год).
2. Тонны выгрузки в регионе V_{pec} (т/год).
3. Бюджет региона или муниципального образования B_{pec} (руб./год).
4. Численность населения региона N_{pec} (чел.).
5. Общая площадь (территория) региона S_{pec} (км²).

или, что эквивалентно, плотность $P_{pec} = \frac{N_{pec}}{S_{pec}}$ населения в регионе (чел./км²).

6. Развернутая длина железной дороги на территории региона L_{pec} (км).

7. Фактор федерального воздействия на регион Φ_{pec} (руб./год).

Отметим, что информация о реальных значениях всех семи перечисленных показателей оцениваемого региона на практике легко получаемая, выявление и определение значений этих величин фактически не требует никаких дополнительных усилий. Эти значения либо регулярно публикуются в открытой печати и/или специализированных изданиях (B_{pec} , Φ_{pec} , N_{pec}), либо общеизвестны (S_{pec}), либо информация по их значениям имеется в ОАО «РЖД» (M_{pec} , V_{pec} , L_{pec}). Это обстоятельство чрезвычайно важно с точки зрения легкости и доступности практического получения данных для последующего вычисления показателя априорной состоятельности региона или рассматриваемой территории.

Экономико-математические требования к формируемому показателю — коэффициенту априорной состоятельности субъекта Российской Федерации (региона или территории) — с точки зрения анализирующей компании ОАО «РЖД» таковы.

1. Нормированность коэффициента τ_{pec} : $0 \leq \tau_{pec} \leq 1$.
2. Монотонная зависимость коэффициента τ_{pec} : чем больше значения семи перечисленных показателей M_{pec} , V_{pec} , B_{pec} , N_{pec} , S_{pec} , L_{pec} , Φ_{pec} тем большее значение должен принимать итоговый коэффициент априорной состоятельности региона τ_{pec} . Разумеется, коэффициент априорной состоятельности региона (территории) должен зависеть от значений этих семи перечисленных показателей в разной степени.

3. Коэффициент априорной состоятельности региона τ_{pec} должен быть легко вычислимым.

Приступим к формированию требуемого коэффициента τ_{pec} . Для этой цели выведем сначала абсолютный показатель априорной состоятельности региона W_{pec} . Величина W_{pec} предполагается нами в принципе

неограниченной (т.е. теоретически может принимать сколь угодно большие значения). Величина W_{pec} при этом должна быть тем больше, чем больше значения принимают все семь принятых к рассмотрению факторов-показателей: M_{pec} , V_{pec} , B_{pec} , N_{pec} , S_{pec} , L_{pec} , Φ_{pec} . Величина W_{pec} в какой-то степени призвана характеризовать абсолютную экономическую «мощность» и привлекательность региона с точки зрения анализирующей компании (в нашем случае — ОАО «РЖД»).

Психологически, т.е. исходя из разумных эвристических соображений, можно утверждать, что мощность, привлекательность и состоятельность региона (с точки зрения компании «Российские железные дороги») складывается из различных факторов (M_{pec} , V_{pec} , B_{pec} , N_{pec} , S_{pec} , L_{pec} , Φ_{pec}), но эти факторы, конечно же, неравнозначны, поскольку их вклад в общий зачет априорной состоятельности региона различен. Каждый из перечисленных факторов имеет свой вес и свою значимость в общей оценке привлекательности и состоятельности территории. Поэтому необходимо сконструировать абсолютный показатель W_{pec} именно с учетом этих естественных эвристических соображений.

Кроме того, показатель абсолютной состоятельности W_{pec} должен быть легко вычислимым, следовательно, его математическое выражение через учитываемые параметры не должно быть слишком громоздким. Как с точки зрения естественности и простоты конструкции, так и с точки зрения учета неравнозначности фигурирующих параметров всем упомянутым требованиям удовлетворяют широко известные в математической литературе линейные формы, т.е. линейные функции от рассматриваемых параметров с подходящим образом подобранными (по смыслу данной задачи) коэффициентами.

Рассмотрим линейную форму представления абсолютного показателя априорной состоятельности W_{pec} от семи переменных величин (M_{pec} , V_{pec} , B_{pec} , N_{pec} , S_{pec} , L_{pec} , Φ_{pec}):

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

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

Коэффициенты $\alpha_i > 0$ предложенной линейной формы W_{pec} выполняют двоякую функцию. Первая функция коэффициентов линейной формы W_{pec} — уравнивание размерностей. Коэффициенты уравни-



вают размерности складываемых величин так, чтобы было правомерно выполнять операцию сложения и в итоге получалась безразмерная величина $W_{\text{рес}}$. (Аналогом уравнивающего коэффициента такого рода является гравитационная постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона: она уравнивает размерности левой и правой частей формулы, выражающей закон всемирного тяготения.) Таким образом, коэффициенты предложенной линейной формы $W_{\text{рес}}$ должны иметь следующие размерности:

$$\alpha_1 - \left(\frac{\text{м}}{\text{год}}\right)^{-1}; \quad \alpha_2 - \left(\frac{\text{м}}{\text{год}}\right)^{-1}; \quad \alpha_3 - \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}}\right)^{-1};$$

$$\alpha_4 - (\text{млн})^{-1}; \quad \alpha_5 - (\text{км})^{-2}; \quad \alpha_6 - (\text{км})^{-1};$$

$$\alpha_7 - \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}}\right)^{-1}.$$

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

Вторая функция коэффициентов линейной формы $W_{\text{рес}}$ — придание соответствующего веса учитываемым факторам. Величины коэффициентов α_i отражают значимость (вес) соответствующего фактора в оценке абсолютной априорной мощности и состоятельности региона $W_{\text{рес}}$. Таким образом, α_i есть весовой коэффициент, с которым соответствующий учитываемый показатель входит в итоговую сумму. Например, тонны погрузки $M_{\text{рес}}$ в регионе являются более значимым фактором привлекательности и состоятельности региона с точки зрения ОАО «РЖД», нежели развернутая длина железной дороги $L_{\text{рес}}$ в регионе, поэтому соответствующие этим факторам весовые коэффициенты подчиняются неравенству $\alpha_4 > \alpha_5$.

Принципиальным вопросом является только то, как определять значения коэффициентов α_i . Определение этих значений является задачей экспертных оценок, исследований, подбора разных вариантов на основании статистических измерений, проб и ошибок и в конечном счете общих соглашений (на директивном и человеческом уровне). Ясно также, что значения коэффициентов α_i могут (и должны) зависеть от направления оценки региона: разные компании могут оценивать регион с разных точек зрения и придавать в соответствии со своими интересами разную значимость тем или иным учитываемым факторам. Более того, в разных производственных ситуациях и в разных задачах деятельности даже одной такой крупной компании, как ОАО «РЖД», разные региональные показатели могут иметь разный вес. В настоящий момент

остается неясным, каким образом для каждой производственной задачи объективно должно происходить определение значений коэффициентов α_i , поскольку общего подхода и методологических разработок в этом направлении до настоящего времени не велось.

Однако на настоящем этапе исследований рассматриваемого вопроса нас выручают два следующих соображения.

Соображение первое (относительно числовых значений α_i). Формируемый показатель состоятельности региона есть величина безразмерная и абстрактная, его значение само по себе ничего не говорит о регионе и, в сущности, для нас не очень важно. Численное значение величины $W_{\text{рес}}$ имеет силу и смысл только в сравнении с другими такими же показателями для других регионов, которые вычислены по таким же точно формулам, — все регионы предполагаются оцененными в равных условиях и по одинаковым правилам. Это означает, что величина $W_{\text{рес}}$ является, с одной стороны, теоретическим показателем, предназначенным для исследовательских целей, а с другой стороны, практическим инструментом сравнения регионов и территорий. Ее практическое значение огромно. Благодаря своей абстрактности она с успехом решит задачу сравнения регионов даже при наугад (но правдоподобно!) выбранных значениях коэффициентов α_i , лишь бы эти коэффициенты выбирались одинаково для всех сравниваемых регионов (ведь тогда оценка для всех регионов ведется по одинаковым для всех правилам). Это фактически означает, что для исследовательских (и даже для практических!) целей коэффициенты α_i (их значения) мы можем просто назначать, задавая им гипотетические правдоподобные численные значения.

Во всяком случае, некоторый возможный волюнтаризм в назначении величин α_i не может изменить качественной картины исследований и их практических результатов, поскольку допущенный волюнтаризм окажется общим для всех сравниваемых регионов и территорий. Качественное поведение формируемых показателей региона от этого не изменится, и на результаты исследований это не повлияет.

Соображение второе (относительно направлений оценки региона). Известно, что всякая линейная форма f от n переменных

$$f = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n$$

задает в евклидовом n -мерном пространстве R^n некоторую гиперплоскость с нормальным вектором $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$.

При увеличении значения линейной формы f соответствующая гиперплоскость перемещается в пространстве R^n в направлении своего нормального вектора, оставаясь параллельной своему первоначальному положению. Это означает, что выбор коэффициентов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ линейной формы определяет, по сути, направление движения гиперплоскости, т.е. направление скорейшего возрастания или убывания линейной формы f .

Основываясь на этих геометрических представлениях, предлагаем называть нормальный вектор $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ предложенной линейной формы

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

выбранным направлением оценки априорной состоятельности региона.

Таким образом, если экспертный совет представителей оценивающей компании (в нашем случае — ОАО «РЖД») исходя из каких-то своих интересов назначил для оценки априорной состоятельности региона некоторые значения коэффициентов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ линейной формы, то этот совет фактически выбрал нормальный вектор соответствующей гиперплоскости, т.е. выбрал нужное в данный момент направление оценки априорной состоятельности региона. Увеличение значения некоторой координаты вектора $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ означает его поворот в сторону соответствующей оси координат (оси соответствующего учитываемого экономического фактора), т.е. придание большего веса соответствующему параметру из семи перечисленных.

Такая строгая математическая и геометрическая интерпретация обиходного выражения «направление оценки» показывает, что предлагаемая нами методика составления коэффициента априорной состоятельности региона с помощью линейной формы является универсальной. Она свободна от субъективного мнения авторов и не является жестко привязанной к специфике деятельности конкретной компании. Такой подход сразу оказывается свободным от критики вроде такой: «Почему этому фактору придается большее значение, нежели этому? На каком основании фактору площади региона уделено столь большое внимание, а суммарная протяженность дороги учтена недостаточно?» В разных производственных ситуациях различные экономические параметры могут иметь различный вес в итоговой оценке состоятельности территории, и предлагаемая нами методика это учи-

тывает. При необходимости (в соответствии с поставленными производственными задачами) направление вектора оценки априорной состоятельности региона может быть изменено. Это направление может каждый раз (в каждой конкретной производственной ситуации) выбираться в соответствии с выдвигаемыми требованиями и задачами. Всякий раз мы можем придавать большее значение тому или иному фактору, который хотим учитывать при оценке состоятельности региона по тому или иному вопросу. Более того, мы вправе одновременно (!) проводить оценку априорной состоятельности региона сразу по нескольким направлениям!

Кроме того, предложенное геометрическое представление априорного показателя состоятельности и направления оценки состоятельности региона открывает возможности для применения широко изученных и мощных математических средств, аппарата линейного программирования и методов оптимизации. Возможно исследование областей допустимых значений априорной состоятельности региона (допустимых для ведения той или иной политики взаимодействия ОАО «РЖД» с рассматриваемым регионом).

Заметим, что предлагаемый абсолютный показатель априорной состоятельности W_{pec} в направлении $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ никак не привязан к конкретной территории и является универсальным. Он с одинаковым успехом может быть вычислен для различных отдельных регионов России, для достаточно крупных муниципальных образований, для целых групп регионов (например, федеральных округов), наконец, суммарно для всей страны в целом. Данные для его вычисления достаточно просто получаемы, общеизвестны и доступны. Проблем с отысканием требуемых данных для вычисления абсолютного показателя априорной состоятельности W_{pec} не предвидится. Это является немаловажным обстоятельством с точки зрения дальнейшей практической применимости разрабатываемых коэффициентов.

Определим величину W_{pcp} абсолютной априорной состоятельности всей территории России как сумму априорной состоятельности регионов. Тогда

$$W_{pcp} = W_{01} + W_{02} + \dots + W_{0R} = \sum_{k=1}^R W_k,$$

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

При введении величины W_{pcp} может возникнуть соблазн определить ее просто по аналогии с величи-



нами $W_{\text{рег}}$, т.е. как линейную форму от семи переменных, значения которых берутся уже не для выделенной территории, а для всей России в целом (бюджет России, площадь России, погрузка-выгрузка по России и т.д.). Однако это был бы неверный подход. Мы принимаем во внимание следующее важное и общеизвестное обстоятельство — бюджет России не является суммой бюджетов регионов. Именно поэтому величину $W_{\text{рег}}$ нельзя сформировать по аналогии с величинами $W_{\text{рег}}$. Если параметры $M_{\text{рег}}, V_{\text{рег}}, N_{\text{рег}}, S_{\text{рег}}, L_{\text{рег}}$ являются аддитивными функциями, т.е. соответствующие показатели для всей России являются суммой соответствующих показателей для ее регионов (например, площадь России является суммой площадей регионов), то для бюджета России это не так. Кроме того, если бы мы определяли величину аналогично региональным величинам $W_{\text{рег}}$ (как линейную форму от семи переменных), то слагаемое $\alpha_7 \cdot \Phi_{\text{РФ}}$ становилось бы совершенно бессмысленным — никакой дополнительной федеральной составляющей к бюджету России просто не может быть, в то время как для выделенного региона страны такая дополнительная федеральная составляющая может рассматриваться вполне правомерно.

Теперь очевидно, каким образом следует нормировать введенный выше абсолютный показатель состоятельности региона, чтобы выполнить первое экономико-математическое требование. Положим:

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

Этот абстрактный и безразмерный коэффициент априорной относительной состоятельности региона (территории, группы регионов, объединенных территорий) в направлении $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$. Коэффициент $\tau_{\text{рег}}$ есть доля состоятельности рассматриваемого региона от общей состоятельности всей России [разумеется — с точки зрения изучаемого вопроса, т.е. направления $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$]. Легко понять, что с математической и формальной точки зрения он удовлетворяет всем перечисленным выше экономико-математическим требованиям.

Очевидно, $\sum_{k=1}^R \tau_k = 1$, где R — индекс разбиения карты России на регионы (рассматриваемое нами в данной задаче и в данной ситуации число частей, на которое формально разбита вся территория РФ). Введение абстрактного индекса разбиения позволит в этих исследованиях при необходимости объединять

территории, регионы или расчленять их. Для решения исследовательских и практических задач можно выбирать удобное разбиение территории России на соответствующие региональные образования, на удобные для изучения территории и участки.

Проблемы изучения показателей абсолютной ($W_{\text{рег}}$) и относительной ($\tau_{\text{рег}}$) априорной состоятельности региона, выявления закономерностей их поведения, классификации их значений (какие значения — хорошо, а какие — плохо), привязка (градуировка) этих показателей к производственной деятельности — все перечисленные проблемы являются насущными и чрезвычайно актуальными практическими задачами.

Далее перейдем к анализу и различным обобщениям рассмотренного примера. Отметим еще раз, что в рассмотренном примере была сформулирована конкретная схема формирования коэффициента априорной состоятельности региона $\tau_{\text{рег}}$ с точки зрения интересов компании ОАО «РЖД». Указанный коэффициент $\tau_{\text{рег}}$ предложено вычислять как отношение значения некоторой линейной формы $W_{\text{рег}} = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n$, соответствующей рассматриваемому региону, к (максимально возможному) значению аналогичной линейной формы $W_{\text{РФ}}$, соответствующей всей Российской Федерации в целом. Здесь $x_1, x_2, \dots, x_n$ — набор значений (переменных факторов), т.е. учитываемых при оценке региона территориальных показателей и параметров, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — весовые коэффициенты, образующие вектор $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ направления оценки региона, призванные уравнивать размерности рассматриваемых региональных показателей и придавать больший или меньший вес в оценке региона тому или иному учитываемому фактору.

Сказанное означает, что оценка региона зависит и фактически дается направлением оценки $\vec{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, выбор которой производит руководство крупной компании на основании разных соображений, специфики производственных задач и на основании экспертных оценок.

Для придания общности и ясности, охвата возможностей и вариантов, вскрытия и выявления общих закономерностей всех многочисленных проводимых (разными организациями) оценок территорий и регионов предлагаем изначально считать, что линейная оценочная форма $W_{\text{рег}} = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n$ уже сразу содержит в себе все гипотетически возможные факторы и мыслимые параметры.

Линейная форма W_{reg} является, таким образом, формой от очень большого числа переменных (теоретически даже от бесконечного числа переменных!), а априорный вектор $\bar{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ направления оценки является вектором с очень большим числом координат (весовых коэффициентов). Вектор $\bar{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ имеет, таким образом, огромную размерность и содержит в себе всевозможные мыслимые весовые коэффициенты для всех мыслимых оценочных параметров и факторов, которые только можно придумать. Реально, конечно, нужно понимать и представлять себе, что все эти факторы, имеющие интерес с практической точки зрения, находятся в некотором большом списке позиций (оценочных критериев).

Дадим строгую математическую формализацию предложенной точки зрения. Для этого нам понадобится следующее определение. Последовательностью Фреше (или вектором Фреше) называется бесконечная последовательность действительных чисел $x = (x_1, x_2, \dots, x_p, \dots)$, в которой лишь конечное число элементов отлично от нуля. Следует отметить, что в математической литературе подобные последовательности Фреше (векторы Фреше) иногда называют финитными последовательностями или последовательностями с конечным носителем. Ненулевые компоненты (координаты) вектора Фреше принято называть существенными компонентами.

Скалярным произведением (x, y) двух векторов Фреше $x = (x_1, x_2, \dots, x_p, \dots)$ и $y = (y_1, y_2, \dots, y_p, \dots)$ называется число

$$(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} x_k y_k.$$

Поскольку в сумме справа участвуют компоненты векторов Фреше x_k и y_k (среди которых лишь конечное число компонент отлично от нуля), то реально в этой сумме всегда присутствует лишь конечное число слагаемых, поэтому приведенное определение, очевидно, является корректным и не приводит к рассмотрению бесконечных рядов (и, как следствие, вопросов их сходимости).

Бесконечномерные векторы Фреше как раз и являются строгой математической формализацией реального практического понятия «направление оценки» региона или территории.

В самом деле, пусть некоторую компанию или организацию, производящую оценку региона в своих целях, интересует (в качестве исходных данных) некоторый фиксированный (конечный!) набор параметров и показателей региона $(x_1, x_2, \dots, x_p)$, и компания

желает по этому исходному набору показателей получить для себя некоторый итоговый коэффициент τ_{reg} состоятельности региона.

Экспертный совет компании (или какое-то иное ее подразделение) назначает весовые коэффициенты $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ для рассматриваемых показателей $(x_1, x_2, \dots, x_p)$ соответственно, т.е. выбирает (назначает) вектор направления оценки $\bar{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$. Тем самым экспертный совет, руководствуясь интересами компании, фактически постулирует, что некоторые характеристики региона имеют для компании большее значение, а некоторые — меньшее.

С предлагаемой нами точки зрения, сам факт фиксации конечного набора $(x_1, x_2, \dots, x_p)$ интересующих компанию показателей и конечного набора весовых коэффициентов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ говорит о том, что все остальные теоретически существующие и возможные исходные показатели региона, его возможные параметры и характеристики остаются за рамками рассмотрения компании и попросту не учитываются. Это означает, что весовые коэффициенты, соответствующие этим неучитываемым показателям (исходным данным и характеристикам), полагаются (экспертным советом компании) равными нулю! С нашей точки зрения, это означает, что экспертный совет компании формирует некоторый бесконечномерный вектор Фреше вида

$$\bar{N}(0, 0, \dots, 0, \alpha_1, 0, \dots, 0, \alpha_2, 0, \dots, 0, \alpha_p, 0, 0, \dots),$$

в котором только конечное число существенных компонент (интересующих компанию параметров) отлично от нуля. Именно этот вектор Фреше $\bar{N}$ и указывает направление оценки региона в интересах компании.

Пусть далее $x = (x_1, x_2, \dots, x_p, \dots)$ — гипотетический (вообще говоря, бесконечномерный) вектор всевозможных мыслимых исходных параметров и показателей региона. В этом векторе содержатся все теоретически доступные измерению показатели региона, подлежащего оценке на состоятельность с точки зрения интересов компании. Если рассмотрим теперь скалярное произведение

$$W_{reg} = (\bar{N}, x) = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k x_k,$$

где $\bar{N}(0, 0, \dots, 0, \alpha_1, 0, \dots, 0, \alpha_2, 0, \dots, 0, \alpha_p, 0, 0, \dots)$ — фиксированный (экспертным советом) вектор Фреше, указывающий направление оценки региона в интересах данной компании, то получим обычную линейную форму

$$W_{reg} = \sum_{i=1}^n \alpha_{k_i} x_{k_i}$$



которая содержит конечное число слагаемых и учитывает, таким образом, лишь конечное число параметров (исходных данных) региона. Указанная линейная форма является показателем абсолютной состоятельности региона в данном направлении оценки. После получения значения абсолютной состоятельности региона $W_{рс}$ остается, согласно рассмотренной выше схеме в примере с компанией ОАО «РЖД», разделить полученное значение $W_{рс}$ на значение абсолютной мощности $W_{рд}$ в указанном направлении оценки для всей Российской Федерации в целом и получить интересующий коэффициент состоятельности $\tau_{рс}$ оцениваемого региона:

$$0 < \tau_{рс} = \frac{W_{рс}}{W_{рд}} < 1.$$

Таким образом, с формально-математической точки зрения суть нашего общего подхода к проведению оценки региона в том или ином направлении (в тех или иных интересах) состоит в понимании коэффициента абсолютной состоятельности региона $W_{рс}$ как скалярного произведения вектора всевозможных региональных показателей $x = (x_1, x_2, \dots, x_n, \dots)$ на вектор Фреше $\bar{N}(0, \dots, \alpha_1, \dots, 0, \alpha_2, \dots)$ выбранного направления и качества оценки.

Именно на таком пути в рассмотренном выше примере была сформирована конкретная схема определения коэффициента априорной состоятельности региона $\tau_{рс}$ с точки зрения интересов компании ОАО «РЖД». В качестве исходных учитываемых параметров региона $x = (x_1, x_2, \dots, x_n, \dots)$ с учетом именно интересов ОАО «РЖД» были предложены семь показателей территории (учитываемых факторов, по которым производится оценка региона) — величины $M_{рс}, V_{рс}, B_{рс}, N_{рс}, S_{рс}, L_{рс}, \Phi_{рс}$. С формальной математической точки зрения эту ситуацию можно охарактеризовать так. Вектор направления оценки региона содержит всевозможные мыслимые факторы и показатели, но для ОАО «РЖД» существенными координатами в векторе направления оценки $\bar{N} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \dots)$ являются указанные семь. Именно весовые коэффициенты указанных семи величин в направлении оценки региона для ОАО «РЖД» отличны от нуля, остальные же (например, притяжение Луны или среднесуточная температура июня в регионе) положены равными нулю.

Эти предложенные нами семь параметров наиболее интересны для ОАО «РЖД» потому, что они связаны с практической деятельностью компании напрямую. Они являются существенными для компании ОАО «РЖД», поэтому закономерно объявить их существенными компонентами вектора Фреше направления оценки региона. Остальные параметры и показатели

региона нами не учитываются, что, с нашей точки зрения, означает равенство нулю всех остальных компонент вектора Фреше $\bar{N}$, указывающего направление оценки региона в интересах компании ОАО «РЖД».

Следует особо отметить, что предлагаемая нами точка зрения позволяет легко изменить набор учитываемых параметров, ввести новые факторы или удалить рассматриваемые. Нет никаких теоретических и практических препятствий для введения в рассмотрение дополнительных учитываемых факторов и показателей региона — это будет соответствовать появлению в векторе Фреше новых ненулевых существенных компонент, что просто-напросто будет означать изменение направления оценки региона (или же изменение интересов компании в регионе).

Таким образом, для окончательного пуска в действие предложенной нами методики вычисления априорного коэффициента состоятельности региона экспертному совету ОАО «РЖД» осталось зафиксировать семь (или какое-то иное число) существенных ненулевых компонент $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ вектора Фреше — весовых коэффициентов, указывающих важность и значимость того или иного фактора для ОАО «РЖД» в оценке региона. В связи с этим еще раз напомним выводы, полученные в первоначально рассмотренном примере, что точное и скрупулезное установление значений коэффициентов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ не является существенным моментом предложенной методики. Величины $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ могут в значительной степени выбираться в первом приближении. Существенно лишь то, чтобы при проведении оценок игра во всех регионах велась по одинаковым правилам и выбранный набор коэффициентов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$ применялся ко всем оцениваемым регионам одновременно и без изменений. В противном случае оценки разных регионов, полученные по разным наборам $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7)$, не могут быть сопоставимы друг с другом, следовательно, по ним невозможно будет сравнить состоятельность и привлекательность регионов России для компании ОАО «РЖД». Такие оценки (каждый регион по своему направлению) мало что могут дать для практической деятельности компании ОАО «РЖД».

Совершенно ясно, что предложенный общий подход к формированию коэффициента состоятельности региона $\tau_{рс}$ в заданном направлении оценки $\bar{N}$ является универсальным. Такой подход применим (и применяется порой эмпирически де-факто, на интуитивном уровне) во многих компаниях и организациях, информационно-аналитических агентствах, ведущих

разнообразные аналитические исследования территорий. Предложенный нами взгляд на направление оценки $\vec{N}$ региона как на вектор Фреше позволяет объединить и унифицировать под единой теоретической «крышей» множество проводимых в настоящее время оценок, аналитических исследований, разработок различных экономических и социальных показателей регионов и территорий.

В качестве иллюстрации к высказанному тезису приведем характерный пример аналитических исследований по вопросу экономической состоятельности регионов, в частности исследования по определению рейтинга инвестиционной привлекательности регионов России. Такие исследования регулярно проводятся различными информационно-аналитическими агентствами, например, по заказу правительства Российской Федерации.

Покажем, сколь естественно эти исследования рейтинга инвестиционной привлекательности региона укладываются в предложенную нами общую методику определения коэффициента состоятельности региона (в данном случае — состоятельности в направлении инвестиционной привлекательности, т.е. в направлении интересов, скажем, инвестиционной компании).

Рассмотрим в качестве примера фрагмент итоговой таблицы рейтинга инвестиционной привлекательности регионов России [1]. Предлагаемая таблица взята нами из отчетных материалов рейтингового агентства «Экспресс РА» (таблица 1). Шапка приведенной таблицы показывает, какие параметры и показатели региона (компоненты вектора Фреше $\vec{N}$ направления оценки региона) были приняты агентством «Экспресс РА» в качестве существенных, т.е. учитывались напрямую при проведении оценки и вычисления соответствующего значения абсолютной состоятельности региона в этом направлении (значения линейной формы $W_{\text{ра}}$).

Таким образом, в общей линейной форме

$$W_{\text{ра}} = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n + \dots$$

рейтинговое агентство «Экспресс РА» считало существенными девять показателей региона ($x_1, \dots, x_9$): трудовой, потребительский, инфраструктурный, производственный, инновационный, финансовый, институциональный, природно-ресурсный и показатель риска вложений. Этим показателям в агентстве были фактически присвоены соответствующие весовые коэффициенты ($\alpha_1, \dots, \alpha_9$), остальные же компоненты вектора Фреше $\vec{N}$ были положены равными нулю (т.е. другие возможные характеристики региона напрямую не учитывались).

После чего для каждого региона было вычислено значение линейной формы $W_{\text{ра}}$, определена

доля $\tau_{\text{ра}} = \frac{W_{\text{ра}}}{W_{\text{рф}}}$ соответствующего региона в абсолютном значении потенциала $W_{\text{рф}}$ Российской Федерации в целом (колонка 4 таблицы 1), и по значениям этой доли $\tau_{\text{ра}}$ каждому региону был присвоен соответствующий ранг (чем больше доля, тем выше ранг).

Совершенно очевидно, что разными агентствами могут использоваться различные наборы весовых коэффициентов ($\alpha_1, \dots, \alpha_n$) (векторов Фреше), поэтому численное значение доли $\tau_{\text{ра}}$ одного и того же региона (состоятельности региона по данному направлению оценки) в разных агентствах получается различным. Однако поскольку в каждом агентстве для проведения сравнительных оценок используется один и тот же вектор направления оценки применительно к разным регионам (набор весовых коэффициентов зафиксирован и не меняется от региона к региону), то итоговое ранжирование регионов России по инвестиционной привлекательности (первая колонка таблицы 1) в отчетах разных агентств получается, как правило, одинаковым, несмотря на имеющееся у них расхождение конкретных значений коэффициентов $\tau_{\text{ра}}$. Это еще раз подчеркивает допустимость некоторого произвола в выборе весовых коэффициентов (т.е. значений компонент вектора Фреше $\vec{N}$ направления оценки) экспертными советами заинтересованных компаний.

Итак, мы видим, что информационно-аналитическая деятельность агентства «Экспресс РА» полностью укладывается в рамки нашего общего подхода к определению априорного коэффициента состоятельности региона в заданном направлении и качестве оценки.

Из приведенного примера также становится ясно, что используемые для итоговых вычислений формы $W_{\text{ра}}$ показатели региона ($x_1, \dots, x_n$) берутся не произвольно, а, в свою очередь, также являются величинами, подлежащими определению с помощью точно такой же общей методики. Действительно, трудовой показатель региона определяется как значение соответствующей линейной формы от таких параметров, как численность населения региона, уровень образования трудоспособного населения, доля городского населения и т.п.

Таким образом, возникает дерево вычисления (рисунок 1) итогового рейтингового показателя региона $\tau_{\text{ра}}$, в котором каждое необходимое исходное данное x_i , в свою очередь, вычисляется на основании учета своей соответствующей группы региональных

Таблица — Инвестиционный потенциал российских регионов в 2000-2001 гг.

Ранг региона	Ранг риска	Регион (субъект Федерации)	Доля в потенциале РФ (%)	Ранги составляющих инвестиционного потенциала					
				Трудовой	Потребительский	Инфраструктурный	Производственный	Инновационный	Финансовый
1	2	Москва	17,125	1	1	1	1	1	1
2	5	Санкт-Петербург	5,136	3	3	2	9	3	3
3	15	Московская область	4,418	2	2	4	6	2	4
4	60	Ханты-Мансийский автономный округ	2,949	22	10	78	2	28	2
5	61	Свердловская область	2,627	7	8	45	5	5	8
6	69	Красноярский край	2,496	15	9	84	4	23	5
7	9	Республика Татарстан	2,303	14	6	34	3	6	6
8	38	Самарская область	2,139	6	12	21	7	8	9
9	18	Нижегородская область	2,103	11	15	32	13	4	16
10	7	Краснодарский край	2,018	4	5	10	11	21	11
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
84	45	Ненецкий автономный округ	0,080	85	82	88	74	78	77
85	82	Эвенкийский автономный округ	0,071	88	88	89	88	86	88
86	72	Коми-Пермяцкий автономный округ	0,066	82	81	77	85	84	84
87	81	Агинский Бурятский автономный округ	0,060	87	86	72	86	88	87
88	78	Корякский автономный округ	0,058	86	87	80	78	89	85
89	89	Чеченская Республика	0,028	89	89	87	89	83	89

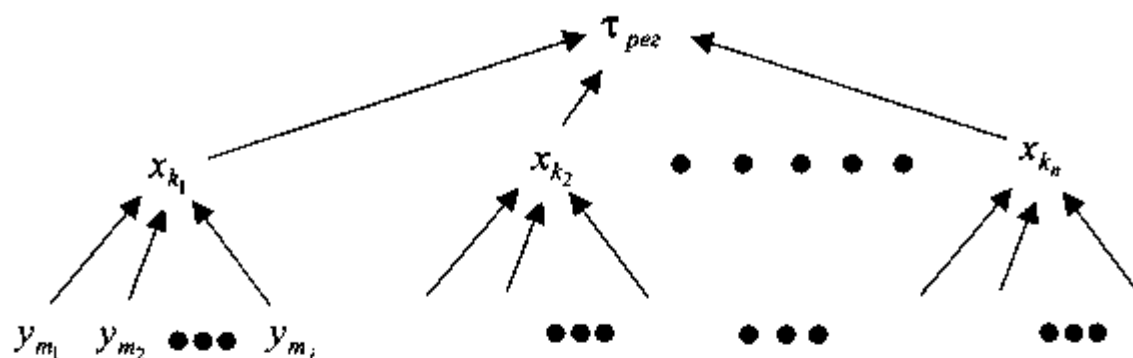


Рисунок 1 — Дерево вычисления итогового рейтингового показателя региона τ_{reg} .

показателей ($y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mj}$) с использованием нашей общей методики.

В этом дереве вычислений итогового коэффициента состоятельности региона τ_{reg} каждое исходное данное x_i , в свою очередь, вычисляется как итоговый коэффициент состоятельности региона на основании своего необходимого набора параметров (исходных данных для x_i) по предложенной общей методике. Теоретически указанное дерево может иметь сколь угодно много уровней, т.е. вычисление итогового коэффициента состоятельности региона может потребовать многоступенчатой, длительной и дорогостоящей работы по подготовке промежуточных исходных данных.

Ясно, что стоимость определения итогового коэффициента состоятельности региона, интересующего крупную компанию, будет тем ниже, чем меньше «эта-

жей» в соответствующем дереве вычислений, т.е. чем меньше работы придется проделать аналитическому отделу компании для подготовки, сбора информации и вычисления промежуточных исходных данных.

В заключение необходимо подчеркнуть, что высказанное выше обстоятельство является одним из существенных моментов, объясняющих предложенный нами выбор группы параметров и показателей, предназначенных в качестве исходных данных для определения состоятельности региона с точки зрения компании ОАО «РЖД». Действительно, все перечисленные параметры (региональные показатели $M_{reg}, V_{reg}, B_{reg}, N_{reg}, S_{reg}, L_{reg}, \Phi_{reg}$) фактически общедоступны и не требуют для своего получения высокотратных мероприятий, что делает оценку регионов в направлении интересов ОАО «РЖД» по нашей методике доступной и практически осуществимой за реальное время.

Литература

1. <http://marketing.spb.ru/mr/regions/expert-regions/reg1.htm>
2. Сай В.М. Моделирование и исследование коэффициента взаимодействия ОАО «РЖД» с хозяйствующими субъектами / Сай В.М., Афанасьева Н.А. — Екатеринбург: УрГУПС, 2005.
3. Шутюк С.В. Математическая формализация оценки эффективности взаимодействия компании «РЖД» с регионами // Мир транспорта: МИИТ. — 2005. — № 2. — С. 62—68.
4. Шутюк С.В. Моделирование коэффициента эффективности взаимодействия ОАО «РЖД» с хозяйствующими субъектами // Наука и техника транспорта: РГОТУПС. — 2005. — № 3.
5. Шутюк С.В. Интегрированный коэффициент эффективности серии проектов при одновременном взаимодействии ОАО «РЖД» с рядом региональных хозяйствующих субъектов / В.М. Сай, С.В. Шутюк // Транспорт Урала. — 2005. — № 2 (5). — С. 11—16.



ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ

В статье рассматриваются пути совершенствования транспортных систем городов на основе федеральных целевых программ и методов, разработанных в СибАДИ.

Дорожная обстановка в городах России в последние 5—6 лет значительно осложнилась. Это связано с быстрым ростом автомобилизации и появлением в городах частного перевозчика, что привело к несоответствию возможностей транспортных сетей возросшей интенсивности уличного движения. В связи с этим развитию транспортного комплекса России в последние годы уделяется особое внимание. С 2001 г. начался процесс его реформирования. Основные положения реформы сформулированы в федеральной целевой программе «Модернизация транспортной системы России до 2010 г.» и в Транспортной стратегии России до 2025 г. [1, 2].

На этой основе базируется инновационный подход к совершенствованию транспортных систем городов и регионов. В широком смысле он включает создание современной региональной законодательной базы, обновление парка подвижного состава (ПС) городского пассажирского транспорта (ГПТ), создание современного рынка транспортных услуг, использование новых информационных технологий в процессе координации, управления, контроля транспортных систем и повышения их безопасности.

Целью исследований, проводимых в СибАДИ [3, 4], является совершенствование транспортных систем городов путем реорганизации маршрутной сети, обновления подвижного состава, разгрузки улично-дорожной сети (УДС), повышения БДД и улучшения экологии с использованием современных компьютерных технологий. На базе этих исследований сформировалось самостоятельное научное направление.

Процесс функционирования маршрутной сети городов в последние годы значительно усложнился в связи с появлением на транспортном рынке конкуренции. Дорыночный период был ориентирован на преимущественное развитие муниципального ГПТ, причем этот процесс не был увязан с динамикой загрузки УДС города. В настоящее время ситуация на ГПТ усложнилась. Например, в г. Омске за период с 2001 по 2004 гг. произошло, с одной стороны, снижение количества муниципальных автобусов, работающих на

городских маршрутах, с 700 до 550, с другой стороны, количество маршрутных такси увеличилось с 720 до 3000. Аналогичная ситуация и в других российских городах. Изменение структуры парка ПС ГПТ привело к снижению его средней вместимости и увеличению количества, что явилось причиной уменьшения провозной способности системы ГПТ и увеличения загрузки УДС.

Проблему транспортного обслуживания населения следует рассматривать комплексно, с учетом загрузки УДС города, безопасности дорожного движения и экологии. Методика, разработанная в СибАДИ, предусматривает решение проблемы транспортного обслуживания крупнейших городов в системе пассажир — транспорт — дорога. В этой системе пассажир имеет право выбора транспорта, т.е. подвижного состава различной вместимости, который, в свою очередь, воздействует на магистральную сеть города, загружая ее транспортными потоками. У каждого из указанных элементов системы имеются свои динамические показатели, которые отражают уровень функционирования маршрутной сети города в целом. Показатели выбраны таким образом, чтобы в процессе реорганизации маршрутной сети мы получили объективную оценку состояния ее отдельных фрагментов и итоговую оценку всей схемы по выбранному критерию (таблица 1).

Совершенствование маршрутной сети заключается в решении противоречивой задачи — увеличения провозной способности ГПТ при снижении загрузки УДС транспортными потоками в приведенных единицах, т.е. $P_{\text{д}} \rightarrow \max$, $P_{\text{п}} \rightarrow \min$. Положительное решение возможно при увеличении средней вместимости ПС в данном городе до оптимального уровня, который



Эдуард Алексеевич Сафронов, д-р техн. наук, профессор (Инженерно-строительный институт Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии).



ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ

В статье рассматриваются пути совершенствования транспортных систем городов на основе федеральных целевых программ и методов, разработанных в СибАДИ.

Дорожная обстановка в городах России в последние 5—6 лет значительно осложнилась. Это связано с быстрым ростом автомобилизации и появлением в городах частного перевозчика, что привело к несоответствию возможностей транспортных сетей возросшей интенсивности уличного движения. В связи с этим развитию транспортного комплекса России в последние годы уделяется особое внимание. С 2001 г. начался процесс его реформирования. Основные положения реформ сформулированы в федеральной целевой программе «Модернизация транспортной системы России до 2010 г.» и в Транспортной стратегии России до 2025 г. [1, 2].

На этой основе базируется инновационный подход к совершенствованию транспортных систем городов и регионов. В широком смысле он включает создание современной региональной законодательной базы, обновление парка подвижного состава (ПС) городского пассажирского транспорта (ГПТ), создание современного рынка транспортных услуг, использование новых информационных технологий в процессе координации, управления, контроля транспортных систем и повышения их безопасности.

Целью исследований, проводимых в СибАДИ [3, 4], является совершенствование транспортных систем городов путем реорганизации маршрутной сети, обновления подвижного состава, разгрузки улично-дорожной сети (УДС), повышения БДД и улучшения экологии с использованием современных компьютерных технологий. На базе этих исследований сформировалось самостоятельное научное направление.

Процесс функционирования маршрутной сети городов в последние годы значительно усложнился в связи с появлением на транспортном рынке конкуренции. Дорыночный период был ориентирован на преимущественное развитие муниципального ГПТ, причем этот процесс не был увязан с динамикой загрузки УДС города. В настоящее время ситуация на ГПТ усложнилась. Например, в г. Омске за период с 2001 по 2004 гг. произошло, с одной стороны, снижение количества муниципальных автобусов, работающих на

городских маршрутах, с 700 до 550, с другой стороны, количество маршрутных такси увеличилось с 720 до 3000. Аналогичная ситуация и в других российских городах. Изменение структуры парка ПС ГПТ привело к снижению его средней вместимости и увеличению количества, что явилось причиной уменьшения провозной способности системы ГПТ и увеличения загрузки УДС.

Проблему транспортного обслуживания населения следует рассматривать комплексно, с учетом загрузки УДС города, безопасности дорожного движения и экологии. Методика, разработанная в СибАДИ, предусматривает решение проблемы транспортного обслуживания крупнейших городов в системе пассажир — транспорт — дорога. В этой системе пассажир имеет право выбора транспорта, т.е. подвижного состава различной вместимости, который, в свою очередь, воздействует на магистральную сеть города, загружая ее транспортными потоками. У каждого из указанных элементов системы имеются свои динамические показатели, которые отражают уровень функционирования маршрутной сети города в целом. Показатели выбраны таким образом, чтобы в процессе реорганизации маршрутной сети мы получили объективную оценку состояния ее отдельных фрагментов и итоговую оценку всей схемы по выбранному критерию (таблица 1).

Совершенствование маршрутной сети заключается в решении противоречивой задачи — увеличения провозной способности ГПТ при снижении загрузки УДС транспортными потоками в приведенных единицах, т.е. $P_{\text{ГПТ}} \rightarrow \max$, $P_{\text{УДС}} \rightarrow \min$. Положительное решение возможно при увеличении средней вместимости ПС в данном городе до оптимального уровня, который



Эдуард Алексеевич Сафронов, д-р техн. наук, профессор (Инженерно-строительный институт Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии).

Таблица 1 — Основные показатели маршрутной сети города

№	Показатель	Обозначение	Размерность
1	Длина транспортной сети	L_c	км
2	Длина маршрутной сети	L_m	км
3	Маршрутный коэффициент	m	—
4	Выпуск подвижного состава на линию	$N_{\text{лн}}$	ед.
5	Вместимость подвижного состава	Ω	пас.
6	Интервал движения	$t_{\text{ин}}$	мин
7	Предлагаемая работа транспорта	$P_{\text{п}} = \Sigma \Omega t_{\text{п}}$	место-км/сут
8	Используемая работа транспорта или провозная способность	$P_{\text{и}} = P_{\text{п}} K_{\text{п}}$	пас.-км/сут
9	Коэффициент среднесуточного наполнения ПС	$K_{\text{п}}$	—
10	Среднесуточный пробег транспорта	$C_{\text{п}}$	км
11	Суммарная вместимость транспорта	$\Sigma \Omega$	пас.-мест
12	Суммарная работа транспорта	ΣP	место-км/сут
13	Приведенный пробег	$P_{\text{п}}$	авт.-км/сут

определяется показателями качества транспортного обслуживания.

Методика совершенствования маршрутной сети легла в основу геоинформационной компьютерной программы «Маршрутная сеть», разработанной также в СибАДИ. Она нужна для выбора оптимальной траектории движения маршрутов и мониторинга маршрутной сети ГПТ. Структурно геоинформационная программа состоит из трех частей: графической части, информационной базы, аналитического раздела. Принцип работы программы основан на возможности передачи координат точек, к которым привязаны объекты ГПТ и траектории маршрутов, в информационную базу для дальнейших расчетов. Аналитический раздел позволяет полученную информацию систематизировать, хранить и использовать в виде отчетов по заданным критериям. Преимущество ГИС-технологий в том, что они открывают широкие возможности для анализа, мониторинга и совершенствования маршрутных сетей. На основе выходных показателей, получаемых в результате обработки исходных массивов графической и аналитической частей, принимаются решения по совершенствованию маршрутной сети города.

Учитывая специфику работы маршрутных такси, совершенствование их работы проводилось совместно с Омской областной общественной организацией «Омский союз автоперевозчиков» (ОСА), объединяющей 450 предпринимателей, ежедневно выпускающих на линию более 2000 ед. маршрутных такси. Все маршруты условно были разделены на 5 групп. Первая группа — маршруты, не требующие изменений, т.е. их трассировка не затрагивает основные городские

магистраль. Вторая группа — маршруты с высоким коэффициентом непрямолинейности — 2 и более, что требует их спрямления. Далее маршруты проверялись на предмет дублирования с другими маршрутами — это третья группа. В четвертой рассматривались маршруты с интервалом движения менее 4 мин. На этих маршрутах сконцентрированы основные объемы перевозок, и они требуют корректировки. В пятой предложено закрыть нерентабельные маршруты. Эти предложения позволят упорядочить работу микроавтобусов на маршрутной сети.

Следующим этапом работы по снижению загрузки транспортных магистралей станут мероприятия, требующие значительных финансовых затрат. Это обновление парка ГПТ, реконструкция улично-дорожной сети, улучшение дорожных покрытий, внедрение новых систем регулирования движения.

Сохранение инвестиций на сложившемся в предыдущие годы уровне в РФ приведет к снижению численности парка автобусов, осуществляющих городские и пригородные перевозки, к 2010 г. на 22—25%, из которых почти одна треть будет эксплуатироваться с превышением нормативных сроков. Аналогичное положение характеризует парк троллейбусов и трамваев. Потери от «старения» парков в российском масштабе оцениваются как минимум в 10—13 млрд рублей ежегодно. Между тем средства, необходимые для поддержания состава парка в приемлемом состоянии, оцениваются в среднем за год в пределах 8—9 млрд рублей, то есть в 1,5 раза меньше.

Программа обновления парка ГПТ г. Омска, разработанная в СибАДИ, предусматривает приобретение



для муниципальных предприятий минимально необходимого количества ПС (таблица 2). Эта программа уже реализуется. В настоящее время полноценное транспортное обслуживание населения городов возможно лишь путем создания современного рынка транспортных услуг, т.е. благоприятных условий работы для всех его участников. Муниципальный и коммерческий транспорт взаимно дополняют друг друга, и для улучшения их работы в СиБАДИ совместно с ОСА разработана программа замены микроавтобусов, работающих на основных городских магистралях, на автобусы большой вместимости (таблица 3). Для составления координированных расписаний также используются ГИС-технологии.

Для эффективного развития транспортных систем сибирских городов и регионов целесообразно организовать современное автобусное производство в г. Омске на базе ООО «Сибирско-Скандинавская автобусная компания». Расчеты показали, что первичная потребность в городах МА «Сибирское Соглашение» на ближайшие 3 года в городских автобусах составляет около 1200 ед., а междугородных — около 900 ед.

Организация такого производства позволит не только создать рабочие места, но и пополнить доходную часть бюджета (таблицы 4, 5).

Важной социальной проблемой для г. Омска является реализация Областной целевой программы «Социальная поддержка инвалидов» на 2004—2008 гг. В рамках этой программы СиБАДИ решает проблему организации транспортного обслуживания инвалидов в г. Омске. В результате телефонного социологического опроса инвалидов-колясочников выяснилось, что из общего количества 1350 чел. 65,1% нуждаются в специализированном транспортном обслуживании с целью посещения больниц (51% опрошенных), друзей и знакомых (14%), магазинов (10%), объектов культуры и отдыха (10%). Следует отметить, что 32% этой группы населения имеют среднее специальное и высшее образование и готовы работать, если им будут созданы необходимые условия.

По материалам обследований с использованием ГИС-технологий составлены планы программы расселения и посещения объектов обслуживания, а также картограмма корреспонденций по воздушным связям (ри-

Таблица 2 — Программа обновления парка ПС муниципального ГПТ г. Омска на 2004—2006 гг.

Вид ПС	Количество ПС										Итого за 2004— 2006 гг.
	2002 г.		2004 г.		2005 г.		2006 г.				
	Списочное на конец года	Подлежит списанию	Необходимо приобрести	Списочное на конец года	Подлежит списанию	Необходимо приобрести	Списочное на конец года	Подлежит списанию	Необходимо приобрести	Списочное на конец года	
Автобус	849	60	80	869	60	80	889	60	82	911+ 7,3%	242
Троллейбус	207	20	38	225	20	39	244	20	39	263	116
Трамвай	124	6	-	118	6	-	112	6	6	112	6
Итого	1180	86	118	1212	86	119	1245	86	127	1286+ 8,9%	364

Таблица 3 — Программа замены микроавтобусов на автобусы большой вместимости, г. Омск (2005—2007 гг.)

Этап	Год	Количество маршрутов	Необходимо снять микроавтобусов, ед.	Необходимо приобрести автобусов ПАЗ, ед.	Необходимо приобрести автобусов ЛиАЗ, ед.
1	2005	14	298	100	-
2	2006	19	562	110	40
3	2007	22	572	110	40
Итого		55	1432	320	80

Таблица 4 — Программа обновления подвижного состава автобусов большой вместимости (городской автобус производства ООО «Сибирско-Скандинавская автобусная компания», 120 мест) в городах МАСС на 2005—2008 гг. (городские перевозки)

Город	2005 г.			2008 г.	Итого списание за 3 года, ед.	Итого приобретение за 3 года, ед.
	Списочное количество на начало года, ед.	Подлежит списанию, ед.	Приобретение, ед.	Списочное количество на начало года, ед.		
Новосибирск	479	70	85	524 (+9,4%)	210	255
Омск	575	75	90	620 (+7,8%)	225	270
Красноярск	382	60	70	412 (+7,8%)	180	210
Барнаул	173	35	40	188 (+8,7%)	105	120
Кемерово	278	50	60	308 (+10,8%)	150	180
Томск	76	12	14	82 (+7,9%)	36	42
Улан-Удэ	63	10	12	69 (+9,5%)	30	36
Абакан	62	12	14	68 (+9,7%)	36	42
Итого	2088	324	385	2271 (+8,8%)	972	1155

Таблица 5 — Программа обновления подвижного состава автобусов большой вместимости (VOLVO B10M, 47 мест) в городах МАСС на 2005—2008 гг. (междугородные перевозки)

Область	Списочное на начало года, ед.	Итого приобретение за 3 года, ед.
Новосибирская область	649	180
Омская область	619	210
Алтайский край	10290	300
Томская область	132	78
Республика Бурятия	89	42
Республика Хакасия	106	48
Итого	11885	858

сунк 1). Этот материал лег в основу разработки специализированного автобусного маршрута. Для работы на нем по заказу правительства Омской области уже закуплены два автобуса ЛиАЗ «Инвалидный», оборудованных выдвижной аппарелью для обслуживания инвалидов-колясочников. Кроме того, необходимо переоборудовать все остановочные пункты для эксплуатации такого маршрута.

Кроме того, в ходе опроса выяснилось, что имеется спрос на организацию транспортного обслуживания инвалидов в режиме социального такси с использованием переоборудованных микроавтобусов. На эти пожелания охотно откликнулось руководство ОСА. По плану на первый период намечено переоборудовать 5

микроавтобусов «Газель» (по числу округов). Не считая мест для сопровождающих, в такси смогут передвигаться до четырех человек на колясках. Заказать машину можно будет по телефону. При этом необходимо решить как организационные, так и финансовые вопросы с администрацией города и с правительством области, с тем чтобы создать наиболее благоприятные условия для обслуживания инвалидов. Следует отметить, что в Омской области эта работа проводится впервые и наиболее интенсивными темпами по сравнению с другими регионами Сибири. При этом используются стандарты стран ЕС.

Актуальной проблемой для Омской области является улучшение транспортного обслуживания на при-



Рисунок 1 — Картограмма корреспонденций инвалидов-колясочников к объектам обслуживания, г. Омск, 2005 г.

городных и междугородных маршрутах. Интенсивное освоение природных богатств, экономический рост региона требуют ускоренного развития междугородного транспортного сообщения, создания современной инфраструктуры на автодорогах общего пользования.

В СибАДИ на опыте выполненных ранее исследований и методик разрабатываются мероприятия по развитию сети автостанций и автовокзалов в Омской области. Это позволит улучшить транспортную доступность населенных мест и ускорит экономическое развитие региона.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России», подпрограмма «Реформирование пассажирского транспорта общего пользования». Утверждена постановлением Правительства РФ 05.12.01 г. № 848.
2. Транспортная стратегия России до 2025 г. Принята на Всероссийской конференции 3 декабря 2003 г.
3. Сафронов Э.А., Сафронов К.Э. Методика оптимизации структуры парков подвижного состава пассажирского транспорта // Автомобильный транспорт. — 2002. — № 11. — С. 14—15.
4. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов: Учеб. пособие для вузов. — М.: Изд-во «АСВ», 2005. — 290 с.

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИНОЛОГИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СМЕШАННЫХ ПЕРЕВОЗОК



Евгений Николаевич Гаврюшков,
инженер
(Дальрыбфлот, Владивосток).



Людмила Вениаминовна Гоголина,
к.э.н., профессор кафедры
«Экономика и управление на
предприятии»
(Дальрыбфлот, Владивосток).

Отсутствие взаимопонимания в вопросах терминологии основополагающих принципов организации международных перевозок с участием нескольких видов транспорта порождает многочисленные проблемы и затрудняет процесс интеграции транспортной системы Российской Федерации в общемировую транспортную систему.

По мнению авторов, процесс интеграции транспортных систем не требует поиска новых значений для проверенных практикой понятий. Однозначное толкование применяемых терминов всеми участниками этого процесса — залог успешного решения проблем, возникающих на пути их взаимодействия, при ведении международной торговли.

В настоящее время все большее число ученых уделяют внимание вопросам терминологии смешанных перевозок грузов, особенно когда речь идет о перевозках международных [1]. Данный интерес обусловлен проблемами развития российской транспортной отрасли и ее интеграции в международную транспортную систему. Проблемы эти общеизвестны: это и вопросы интенсификации грузооборота ТСМ за счет привлечения транзитных грузов, следующих по направлению Азия — Европа, и необходимость гармонизации правовых систем, и обновление существующего технического парка РЖД, и модернизация инфраструктуры и т.д.

Совершенно очевидно, что интеграция невозможна без установления единства технической, технологической и законодательной базы. Однако единства невозможно добиться без однозначного понимания всеми участниками процесса интеграции транспортных систем терминологического аппарата,

используемого ими для достижения синергетического эффекта от взаимодействия различных видов транспорта, направленного на решение одной единственной задачи — удовлетворения потребности грузоотправителя (инициатора перевозки) в быстрой, качественной и недорогой услуге по доставке товара из места его производства в одной стране до места потребления в другой.

Прогрессивное человечество давно выработало множество способов для удовлетворения этой потребности. Один из этих способов отражен в конвенции Организации Объединенных Наций «О международных мультимодальных перевозках грузов» (1980 г.), где под термином «международная мультимодальная перевозка» понимается «перевозка грузов не менее чем двумя разными видами транспорта на основании договора мультимодальной перевозки из места в одной стране, где грузы поступают в ведение оператора мультимодальной перевозки, до обусловленного места доставки в другой стране. Операции по вывозу и доставке грузов, осуществляемые во исполнение договора перевозки только одним видом транспорта, как определено в таком договоре, не считаются международной мультимодальной перевозкой» [2]. К сожалению, данная конвенция не имеет юридической силы, поскольку не была ратифицирована доста-

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИНОЛОГИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СМЕШАННЫХ ПЕРЕВОЗОК



Евгений Николаевич Гаврюшков,
инженер
(Дальрыбвтуз, Владивосток).



Людмила Вениаминовна Гоголина,
к.э.н., профессор кафедры
«Экономика и управление на
предприятии»
(Дальрыбвтуз, Владивосток).

Отсутствие взаимопонимания в вопросах терминологии основополагающих принципов организации международных перевозок с участием нескольких видов транспорта порождает многочисленные проблемы и затрудняет процесс интеграции транспортной системы Российской Федерации в общемировую транспортную систему.

По мнению авторов, процесс интеграции транспортных систем не требует поиска новых значений для проверенных практикой понятий. Однозначное толкование применяемых терминов всеми участниками этого процесса — залог успешного решения проблем, возникающих на пути их взаимодействия, при ведении международной торговли.

В настоящее время все большее число ученых уделяют внимание вопросам терминологии смешанных перевозок грузов, особенно когда речь идет о перевозках международных [1]. Данный интерес обусловлен проблемами развития российской транспортной отрасли и ее интеграции в международную транспортную систему. Проблемы эти общеизвестны: это и вопросы интенсификации грузооборота ТСМ за счет привлечения транзитных грузов, следующих по направлению Азия — Европа, и необходимость гармонизации правовых систем, и обновление существующего технического парка РЖД, и модернизация инфраструктуры и т.д.

Совершенно очевидно, что интеграция невозможна без установления единства технической, технологической и законодательной базы. Однако единства невозможно добиться без однозначного понимания всеми участниками процесса интеграции транспортных систем терминологического аппарата,

используемого ими для достижения синергетического эффекта от взаимодействия различных видов транспорта, направленного на решение одной единственной задачи — удовлетворения потребности грузоотправителя (инициатора перевозки) в быстрой, качественной и недорогой услуге по доставке товара из места его производства в одной стране до места потребления в другой.

Прогрессивное человечество давно выработало множество способов для удовлетворения этой потребности. Один из этих способов отражен в конвенции Организации Объединенных Наций «О международных мультимодальных перевозках грузов» (1980 г.), где под термином «международная мультимодальная перевозка» понимается «перевозка грузов не менее чем двумя разными видами транспорта на основании договора мультимодальной перевозки из места в одной стране, где грузы поступают в ведение оператора мультимодальной перевозки, до обусловленного места доставки в другой стране. Операции по вывозу и доставке грузов, осуществляемые во исполнение договора перевозки только одним видом транспорта, как определено в таком договоре, не считаются международной мультимодальной перевозкой» [2]. К сожалению, данная конвенция не имеет юридической силы, поскольку не была ратифицирована доста-



точным количеством стран — участниц конвенции. Тем не менее основные ее положения нашли свое применение в носящих рекомендательный характер правилах ЮНКТАД/МТП для мультимодальных транспортных документов, которые вступили в силу с 1.01.92 г.

На основе этих правил FIATA был разработан единственный в мире экспедиторский транспортный документ, который возлагает напрямую на экспедитора ответственность за груз и его доставку клиенту (речь идет о коносаменте FIATA в последней, третьей, редакции). При применении этого коносамента образуется стройная система доставки груза до места назначения: один перевозчик (оператор мультимодальной перевозки), один транспортный документ на всю перевозку (коносамент FBL), одна ставка за все расстояние перевозки до места назначения и один ответчик (оператор мультимодальной перевозки). Данная система имеет значительные преимущества как для клиента, так и для оператора (экспедитора), так как, получив коносамент FIATA, грузоотправитель освобождается от обязанностей по доставке товара, возложенных на него договором купли-продажи. Эти обязанности берет на себя оператор мультимодальной перевозки, одновременно возлагая на себя ответственность за всех перевозчиков и третьих лиц, привлеченных им для осуществления перевозки.

Данная практика давно и широко используется в мировой торговле. Принципы, определяемые термином *multimodal transport of goods*, нашли свое отражение в законодательстве многих стран (Аргентины, Австрии, Бразилии, Китая, Чили, Эквадора, Колумбии, Египта, Германии, Индии, Мексики, Парагвая и др.) и соглашениях региональных сообществ (Андское сообщество, MERCOSUR, ASEAN, ALADI). Организация Объединенных Наций придает вопросам терминологии серьезное значение для единообразного понимания значений терминов, используемых в практической деятельности и правительствами, и учеными, и предпринимателями. В глоссарии UNCTAD [3], переведенном на четыре официальных языка ООН, под мультимодальными перевозками понимаются перевозки грузов по меньшей мере двумя разными видами транспорта. Однако, как вытекает из смысла п. 2.6 Глоссария и подтверждается многочисленными разработками UNCTAD, UNECE, ECMT и др. в области мультимодальных перевозок [4, 5], понятие, выработанное европейской конференцией министров транспорта, не читается в отрыве от понятия «оператор мультимодальной перевозки». Наличие оператора, равно как и договора мультимодальной перевозки, есть непеременимое условие и неотъемлемая часть самого процесса мультимодальной перевозки.

Термин «мультимодальная перевозка» характеризует перевозочный процесс с позиций его право-

вого и организационного обеспечения, в отличие от терминов «комбинированные» и «интермодальные перевозки», которые, в свою очередь, характеризуют перевозочный процесс в зависимости от технологических операций, выполняемых с грузом или с транспортным средством, его перевозящим.

Под интермодальной перевозкой следует понимать (как это вытекает из работ UNCTAD и осуществляется на практике) перевозку груза в одной и той же грузовой единице или на одном и том же транспортном средстве последовательно используемыми видами транспорта без обработки самих грузов при изменении вида транспорта [3].

Одной из разновидностей интермодальных перевозок является перевозка комбинированная. Глоссарий UNCTAD дает следующее определение этому термину: «интермодальная перевозка, в рамках которой большая часть европейского рейса приходится на железнодорожный, внутренний водный или морской транспорт и любой начальный и/или конечный отрезок пути, на котором используется автомобильный транспорт, является максимально коротким». Данное определение возникло под влиянием экологических проблем и с целью комплексного использования всех видов транспорта. В более широком смысле под комбинированной перевозкой следует понимать перевозку одного транспортного средства с грузом другим (активным) транспортным средством. Примером такой перевозки является перевозка груженого трейлера на железнодорожной платформе или перевозка вагонов на пароме.

Подводя итог сказанному, вспоминаются слова известного всем нам классика «Когда в друзьях согласия нет — на лад их дело не пойдет». Пока мы спорим о значении терминов, давно уже определенных до нас, наши экспедиторы выступают в роли мальчишек на побегушках у своих зарубежных коллег, а наиболее «продвинутые» отечественные предприниматели — представители данного сектора услуг — лоббируют свои интересы, упражняясь в составлении стандартов и разработке законов. Вред от этой деятельности при полустительстве ученых-правоведов и специалистов по организации международных перевозок очевиден. Гармонизации российской правовой системы с правовыми системами наших соседей не происходит. А когда это наконец-то произойдет, то нашему отечественному экспедитору — оператору международной мультимодальной перевозки — места на рынке этих услуг уже не будет. Более того, чем дальше мы откладываем процесс вдумчивого, продуктивного и скорого разрешения этой проблемы, тем все большее количество груза проходит по направлению Азия — Европа в обход нашего самого «короткого» и «дешевого» Транссиба.

Литература

1. Кузнецова Е.Ю., Журавская М.А. Комбинированные перевозки в условиях транспортной интеграции: проблемы терминологии // Транспорт Урала. — 2005. — № 1(4).
2. Конференция Организации Объединенных Наций по Конвенции о международных смешанных перевозках. Том 1, TD/MT/CONF/17.
3. Terminology on combined transport. Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC), New York and Geneva, 2001.
4. Efficient transport and trade facilitation to improve participation by developing countries in international trade, Agreed recommendations TD/B/COM.3/L.30, 01/03/05.
5. Carrier liability and freedom of contract under the uncitral draft instrument on the carriage of goods [Wholly or partly] [By sea], Note by the UNCTAD secretariat UNCTAD/SDTE/TLB/2004/2, 24/11/04.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ИЗНОС КОЛЕС

Стратегия улучшения контроля за износом колес и рельсов на угольном маршруте железной дороги Canadian Pacific предусматривает непрерывный эволюционный процесс, в ходе которого постоянно обеспечиваются баланс между износом рельсов, управление риском выхода их из строя, согласование профилей колес и рельсов в меняющихся условиях эксплуатации. Работа в этом направлении никогда не будет завершена, поскольку конкурентное давление на мировом рынке угля требует непрерывного снижения эксплуатационных затрат. На железной дороге CPR стратегия контроля за износом колес и рельсов доказала свое большое значение не только как средство сокращения затрат в колесном и рельсовом хозяйстве, но и как средство снижения эксплуатационных расходов за счет повышения осевых нагрузок и уменьшения расхода топлива.

СКРИП КОЛЕС

Скрип (визг) колес является проблемой многих железных дорог, включая дороги с тяжеловесным движением, которые проходят в пригородных зонах. Скрип возникает на поверхностях катания колеса и рельса при движении в кривых. Звук генерируется в результате сочетания трения и явления чередования сцепления и скольжения. Трение возникает в результате скольжения, особенно поперечного, колеса по отношению к рельсу. Когда способность контакта колеса и рельса воспринимать проскальзывание исчерпывается (при относительном проскальзывании около 0,01), возникает чистое скольжение. При скольжении сила трения уменьшается. Скольжение прекращается, когда сила, создающая крип (сцепление вместе с упругим скольжением на площадке контакта), диссипируется при скольжении, и затем процесс начинается снова. Энергия, выделяющаяся в процессе сцепления-скольжения в системе колесо — рельс, возбуждает скрип (визг) колес.

Процесс чередования сцепления и скольжения возникает, когда характеристика сила трения — проскальзывание отрицательна, т. е. силы трения уменьшаются по достижении определенного уровня проскальзывания. Фактические же свойства третьего тела, возникающего между колесом и рельсом, зависят от материалов колеса и рельса и условий окружающей среды.

Модификаторы трения, имеющие положительные характеристики, т. е. увеличивающие силы трения по мере возрастания проскальзывания, снижают или ликвидируют визг колес.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ И СПОСОБ ОЦЕНКИ АПРИОРНОЙ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА



Василий Михайлович Сай,
д-р техн. наук, проректор
по научной работе (УрГУПС).



Сергей Владимирович Шутюк,
начальник департамента
по взаимодействию с федеральными
и региональными органами власти
ОАО «РЖД».

Оценка состоятельности региона — очень важная составляющая практической деятельности каждой крупной компании, осуществляющей свою деятельность на протяженных территориях и взаимодействующей с регионами, расположенными на них. Рейтинги регионов и методики таких оценок чрезвычайно популярны и

постоянно проводятся в различных формах компаниями, организациями и правительствами разных уровней.

В настоящее время наработано довольно много всевозможных методик с применением достаточно большого количества групп факторов, учитываемых при оценке региона по разным направлениям. Это, например, оценки инвестиционной привлекательности, экономической состоятельности, различные маркетинговые исследования территорий и т.п. [1]. Оценки регионов исключительно важны для организации практической деятельности компаний, планирования их деятельности, принятия правильных управленческих решений и в конечном счете для повышения эффективности работы этих компаний с регионами и территориями, увеличения доходности компаний.

С другой стороны, для научных и теоретических исследований в области экономико-математического моделирования процессов взаимодействия крупных компаний с регионами России необходимо иметь ряд показателей, достаточно полно характеризующих обе взаимодействующие стороны — компанию, осуществляющую производственную деятельность в регионе, и сам регион, в условиях которого ведется эта практи-

ческая деятельность. Как правило, крупные компании самостоятельно ведут разработку некоторых показателей, оценивающих эффективность их деятельности в том или ином регионе. Такие показатели характеризуют эффективность процессов взаимодействия в паре компания—регион лишь с одной стороны — со стороны действующей компании — и никак не учитывают интересы региона или территории.

Так, например, работы [2—5] посвящены моделированию процессов взаимодействия и разработке коэффициента эффективности взаимодействия компании ОАО «Российские железные дороги» с субъектами Российской Федерации и хозяйствующими субъектами, находящимися на их территории. Этот коэффициент оценивает эффективность и характеризует процессы взаимодействия с точки зрения только одной стороны — компании «Российские железные дороги», поскольку основан лишь на учете внутренних экономических показателей самой компании ОАО «РЖД».

Однако взаимодействие (и тем более — эффективное взаимодействие!) возможно только в том слу-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНФЛИКТНЫХ ЗОН НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ



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



Сергей Николаевич Боярский,
инженер (УГЛТУ).



Олег Витальевич Минин,
инженер (УГЛТУ).

Для более точной оценки безопасности и пропускной способности пересечений в одном уровне исследовано влияние скоростей пересекающихся транспортных потоков на такие параметры конфликтных зон, как площадь зоны и время нахождения транспортного средства.

Ежегодно в Российской Федерации погибает более 45 тысяч граждан, или 30 человек на 100 тысяч жителей, более 200 тысяч получают ранения, из которых более 10 тысяч становятся инвалидами. В 2003 г. на территории РФ обстановка с аварийностью на автотранспорте резко осложнилась. Отмечен рост трех основных ее показателей: количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) по отношению к 2002 г. возросло на 10,8%, число погибших — на 7,1% и раненых — на 13,1%. Дорожно-транспортная аварийность наносит экономике России ущерб, который по оценкам экспертов составляет около 4—5% от ВВП.

Основная доля дорожно-транспортных происшествий выпадает на пересечения дорог в одном уровне. По разным оценкам эта цифра составляет от 30 до 50%. Взаимодействие транспортных средств на дорогах — сложный процесс, и эксперты сходятся во мнении, что существующие упрощенные оценки безопасности дорожного движения на пересечениях, основанные на присвоении индексов опасности условным конфликтным точкам (в отечественных и

зарубежных работах приводятся различные подходы к количественной оценке каждой конфликтной точки и их совокупности), дают возможность лишь приблизительно представить себе сложность того или иного участка. По мнению ряда исследователей, уместно говорить не об условных точках, а о конфликтных зонах [1, с. 90].

Авторами было проведено исследование параметров опасных (конфликтных) зон на пересечении автомобильных дорог в одном уровне с разрешенными маневрами всех видов в зависимости от скоростей главного и второстепенного транспортных потоков.

Предполагается, что конфликтная зона образуется пересечением динамических коридоров главного и второстепенного направлений и ее можно охарактеризовать следующими параметрами: площадь $S_{\text{кз}}$ и время нахождения в ней транспортного средства $\Delta t_{\text{кз}}$. Практический смысл этих параметров заключается в следующем:

- площадь указывает на геометрические границы зоны, следовательно, именно внутри зоны про-

исходит концентрация дорожно-транспортных происшествий;

- время нахождения транспортного средства в опасной зоне позволяет определить минимальный безопасный промежуток времени $\Delta t_{\text{без}}$ для осуществления автомобилем того или иного маневра. Соответственно, при выборе меньшего интервала может иметь место конфликтная ситуация и /или ДТП.

Исследования проводились при следующих исходных условиях:

- скорости главного и второстепенного потоков постоянны;
- криволинейные траектории ТС аппроксимируются клотоидами с круговой вставкой;
- дополнительное уширение на криволинейных участках вычисляется по эмпирической формуле [1, с. 76]

$$\Delta = L_a^2 / 2R + 0,05 V / R^{1/2}, \quad (1)$$

где L_a — база автомобиля, м; R — радиус поворота, м;

- динамический коридор описывается уравнением проф. Д.П. Великанова [2, с. 42]

$$B_v = 0,015 v_v + b_a + 0,3, \quad (2)$$

где b_a — ширина автомобиля, м;

0,3 — дополнительный зазор, м;

v_v — скорость транспортного средства, км/ч;

- для нахождения площади используется графическое интегрирование.

Пример схемы для расчета параметров зоны слияния представлен на рисунке 1.

На рис.1 хорошо видно, где происходит конфликт транспортных потоков, есть определенная площадь конфликтной зоны, которую можно вычислить графическим интегрированием. Эта площадь изменяется в зависимости от скорости движения транспортных

средств в потоке, так как известна зависимость «динамического коридора» от скорости, а также параметров клотоиды и радиуса круговой кривой от скорости транспортных потоков [1, с. 57]:

$$R = V^2 / 127 (\mu + i), \text{ м}, \quad (3)$$

где V — скорость потока, км/ч;

μ — коэффициент поперечной силы;

i — поперечный уклон кривой.

Исследования показали, что изменения площади конфликтных зон можно описать следующими уравнениями в зависимости от скоростей пересекающихся потоков:

- площади конфликтных зон, образующихся при слиянии прямого направления и поворотного,

$$S_{\Sigma} = 0,13 V_{\text{пр}}^2 + 0,153 V_{\text{п}}^2 - 5,71 V_{\text{пр}} - 0,006 V_{\text{п}} - 0,01 V_{\text{пр}} \cdot V_{\text{п}} + 182,97; \quad (4)$$

- площади конфликтных зон, образующихся при слиянии правоповоротного направления и левоповоротного,

$$S_{\Sigma} = S = 0,02 \cdot V^2 - 1,01 \cdot V + 26; \quad (5)$$

- площади конфликтных зон, образующихся при пересечении левоповоротных направлений,

$$S_{\Sigma} = 0,013 (V_{\text{л}1}^2 + V_{\text{л}2}^2) + 0,076 (V_{\text{л}1} + V_{\text{л}2}) - 0,017 V_{\text{л}1} \cdot V_{\text{л}2}; \quad (6)$$

- площади конфликтных зон, образующихся при пересечении левоповоротного направления и прямого направления пересекаемого потока,

$$S_{\Sigma} = 0,017 V_{\text{л}}^2 + 0,118 V_{\text{п}} - 0,851 V_{\text{л}} + 17,02; \quad (7)$$

- площади конфликтных зон, образующихся при пересечении левоповоротного направления и прямого направления встречного потока,

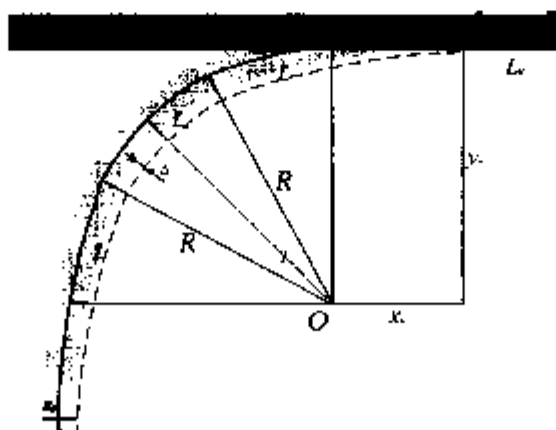


Рисунок 1 — Схема конфликтной зоны слияния на пересечении автомобильных дорог

$$S_{\text{кз}} = 1,062 V - 26,12; \quad (8)$$

- площади конфликтной зоны, образующиеся при пересечении прямых направлений,

$$S_{\text{кз}} = (0,015 V_{\text{гл}} + b_{\text{а}} + 0,3)(0,015 V_{\text{вт}} + b_{\text{а}} + 0,3); \quad (9)$$

- площади конфликтной зоны, образующиеся при маневре отклонения,

$$S_{\text{кз}} = 0,359 V^2 - 2,99 V, \quad (10)$$

где $S_{\text{кз}}$ — площадь конфликтной зоны;

$V_{\text{гл}}$ — скорость по главной дороге;

$V_{\text{вт}}$ — скорость по второстепенной дороге;

$b_{\text{а}}$ — динамический габарит транспортного средства.

Кроме того, при скоростях главного и второстепенного потоков, превышающих 40 км/ч, выявлены наложения конфликтных зон друг на друга. Величина площадей наложения конфликтных зон пересечения левоповоротного направления с прямыми потоками и конфликтной зоны пересечения левоповоротных направлений может быть определена по формуле

$$S_{\text{кз}} = 0,041(V_{\text{гл}}^2 + V_{\text{вт}}^2) - 0,022 V_{\text{гл}} V_{\text{вт}} - 2,153(V_{\text{гл}} + V_{\text{вт}})$$

при $V_{\text{гл}} > 40$ км/ч и $V_{\text{вт}} > 40$ км/ч. (11)

Вторым немаловажным параметром конфликтных зон является время нахождения в них ТС. Именно этот промежуток времени можно считать безопасным при расчетах пропускной способности. Исследования позволили установить следующие зависимости:

- время нахождения ТС при движении прямо в конфликтных зонах

$$\Delta t_{\text{кз}} = 0,013 V_{\text{гл}}^2 + 0,005 V_{\text{вт}}^2 - 0,472 V_{\text{гл}} + 0,298 V_{\text{вт}} -$$

$$- 0,017 V_{\text{гл}} \cdot V_{\text{вт}} + 9,9; \quad (12)$$

- время нахождения ТС в конфликтных зонах при движении направо

$$\Delta t_{\text{кз}} = 0,01 V_{\text{гл}}^2 + 0,006 V_{\text{вт}}^2 - 0,271 V_{\text{гл}} + 0,247 V_{\text{вт}} -$$

$$- 0,016 V_{\text{гл}} \cdot V_{\text{вт}} + 4; \quad (13)$$

- время нахождения ТС в конфликтных зонах при движении налево

$$\Delta t_{\text{кз}} = 0,015 V_{\text{гл}}^2 + 0,006 V_{\text{вт}}^2 - 0,591 V_{\text{гл}} + 0,246 V_{\text{вт}} -$$

$$- 0,017 V_{\text{гл}} \cdot V_{\text{вт}} + 12,93, \quad (14)$$

где $\Delta t_{\text{кз}}$ — время нахождения ТС в конфликтной зоне;

$V_{\text{гл}}$ — скорость движения рассматриваемого ТС;

$V_{\text{вт}}$ — скорость движения ТС по пересекаемой дороге.

Исследования показали, что $S_{\text{кз}}$ и $\Delta t_{\text{кз}}$ принимают минимальные значения при равенстве скоростей пересекающихся потоков. Данное утверждение хорошо иллюстрируется рисунками 2 и 3:

Также было проведено исследование параметров конфликтных зон при канализированных пересечениях. По сравнению с необорудованным пересечением выявлены следующие изменения (таблица 1).

Анализ таблицы показывает, что при применении переходно-скоростных полос создаются более удобные условия для слияния транспортных потоков и, следовательно, уменьшается $\Delta t_{\text{кз}}$, что способствует более быстрому проезду автомобилями пересечения и увеличению пропускной способности.

При снижении площади конфликтных зон и уменьшении или ликвидации наложений этих зон, а также

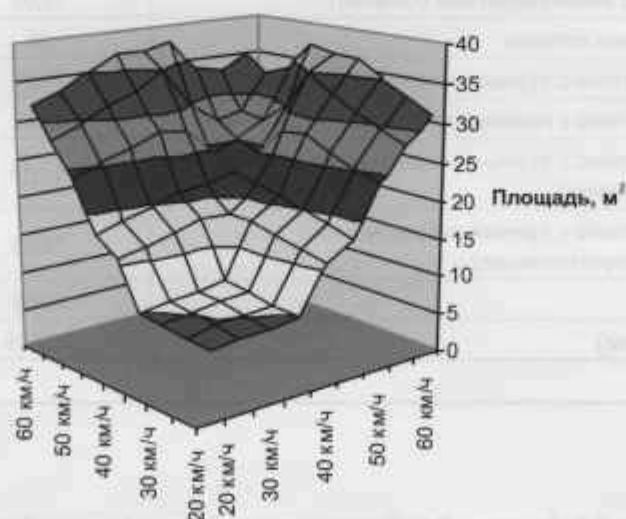


Рисунок 2 — График изменения площади конфликтной зоны пересечения левоповоротных направлений в зависимости от скорости

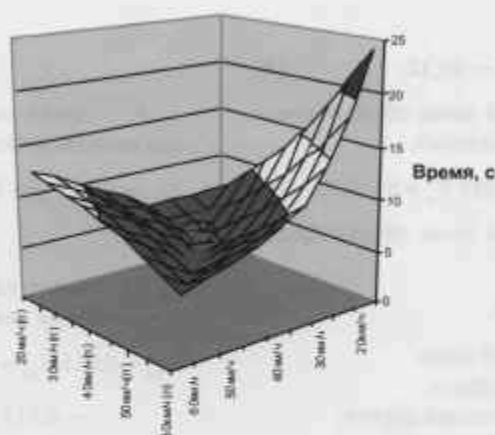


Рисунок 3 — График времени нахождения в конфликтных зонах при движении прямо

при уменьшении времени нахождения транспортных средств на них увеличивается уровень безопасности дорожного движения на пересечении. С помощью выявленных зависимостей параметров конфликтных зон от скоростей главного и второстепенного потока можно оценить уровень безопасности дорожного движения на проектируемых пересечениях и выполнить

планировку пересечений и примыканий с условием минимизации площадей конфликтных зон и времени нахождения ТС на них. Также становится возможной оценка опасности эксплуатируемых пересечений по исследованным параметрам с целью регулирования оптимальных скоростных режимов главного и второстепенного транспортного потока.

Таблица 1 — Сравнение площадей конфликтных зон на перекрестках с использованием и без использования переходно-скоростных полос

Конфликтная зона	Без п/с полосами, м ²	С п/с полосами, м ²
Слияние правоповоротного с прямым	150,48	30,7
Слияние правоповоротного с левоповоротным (второстепенное)	26,43	15,06
Слияние правоповоротного с левоповоротным (главное)	15,06	0
Пересечение левоповоротных потоков	28	28
Пересечение левоповоротного с прямым встречным (главное)	24,26	24,26
Пересечение левоповоротного с прямым встречным (второстепенное)	13,21	13,21
Пересечение левоповоротного с прямым направлением пересекаемого потока (главное)	12,07	12,07
Пересечение левоповоротного с прямым направлением пересекаемого потока (второстепенное)	26,51	26,51
Отклонение (главное)	237,9	237,9
Отклонение (второстепенное)	107,35	107,35

Литература

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В., Замахеев М.С. Проектирование автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1970. — 400 с.
2. Клиновштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. — М.: Транспорт, 2001. — 247 с.



МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Безопасность движения поездов — часть социально-экономической системы ОАО «Российские железные дороги», ее подсистема. Она представляет собой ядро, которое включает два элемента: путь и поезд, реализующих перевозочный процесс. Путь включает собственно железнодорожный путь со всеми обустройствами и контак-

тную сеть, поезд — локомотив со всеми обустройствами, систему человек — машина, напольные локомотивные устройства. Далее ядро системы безопасности будем называть «колесо — рельс».

Безопасность функционирования ядра обеспечивается рядом подсистем. К ним относятся нормативно-правовая, организационно-распорядительная, организационно-технологическая, техническая подсистемы, которые условно расположены в ряд, отражающий последовательность управленческого воздействия элементов системы друг на друга (связи 1 — 2, 2 — 3 и др., рисунок 1) и на ядро «колесо — рельс» (связи 1 — 5, 2 — 5 и др.) [1].

Предложенная логистическая цепочка отражает структуру влияния подсистем на функционирование ядра. Воспользуемся ею для вычисления уровня безопасности на примере текущего содержания пути.

Под безопасностью кого-либо (чего-либо) понимается состояние, в котором этот объект находится в положении защищенности [2—4]. Основываясь на определении, приведенном в [2], под опасным движением поезда примем состояние движения поезда, соответствующее неработоспособному, опасному по параметрам движения поезда, состоянию ядра «колесо — рельс».



Василий Михайлович Сай,
д-р техн. наук., проректор по научной
работе (УргУПС)



Дмитрий Алексеевич Бруснянин,
инженер (УргУПС).

Дадим свое определение термина «безопасность» для каждой подсистемы логистической цепочки. Безопасность любого элемента подсистемы (рисунок 1) — это свойство элемента (или подсистемы в целом) в процессе эксплуатации не переводить ядро в опасное состояние.

Под функциональной безопасностью любого элемента подсистемы будем понимать свойство этого элемента выполнять возложенные на него функции без нарушения требований технологического процесса за расчетное время. Так, например, под функциональной безопасностью устройства контроля надо понимать свойство этого устройства выполнять возложенную функцию контроля без опасных отказов за расчетное время. Под функциональной безопасностью бригады (элемент технической подсистемы) будем понимать свойство бригады выполнять работы в соответствии с требованиями утвержденного технологического процесса.

Безопасность движения поездов зависит от функциональной безопасности. Особое место занимают нарушения технологии производства работ в услови-

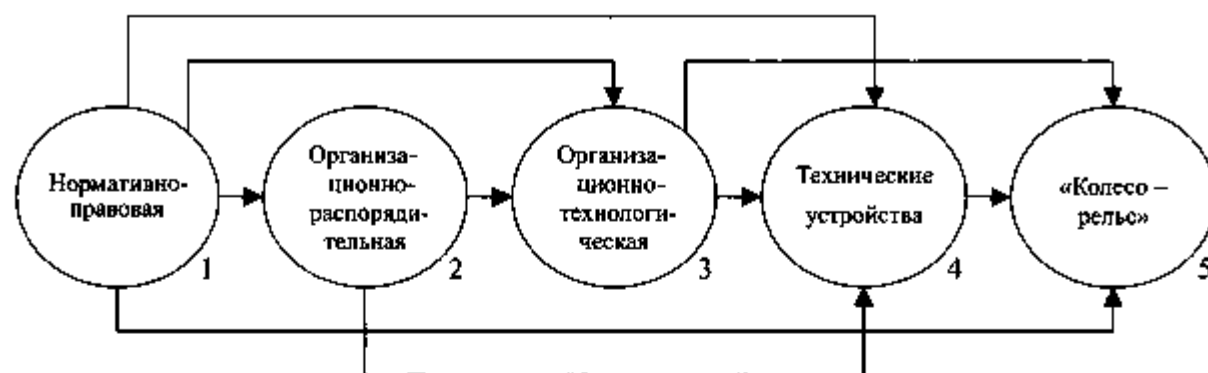


Рисунок 1 — Пример логистической цепочки влияния элементов системы безопасности на ядро

ях движения поездов. Примером может служить сход, произошедший в 2004 г. на Свердловской железной дороге. Причиной схода явилось нарушение технологии выполнения работ. Бригада одновременно расшила количество шпал свыше установленного технологическим процессом. При этом место производства работ не было ограждено.

Управление функциональной безопасностью предполагает использование ряда качественных и количественных величин, характеризующих ее уровень в каждом конкретном хозяйстве.

Введем показатель функциональной безопасности $K_m^{(f)}$, под которым будем понимать вероятность того, что ядро «колесо — рельс» не перейдет в опасное состояние из-за невыполнения элементом технической подсистемы возложенных на него функций. Здесь верхним индексом f обозначена функция, возложенная на элемент технической подсистемы, нижним индексом m — номер элемента исследуемого хозяйства. Так, на текущем содержании пути можно выделить следующие элементы: $m=1$ — рельсовое хозяйство; $m=2$ — шпальное; $m=3$ — балластное и т. д.

Рассмотрим показатель функциональной безопасности на примере рельсового хозяйства как элемента текущего содержания пути $K_1^{(f)}$. В процессе эксплуатации устройств ядра могут произойти следующие случаи браков. Первый случай брака — излом рельса. Излом возможен при отказе устройства контроля или ошибке технического персонала в процессе контроля.

Введем показатель функциональной безопасности устройств контроля. Присвоим ему индекс $f=1$. Тогда под $K_1^{(1)}$ будем понимать вероятность того, что ядро «колесо — рельс» не перейдет в опасное работоспособное состояние из-за отказа такого устройства.

Второй случай брака — нарушение технологического процесса при смене острodefектного рель-

са. Этот случай брака возможен вследствие опасной ошибки технического персонала. Введем показатель функциональной безопасности, которому соответствует индекс $f=2$. Тогда под $K_1^{(2)}$ будем понимать вероятность того, что ядро «колесо — рельс» не перейдет в опасное работоспособное состояние при смене рельса из-за опасных ошибок технического персонала.

Уровень функциональной безопасности при контроле рельсов зависит от «выхода» острodefектных рельсов (ОДР), который характеризуется некоторой интенсивностью λ . Под интенсивностью «выхода» острodefектных рельсов будем понимать количество ОДР на участке за фиксированный промежуток времени между двумя проверками.

Возможны два потока ОДР, способных перевести ядро в опасное состояние. Первый поток — это острodefектные рельсы, пропущенные при предыдущем контроле (интенсивность выхода λ_1), второй поток включает рельсы, выход которых произошел в период между проверками (интенсивность выхода λ_2).

Перевод ядра в первоначальное неопасное работоспособное состояние обеспечивает поток восстановлений. Он, так же как и два предыдущих потока, характеризуется интенсивностью μ , под которой будем понимать количество сменяемых рельсов за фиксированный промежуток времени. В связи с тем что время с момента обнаружения ОДР до его смены зависит от множества факторов — продолжительности подготовительных работ, времени обнаружения острodefектного рельса и др., в дальнейших расчетах примем $\mu = 1$ рельс/смену.

Ядро в процессе эксплуатации его элементов может находиться в следующих состояниях:

0 — на участке нет ОДР;

1 — на участке обнаружен острodefектный рельс с вероятностью P_1 (интенсивность перехода из нулевого в первое состояние — $P_1 \lambda_1$);

2 — на участке пропущен острodefектный рельс с вероятностью $Q_1 = 1 - P_1$ (интенсивность «выхода» λ_1). Интенсивность перехода ядра из нулевого состояния во второе — $Q_1 \lambda_1$;

3 — на участке обнаружен острodefектный рельс (интенсивность «выхода» ОДР λ_2) с вероятностью P_2 ;

4 — произошел «выход» ОДР с интенсивностью, который пропущен с вероятностью $Q_2 = 1 - P_2$;

5 — на участке выявлены все острodefектные рельсы. В это состояние переводят следующие потоки: $P_1 \lambda_2, P_1 \lambda_1, P_2 \lambda_2$;

6 — острodefектный рельс с интенсивностью λ_2 обнаружен при повторном контроле с вероятностью P_2 ;

7 — на участке пропущен острodefектный рельс с интенсивностью λ_1 при повторном контроле;

8 — на участке имеется пропущенный ОДР первого или второго потока;

9 — все ОДР пропущены.

На рисунке 2 представлена графовая модель состояний ядра.

Для того чтобы не загромождать рисунок, связи 5 — 1, 3 — 5 не указаны.

Система уравнений, описывающая граф, имеет следующий вид [4, 5]:

$$-(P_1 \lambda_1 + Q_1 \lambda_1 + P_2 \lambda_1 + Q_2 \lambda_1) p_1 + \mu \cdot p_0 + \mu \cdot p_2 + \mu \cdot p_3 = 0$$

$$-(P_1 \lambda_1 + Q_1 \lambda_1 + \mu) p_2 + P_1 \lambda_1 \cdot p_1 = 0$$

$$-(P_2 \lambda_2 + Q_2 \lambda_2) p_3 + Q_2 \lambda_2 \cdot p_0 = 0$$

$$-(P_2 \lambda_2 + Q_2 \lambda_2 + \mu) p_4 + P_2 \lambda_2 \cdot p_3 = 0$$

$$-(P_1 \lambda_1 + Q_1 \lambda_1) p_5 + Q_1 \lambda_1 \cdot p_1 = 0$$

$$-\mu \cdot p_5 + P_1 \lambda_2 \cdot p_1 + P_1 \lambda_1 \cdot p_2 + P_2 \lambda_2 \cdot p_3 = 0$$

$$-(P_2 \lambda_2 + Q_2 \lambda_2) p_6 + P_2 \lambda_2 \cdot p_3 = 0$$

$$-(P_2 \lambda_2 + Q_2 \lambda_2) p_7 + Q_2 \lambda_2 \cdot p_3 = 0$$

$$-p_8 + Q_1 \lambda_1 \cdot p_1 + P_1 \lambda_1 \cdot p_2 + Q_1 \lambda_2 \cdot p_3 + Q_2 \lambda_1 \cdot p_4 + P_2 \lambda_1 \cdot p_5 = 0$$

$$-p_9 + Q_2 \lambda_2 \cdot p_4 + Q_2 \lambda_2 \cdot p_7 = 0$$

$$\sum_{i=0}^9 p_i = 1.$$

Опасными состояниями ядра являются состояния 8, 9 (рисунок 2). Показатель функциональной безопасности, обеспечиваемый устройствами контроля при наличии q -го дестабилизирующего фактора,

$$K_{1,q}^{(n)} = p_8 + p_9. \quad (1)$$

Определим показатель безопасности при наличии двух дестабилизирующих факторов, к которым относятся опасные ошибки технического персонала ($q = 1$) и опасные отказы самих устройств контроля ($q = 2$).

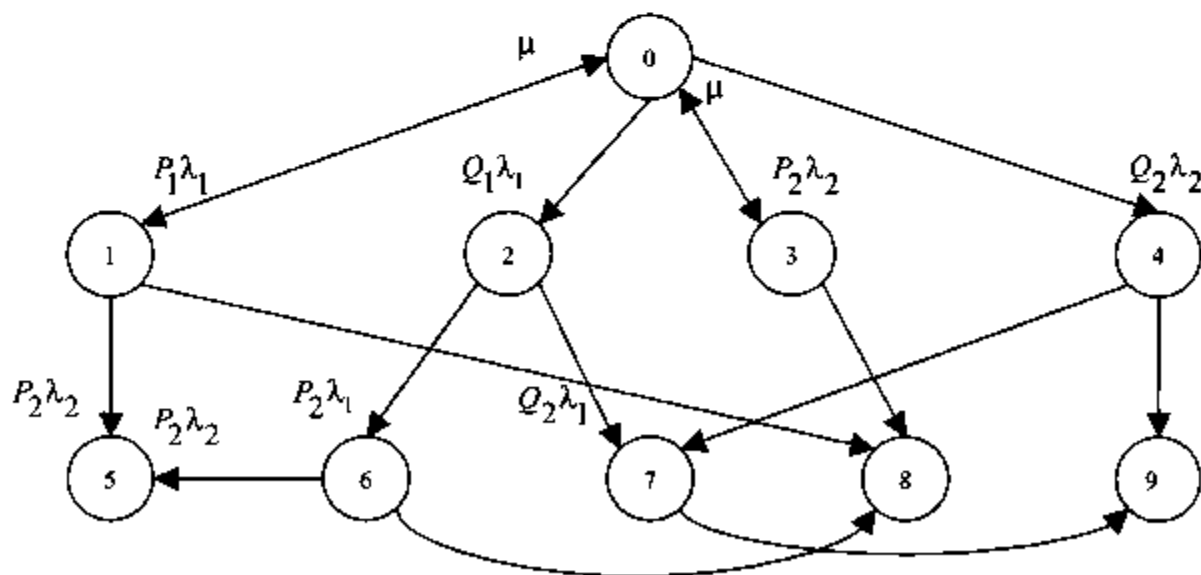


Рисунок 2 — Графовая модель состояний ядра

Показатель функциональной безопасности при наличии опасных ошибок технического персонала

$$K'' = \frac{0,27Q_{11}Q_{12}\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \mu)(P_{11} - Q_{11}) + A + B}{\lambda_1\lambda_2[(\lambda_1 + \mu)(\lambda_1 + \lambda_2)(1 - Q_{11}\lambda_1) - (P_{11}\lambda_1 + P_{12}\lambda_2)(1 + Q_{12}\lambda_2)]} + \frac{C}{E}, \quad (2)$$

где Q_{11} — вероятность пропуска ОДР первым оператором-дефектоскопистом;

Q_{12} — то же вторым оператором-дефектоскопистом;

P_{11} — вероятность того, что острodefектный рельс будет выявлен первым оператором-дефектоскопистом, $P_{11} = 1 - Q_{11}$;

P_{12} — вероятность того, что острodefектный рельс будет выявлен вторым оператором-дефектоскопистом, $P_{12} = 1 - Q_{12}$;

$$A = 0,976Q_{12}\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \mu) \left[0,277 + Q_{11}\lambda_1 + \frac{P_{11}\lambda_1^2 - 0,277\lambda_1\lambda_2P_{11} + 0,722P_{11}\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 + \mu} - (\lambda_1 + \lambda_2)\lambda_2 \right]$$

$$B = 0,025\lambda_1\lambda_2(P_{12}\lambda_1 + P_{11}\lambda_2);$$

$$C = 0,025Q_{12}\lambda_1^2[(\lambda_1 + \mu)(\lambda_1 + \lambda_2) - P_{11}\lambda_1 - P_{12}\lambda_2];$$

$$E = \lambda_1\lambda_2[(\lambda_1 + \mu)(\lambda_1 + \lambda_2) - P_{11}\lambda_1 - P_{12}\lambda_2].$$

Показатель функциональной безопасности, обеспечиваемой устройствами контроля при наличии опасных отказов,

$$K''' = \frac{0,27Q_{21}Q_{22}\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \mu)(P_{21} - Q_{21}) + A + B}{\lambda_1\lambda_2[(\lambda_1 + \mu)(\lambda_1 + \lambda_2)(1 - Q_{21}\lambda_1) - (P_{21}\lambda_1 + P_{22}\lambda_2)(1 + Q_{22}\lambda_2)]} + \frac{C}{E}, \quad (3)$$

где Q_{21} — вероятность пропуска острodefектного рельса первым контролирующим устройством;

Q_{22} — вероятность пропуска острodefектного рельса вторым контролирующим устройством;

P_{21}, P_{22} — вероятность того, что острodefектный рельс будет выявлен первым и вторым устройством соответственно.

Коэффициенты A, B, C, E определяются аналогичным образом.

Показатель функциональной безопасности вычисляется по формуле

$$K_1^{(1)} = K_{L1}^{(1)}K_{1,2}^{(1)}, \quad (4)$$

Далее определим показатель функциональной безопасности при смене острodefектного рельса $K_1^{(2)}$. В общем случае $K_1^{(2)}$ представляет собой относительную частоту появления брака при производстве работ. Тогда

$$K_1^{(2)} = \frac{N_{\text{брак}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{общ}}$ — общее число выполненных работ;

$N_{\text{брак}}$ — число технологических браков при производстве работ. Еще раз отметим, что случай технологического брака есть нарушение технологии производства работ.

В предлагаемой методике элементарным событием является выполнение бригадой комплекса работ по смене дефектного элемента в соответствии с требованиями технологического процесса.

Для учета соответствия выполненных работ требованиям технической документации введем коэффициент $k_1^{(2)}$. В дальнейших исследованиях $k_1^{(2)}$ будем называть коэффициентом соответствия выполненного комплекса работ требованиям технологического процесса (или коэффициентом соответствия). Он представляет собой отношение затрат труда по реализованным технологическим операциям к затратам труда по технологическим операциям, которые должны быть реализованы в установленное время (например, в «окно»). Тогда

$$k_1^{(2)} = \frac{T}{T^{\text{норм}}}, \quad (6)$$

где T — затраты труда по реализованным технологическим операциям, выполненным бригадой к фиксированному времени, например к окончанию «окна», в соответствии с технологическим процессом, чел-мин;

$T^{\text{норм}}$ — затраты труда по технологическим операциям (по всему технологическому процессу), которые должны быть реализованы в установленное время (например, в «окно»).

Рассмотрим две группы факторов, влияющих на $k_1^{(2)}$:

1. Характеристика бригады (соответствие состава и разрядности бригады нормам и требованиям действующего технологического процесса).

2. Характеристика руководителя работ. Она включает в себя наличие у руководителя опыта управленческой работы, его отношение к соблюдению требований технологического процесса, организаторские способности.

Именно эти группы факторов необходимо в первую очередь учитывать при вычислении уровня обеспечения функциональной безопасности бригадой как элемента технической подсистемы.



В общем случае при наличии факторов первой группы величина $k_1^{(2)}$ будет находиться в следующем интервале. Пусть в момент производства работ бригада по текущему содержанию пути не укомплектована нормативной численностью монтеров пути. Тогда за определенный период времени t , который установлен технологическим процессом, бригада не успевает выполнить весь комплекс работ, то есть суммарные затраты труда по выполненным элементарным операциям T не достигают нормативного значения. На основании выражения (6) можно утверждать, что коэффициент соответствия $k_1^{(2)}$ будет находиться в интервале от 0 до 1.

Назовем элементарное событие критическим, если затраты труда по реализованным технологическим операциям, выполненные бригадой к фиксированному времени, меньше суммарных трудозатрат по технологическим операциям всего технологического процесса, или

$$0 < k_1^{(2)} < 1. \quad (7)$$

Таким образом, методика вычисления показателя функциональной безопасности при смене остродвигательного рельса заключается в определении коэффициента соответствия выполненного комплекса работ требованиям технической документации $k_1^{(2)}$.

Рассмотрим зависимость коэффициента соответствия $k_1^{(2)}$ от первой группы факторов на примере укомплектованности бригады по текущему содержанию пути.

Расчет $k_1^{(2)}$ при смене рельса в зависимости от укомплектованности бригады заключается в следующем. Выделим в основном периоде процесса смены рельса три последовательных потока работ, а в каждом потоке по две технологические операции. Первый поток включает технологические операции, выполняемые до самой смены рельса: расшивка рельса и разбалчивание стыков. Второй поток включает операции по сдвигу старого и надежке нового рельса, третий — завершающие работы, к которым относится зашивка пути и сбалчивание стыков.

Обозначим поток индексом i , где $i \in [1, 3]$, а технологическую операцию — индексом j , где $j \in [1, 2]$. Каждая технологическая операция выполняется двумя звеньями, включающими в себя монтеров пути с номерами 1 — 4 и 5 — 14 соответственно.

Выразим время, необходимое для выполнения первой операции первому и второму звену, с учетом количества монтеров пути

$$t_{1,1} = \frac{T_{1,1}}{n_1}, \quad t_{1,2} = \frac{T_{1,2}}{n_2} \quad (8)$$

где n_j — количество монтеров пути, выполняющих операцию $j = 1$;

n_2 — количество монтеров пути, выполняющих операцию $j = 2$;

T_{ij} — затраты труда по всем элементарным операциям для выполнения j -й операции i -го потока. При этом единицей измерения этого показателя является чел.-минута, а суммарная величина j -й операции определяется по технологическому процессу.

Согласно технологическому процессу, первое и второе звенья выполняют работы за промежутки времени $t_{1,1}$ и $t_{1,2}$. В силу своей специфики первая работа является лимитирующей. Для параллельности потоков выполнения работ необходимо соблюдать равенство $t_{1,1} = t_{1,2}$ или

$$\frac{T_{1,1}}{n_1} = \frac{T_{1,2}}{n_2} \quad (9)$$

Допустим, при неуккомплектованности бригады состав первого звена в силу выполняемой им работы соответствует технологическому процессу. Тогда первое звено выполнит работы за нормативное время и приступит к работам, выполняемым вторым звеном. Затраты труда при выполнении элементарных операций вторым звеном в момент завершения работ первым составят

$$T_{1,1} = \frac{T_{1,1}}{n_1} \cdot n_1 \quad (10)$$

Еще раз подчеркнем, что $T_{1,2}$ — это суммарные трудозатраты, определяемые по нормам за отработанное время, то есть реализованные в соответствии с технологическим процессом трудозатраты второго звена в момент, когда первое звено заканчивает работы.

Вычислим задержку по времени, в течение которой первое и второе звенья выполняют 2-ю операцию первого потока. В этом случае второе звено доукомплектовывается за счет первого звена. Тогда

$$\Delta t_{1,1} = \frac{T_{1,1}^{(n)} - T_{1,2}}{n} \quad (11)$$

где $T_{1,1}^{(n)}$ — суммарные затраты труда по технологическому процессу на выполнение второй операции первого потока;

n — количество монтеров пути в бригаде $n = n_1 + n_2$.

Безусловно, максимальное значение n в выражении (11) соответствует нормативному составу второго звена, что достигается при наличии в бригаде не менее десяти человек.

В общем виде время выполнения первого потока

$$t = t_{1,1} + \Delta t_{1,1} \quad (12)$$

Время выполнения элементарных операций бригадой в соответствии с технологическим процессом для второго потока

$$t_i = \frac{T_i}{n} \quad (13)$$

Рассмотрим заключительный поток работ, $i = 3$. Трудозатраты, реализуемые бригадой к моменту окончания работ,

$$T_3 = \sum_{j=1}^2 [t_j^{(n)} - (t_1 + t_2)] n_j \quad (14)$$

где $t_j^{(n)}$ — время выполнения работы по одиночной смене рельса в соответствии с технологическим процессом, мин.

Тогда коэффициент соответствия выполненного комплекса работ технологическому процессу при одиночной смене рельса

$$k_1^{(12)} = \frac{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 T_{i,j}}{T^{(12)}} \quad (15)$$

Следующей характеристикой функциональной безопасности является несоответствие разрядности бригады нормативной d . Трудозатраты, которые могут быть реализованы при несоответствии разрядности бригады: $T_d = T \cdot d$. Тогда $d = \frac{R_1}{R_1^{(n)}}$, где

R_1 — фактическая средняя разрядность бригады, $R_1^{(n)}$ — нормативная средняя разрядность бригады.

Средняя разрядность бригады вычисляется:

$$R_1 = \frac{\sum r_i n_i}{\sum n_i}, \quad R_1^{(n)} = \frac{\sum r_i^{(n)} n_i^{(n)}}{\sum n_i^{(n)}} \quad (16)$$

где r_i — i -й разряд монтеров пути;

$r_i^{(n)}$ — i -й разряд монтеров пути в соответствии с технологическим процессом;

$n_i^{(n)}$ — нормативное количество человек с i -м разрядом;

n_i — фактическое количество человек с соответствующим разрядом.

Тогда коэффициент соответствия с учетом средней разрядности бригады приобретает следующий вид:

$$k_1^{(12)} = \frac{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 T_{i,j} \cdot d}{T^{(12)}} \quad (17)$$

Далее рассмотрим влияние руководителя работ, его способность повышать, демпфировать [1] уровень функциональной безопасности, влияющей на безопасность движения поездов. Для математической формализации влияния руководителя работ на функциональную безопасность введем новую характеристику — коэффициент демпфирования χ . Этот коэффициент представляет собой интегральный показатель, который учитывает наличие опыта управления руководителем, его отношение к соблюдению требований технологического процесса, способность

принимать обоснованные решения, а также некоторые социально-психологические аспекты.

При математическом моделировании χ будем руководствоваться следующими соображениями. Руководитель работ стремится более качественно и с меньшими потерями времени выполнять работы. Это стремление объясняется естественным желанием повысить показатели своей деятельности и деятельности бригады. В случае брака в работе он несет материальную и даже уголовную ответственность. При неуклюжести бригады по составу или разрядности руководитель, основываясь на личном опыте организации работ, стремится выполнить работы без нарушения технологического процесса. В некоторых случаях это возможно, так как действующие нормы времени выполнения технологических операций являются среднесетевыми, а его опыт и умение могут частично компенсировать низкую разрядность бригады. Таким образом, руководитель за счет умелой организации работ может демпфировать (повышать) уровень функциональной безопасности.

Представим коэффициент демпфирования функциональной безопасности руководителем работ в случае неуклюжести бригады следующим образом:

$$\chi_1 = \frac{t_{\text{расч}}}{t_{\text{расч}} - \Delta t} \quad (18)$$

где $t_{\text{расч}}$ — расчетное время выполнения работы. Оно определяется из отношения $t_{\text{расч}} = \frac{T}{n}$;

n — фактический состав бригады;

t — время, на которое может произойти сокращение продолжительности основной операции. В первом приближении можно предположить $t = s \cdot t_{\text{расч}}$, где s — параметр, характеризующий организационные способности руководителя работ. Тогда:

$$\chi_1 = \left(1 - \frac{s \cdot t_{\text{расч}}}{t_{\text{расч}}} \right) \quad (19)$$

или

$$\chi_1 = \left(1 - \frac{s \cdot t_{\text{расч}} \cdot n}{T} \right) \quad (20)$$

Отметим, что коэффициент демпфирования χ_1 имеет смысл рассматривать при условии $t_{\text{расч}} > t_{\text{норм}}$. Данное условие соблюдается при несоответствии состава бригады требованиям технологического процесса.

Безусловно, возможности руководителя работ влиять на функциональную безопасность зависят от численности бригады. Формализуем вышесказанное следующим образом: $S_d = s \cdot \frac{n}{n_{\text{норм}}}$, где



$n_{\text{тех}}$ — состав бригады в соответствии с технологическим процессом.

Тогда выражение для определения коэффициента демпфирования приобретает следующий вид:

$$\chi_1 = \left(1 - \frac{s \cdot t_{\text{тех}} \cdot n^2}{T n_{\text{тех}}} \right)^{-1} \quad (21)$$

Выделим пять категорий руководителей работ в зависимости от их влияния на функциональную безопасность $v = 1 \dots 5$. При этом руководители, которые относятся к первой категории, наилучшим образом обеспечивают функциональную безопасность.

Для определения s в зависимости от категории руководителя зададимся функцией экспоненциального вида. Выбор функции данного вида объясняется следующим. Во-первых, назначение работника на руководящую должность уже предполагает наличие опыта организации работ, то есть $s \neq 0$. Во-вторых, в начальный период работы на руководящей должности интенсивность приобретения опыта организации работ у сотрудника высокая (функция s имеет выпуклый вид). В последующей деятельности интенсивность накопления опыта у руководителя снижается, то есть функция асимптотически приближается к некоторому насыщению. Введем ограничение $s = 0 \dots 0,1$, то есть самый опытный руководитель не может сократить выполнение технологической операции больше чем на 10%. Тогда

$$s(v) = 0,1 \exp \left(2,55 \left(2 - \frac{1}{v} \right) \right) \quad (22)$$

$\chi_{1,v}$

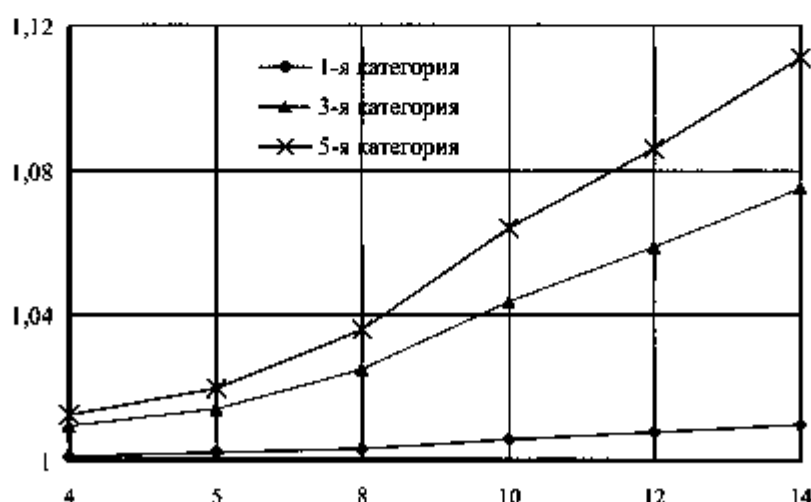


Рисунок 3 — Зависимость величины демпфирования по составу от укомплектованности бригады и категории руководителя

где v — номер категории руководителя.

Параметр s является средней величиной для конкретной категории руководителя работ. При вычислении функциональной безопасности значение s для каждого конкретного руководителя необходимо определять как случайную величину, так как она зависит от психологического состояния руководителя, которое, в свою очередь, определяется множеством факторов (социальных, экономических и т. д.). Отметим, что каждой категории руководителей соответствует свой закон распределения.

Покажем на численном примере изменение коэффициента демпфирования в зависимости от укомплектованности бригады для первой, третьей, пятой категории руководителя при одиночной смене рельса в «окно». Исходные данные в соответствии с технологическим процессом следующие: $t_{\text{тех}} = 18,5$ мин, s вычисляется по формуле (22), нормативная численность $n_{\text{норм}} = 14$ чел. Тогда

$$\chi_{1,v} = \left(1 - \frac{1,32 \cdot s \cdot n}{t_{\text{тех}}} \right)^{-1} \quad (23)$$

Результаты численного примера зависимости величины демпфирования от укомплектованности бригады при нормативной численности 14 человек показаны на рисунке 3.

Отметим, что функция на отрезке $[4,10]$ имеет резко выраженный вогнутый вид, так как задержка по времени Δt увеличивается (состав второго звена уже не соответствует нормативному после окончания работ первым звеном).



На основании выполненных вычислений можно сделать следующие выводы. Во-первых, чем больше несоответствие состава бригады, выполняющей работы по одиночной смене рельса, его нормативному значению, тем меньше демпфирование функциональной безопасности руководителем.

Во-вторых, при низкой укомплектованности бригады даже опытный руководитель не сможет выполнить работы в установленные сроки.

Отмеченные выводы подтверждают справедливость наших предположений при моделировании коэффициента функциональной безопасности $\chi_{1,1}$.

Далее рассмотрим коэффициент демпфирования функциональной безопасности руководителем работ в случае несоответствия среднего разряда бригады нормативному значению $\chi_{2,1}$.

Руководитель работ может частично компенсировать несоответствие среднего разряда бригады за счет организационно-распорядительных мероприятий, основанных на его личном опыте и знаниях.

При моделировании $\chi_{2,1}$ будем руководствоваться следующими соображениями. Пусть средний разряд монтеров пути, выполняющих элементарные операции с суммарными трудозатратами T , не соответствует нормативному значению на величину ΔR , где $\Delta R = R_1^{(m)} - R_1$. Тогда руководитель работ может компенсировать (демповировать) несоответствие среднего разряда ΔR при выполнении элементарных операций на величину трудозатрат, равную ΔT_j :

$$\Delta T_j = T^{(m)} (1+s). \quad (24)$$

Представим коэффициент демпфирования функциональной безопасности руководителем работ ка-

тегории v при несоответствии разрядности бригады следующим образом:

$$\chi_{2,1} = \frac{T^{(m)} \frac{R_1}{R_1^{(m)}} + \Delta T_j}{T^{(m)} \frac{R_1}{R_1^{(m)}}} \quad (25)$$

или

$$\chi_{2,1} = 1 + \frac{R_1^{(m)}(1+s)}{R_1}. \quad (26)$$

В итоге коэффициент соответствия выполненного комплекса работ требованиям технологического процесса при одиночной смене рельса для руководителя категории v

$$k_{1,v}^{(2)} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 T_v \frac{R_1}{R_1^{(m)}} \chi_{1,1} \chi_{2,1}}{T^{(1+2)}} \quad (27)$$

Общее выражение для вычисления показателя функциональной безопасности по рельсовому хозяйству как элемента ядра

$$K_1 = \overline{K_1^{(1)}} \overline{K_1^{(2)}} + K_1^{(1)} \overline{K_1^{(2)}} + \overline{K_1^{(1)}} K_1^{(2)}. \quad (28)$$

В заключение необходимо отметить следующее. Функциональная безопасность как составляющая часть системы безопасности может быть математически формализована и доведена до практических вычислений. Каждый руководитель работ способен повышать уровень функциональной безопасности при некоторых отступлениях от технологических процессов в силу своего опыта и знаний.

Настоящая методика направлена на выработку вариантов управленческих решений в области организации работ с целью повышения безопасности движения поездов.

Литература

1. Бруснянин Д.А. Структурирование системы безопасности движения поездов и моделирование процессов взаимодействия между ее элементами: Препринт, 2005. — 50 с.
2. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учеб. для вузов. — М.: ВНИИТИ РАН, 1999. — 332 с.
3. ГОСТ Р 22.2.08 — 96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность движения поездов. Термины и определения.
4. Розенберг Е.Н., Шубинский И.Б. Методы и модели функциональной безопасности технических систем: Монография. — М.: ВНИИАС, 2004. — 188 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: Учеб. для студ. вузов / 2-е изд. — М.: Высш. шк., 2001. — 208 с.

ОБ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ



Предлагается развивать методы экспериментального исследования деформаций и напряжений, возникающих в деталях машин и в металлоконструкциях.

Недавно произошедшая катастрофа вертолета МИ-8 под Хабаровском по причине разрушения редуктора хвостового винта в очередной раз обязывает обратить пристальное внимание на подобные факты инженеров, ученых и всех других лиц, имеющих отношение к проблематике, связанной с диагностикой деталей и металлоконструкций машин с целью определения их остаточного ресурса. За последние полтора года произошло 16 падений вертолетов МИ-8, основная причина — выработанный ресурс деталей, узлов или других элементов конструкции. Вообще же из доступной для анализа информации, которая, в частности, представлена в сети INTERNET по адресам <http://rus.air.ru/index.html> и <http://airtroubles.boom.ru/index.html>, основной причиной авиакатастроф является человеческий фактор (ошибки пилотов, диспетчеров и др.). В то же время существуют весьма показательные факты крушения самолетов по причине усталостного разрушения. Так, одной из недавних является трагедия, случившаяся 18 марта 1997 года. В этот день в трех километрах от Черкесска потерпел крушение самолет Ан-24Б, выполнявший рейс Ставрополь — Трабзон (Турция). Комиссия Межгосударственного авиационного комитета (МАК) установила, что катастрофа произошла из-за разрушения хвостовой части фюзеляжа в полете, вызванного «накоплением коррозионно-усталостных повреждений конструкции в процессе эксплуатации». А также отмечено, что самолету подлежали ресурс и срок службы без тщательного исследования техники. Не только эти машины терпят крушение по указанной причине, существуют подобные факты и для других образцов техники. Естественно, что эта проблема особенно актуальна для машин, эксплуатация которых обладает высокой ответственностью с точки зрения представляющей опасности для жизни людей при их поломке. Ожидаемый или установленный нормативно-технической документацией срок службы машин отличается от их фактического ресурса, а в процессе эксплуатации обслуживающий персонал не располагает информацией о выработан-

ном ресурсе деталей трансмиссии и прочих ответственных элементов либо обладает недостаточными достоверными данными. Можно привести еще ряд подобного рода примеров. Так, в докладе

[1] говорится о том, что около 80% кранов мостового типа, которые повсеместно эксплуатируются в отечественной промышленности на малых и крупных предприятиях, еще не выработали свой ресурс, однако оставшееся количество мостовых кранов требует немедленного обследования на предмет обнаружения вероятных мест усталостного разрушения и определения остаточного ресурса. Решить проблему остаточного ресурса машин, полагаясь на существующую нормативно-техническую документацию, не представляется возможным. Так, для выполнения экспертного обследования и технического диагностирования кранов неинтенсивной эксплуатации применяют руководящий документ РД 10-112-5. При этом считается, что фактическую эксплуатацию крана можно уточнять по ряду косвенных признаков: фактическим срокам замены канатов, ходовых колес, тормозных колодок и т.д. Для оценки остаточного ресурса кранов интенсивного использования применяют нормативный документ РД 24-112-5Р. В соответствии с этим документом расчет должен выполняться для полностью отремонтированного крана. В РД 24-112-5Р приведены рекомендуемые технологии ремонта металлоконструкции крана, если на ней обнаружена трещина. В то же время кран должен эксплуатироваться строго в соответствии с правилами Госгортехнадзора, чтобы той организацией, которая оценивала остаточный ресурс крана, выполнялись все гарантийные обязательства. Однако на практике соблюдать это условие достаточно сложно, часто происходит нарушение пра-



Андрей Петрович Котельников, канд. техн. наук, доц. кафедры «Мехатроника» (УрГУПС).



вил эксплуатации крана, например, из-за отсутствия необходимых материальных средств. Видимо, для того чтобы использовать нормативно-техническую документацию, позволяющую с достаточной для практического применения точностью определять остаточный ресурс машины, необходимо располагать данными, полученными по результатам тщательно выполненных обширных экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации машины.

Конечно, проблема надежности машин с позиции долговечности ее элементов не нова и предложены некоторые пути ее решения. Так, в частности, хорошо известен метод лидирующей модели в авиации. Но адекватность такого подхода носит все-таки в большей степени относительный характер по целому ряду причин, включая и индивидуальные особенности каждой машины, и многое другое.

В целом пути решения проблемы надежности машин могут заключаться в следующем. С одной стороны, вполне очевидным кажется повышение механических свойств (например, повышение усталостной прочности) деталей, узлов и других элементов металлоконструкции путем технологической доработки изготовления, поиска в целом оптимальных проекторочных решений и более точного определения механических свойств используемых материалов. С другой стороны, более эффективным решением все-таки является оснащение машин информационными панелями, основанными на использовании специальных контрольно-измерительных средств, позволяющих оценивать техническое состояние элементов. Но и эти пути решения неизбежно связаны с необходимостью проведения специальных экспериментальных исследований и обширной теоретической работы в данной области.

Вообще, к таким деталям транспортных машин, как автосцепки вагонов, полуоси автомобилей и др., справедливо предъявляются повышенные требования с точки зрения надежности, учитывая их высокую ответственность и масштабы возможных последствий при их поломке, а фактическая надежность деталей машин, как правило, отличается от расчетной по ряду причин, включающих и разброс механических свойств, и погрешности изготовления, и прочее. Особого внимания заслуживает то обстоятельство, что на стадии проектирования в расчетах практически невозможно учесть реальную величину напряжений, возникающих в материале детали. Поэтому проводят экспериментальные исследования для конструкторской и технологической доработки машин. С одной стороны, для успешной конкурентной борьбы важнейшей задачей машиностроения является сокращение сроков испытаний для конструкторско-технологической доработки изделия. С другой стороны, перед машиностроением встает задача достижения предельных

значений для ряда параметров конструкций машин, чтобы обеспечить создание конкурентоспособных образцов техники. Поэтому значение технической диагностики для оценки надежности транспортных машин, учитывая возможные последствия их аварий, возрастает. В отличие от экспериментальных методов оценки напряженно-деформированного состояния деталей, где имеется ряд универсальных и широко апробированных методов (электротензометрирование, поляризационно-оптические, голографической интерферометрии и другие), среди методов оценки усталости в настоящее время выделить доминирующие сложно. Более того, хотя и получили широкое распространение некоторые из методов оценки напряженно-деформированного состояния, например магнитная дефектоскопия, отслеживание процесса накопления усталостных повреждений с целью предупреждения разрушения является проблемой на порядок сложнее, чем обнаружение дефекта, который к тому же может оказаться упрочняющим. Для эксплуатационных испытаний транспортных машин набор способов и средств, обеспечивающих регистрацию усталостных повреждений металлоконструкций, сравнительно невелик. В той или иной степени большинство из этих методов только развиваются и совершенствуются, а их реализация при диагностике усталости металлоконструкций по причине целого ряда ограничений и недостатков пока практически исключена. Здесь важно также с точки зрения жесткого ограничения времени, отводимого на освоение производства новых машин в условиях рыночной конкуренции, отметить следующее обстоятельство. На сегодняшний день имеется обилие данных по выносливости материалов, а примеры построения кривых Веллера по результатам испытаний натурных образцов встречаются редко. Конечно, это объясняется экономической нецелесообразностью проведения трудоемких и длительных ресурсных испытаний, если получаемые данные в дальнейшем могут не использоваться многократно. Более того, эта кривая обладает ограниченным применением, так как методы регрессионного анализа, которые используются для построения кривой Веллера, в каждом конкретном случае требуют уточнения. Гораздо более перспективными с точки зрения практической точности и экономии времени являются методы построения кривой усталости, основанные на физических гипотезах, например на гипотезе американского ученого Гатса [2], используя которую возможно построить кривую усталости по испытаниям 5 или 6 образцов. Вообще же известные не прямые, а косвенные методы ускоренного определения характеристик выносливости материалов требуют специального пояснения, которое заключается в следующем. Эти методы хотя и существенно сокращают время испытаний, но не позволяют построить с высокой точностью кривые усталости (с





их помощью можно получить лишь точечные оценки предела выносливости), а значит, не позволяют с достаточной для практического применения точностью учитывать протекание процесса накопления усталостных повреждений. Это связано с тем, что косвенные методы форсированных испытаний либо основаны на установлении корреляционных связей между пределом выносливости и характеристиками статической прочности и пластичности металлов, либо используют различные критерии разрушения (например, энергетические), которые позволяют лишь сформулировать условия подобия между статическим и циклическим разрушением.

В самолетостроении, в автомобиле- и тракторостроении, в вагоностроении используются вероятностные методы определения усталостной прочности деталей и металлоконструкций, практическая точность которых ограничена или вовсе недостаточна из-за ошибок, содержащихся в используемых гипотезах суммирования усталостных повреждений. В работе [3] сказано что «... физическая теория прочности твердых тел в настоящее время находится еще не на такой стадии, чтобы на ее основе создать методы расчета на выносливость». В связи с этим теория усталостной прочности материалов строится пока путем накопления экспериментальных данных, на базе которых формулируются некоторые правила расчетов на выносливость». Тем не менее на сегодняшний день мы располагаем некоторыми весьма существенными результатами исследований природы усталостного разрушения. Наиболее важными из них с точки зрения выбора средств диагностирования и построения эффективных методик являются следующие.

Во-первых, механизм усталостного разрушения металлов неразрывно связан со структурной неоднородностью, заключающейся в случайных вариациях размеров и очертаний отдельных зерен металла, их кристаллографической ориентации, в наличии различных включений, дефектов кристаллической решетки и тому подобное. Поскольку невозможно исключить случайную природу, то недостатки традиционных детерминированных подходов, основанных на применении расчетов по допускаемым напряжениям или расчетов по запасам прочности, для задач диагностики являются существенными. В расчетах по запасам прочности не дается достоверность оценок величины напряжения в момент разрушения и величины наибольшего напряжения в материале детали или в элементе металлоконструкции. Поскольку неизбежное рассеяние этих величин не учитывается, то условие прочности носит принципиально неоправданный детерминированный характер. Более того, значение допускаемого напряжения, входящего в условие прочности, не учитывает эксплуатационные факторы, влияющие на надежность (температурные нагрузки,

влажность, режимы нагружения и прочее) и не дает оценку значения показателя надежности. Указанные недостатки применяемых детерминированных моделей в лучшем случае приводят к повышенной металлоемкости из-за повышенных значений коэффициентов запасов прочности, следовательно, и к повышенной энергоемкости как на стадии изготовления деталей и металлоконструкций, так и на этапе их эксплуатации из-за лишней массы. В худшем случае недостатки применяемых детерминированных расчетов приводят к не предполагаемому из-за неучтенных факторов разрушению детали в эксплуатации.

В-вторых, время усталостного долома ничтожно мало по отношению ко времени протекания процесса накопления усталостных повреждений в деталях и в металлоконструкциях. Поскольку площадь сечения в местах развития трещины уменьшается, то мгновенно происходит поломка детали или элемента металлоконструкции, как только приложенные напряжения оказываются выше разрушающего. Учитывая даже то, что в отечественной промышленности в настоящее время эксплуатируются металлоконструкции, нормативный срок которых уже истек, а остаточный ресурс не установлен, то чрезвычайно важно использовать такие индикаторы усталости, чтобы обеспечить проведение испытаний в самые кратчайшие сроки. Этого можно достичь двумя способами. Первый заключается в том, чтобы повысить чувствительность применяемых датчиков. С этой целью на некоторых известных индикаторах, необратимо меняющих собственное электрическое сопротивление ДМЭС [4], устанавливаются усилители деформаций, а на других, известных как разрушающиеся элементы, делают надрезы по специальной геометрической форме. Так, известна методика [5] для оценки долговечности конструкций, которая основана на совместном использовании набора купонов с вырезами различной формы, как показано на рисунке 1. Купоны изготавливают из материала конструкции и располагают на ее участке параллельно друг другу. Долговечность разрушающихся элементов до установки на объект определяется как усталостными характеристиками материала, из которого они изготовлены, так и подбором размеров и конфигурации концентратора инициируемой трещины. По мере разрушения образцов от менее к более долговечным возможно предсказание усталостного разрушения самой металлоконструкции. Для сокращения продолжительности испытаний на усталость в работе [6] предлагается производить предварительную наработку образца разрушения, уменьшая, соответственно, его долговечность. При реализации рассматриваемого метода диагностики усталостных повреждений образец подбирают таким образом, чтобы его кривая усталости была близка к кривой усталости объекта. Далее, исходя из времени предварительной наработки и

зная время разрушения индикатора на объекте, выполняется оценка остаточного ресурса исследуемого опасного места металлоконструкции. Существенный недостаток метода заключается в сложности подбора величины деформирования разрушающегося элемента в подготовительный период, поскольку в большинстве случаев режимы эксплуатации исследуемого объекта неизвестны.

Разработаны также методы [7—10] для оценки накопления усталостных повреждений в металлоконструкциях, основанные на использовании разрушающихся элементов, которые имеют одинаковый

с материалом конструкции линейный коэффициент расширения. Разрушающиеся элементы изготавливают из металлической фольги. Такие датчики имеют усталостную прочность на порядок и более меньшую, чем усталостная прочность исследуемой конструкции. Предлагается также [11] соединять разрушающиеся элементы в ленту, как показано на рисунке 2; и выполнять оценку остаточного ресурса конструкции по числу разрушившихся элементов, которое регистрируется специальным устройством. Устройство для подсчета разрушений содержит счетчик, прижимной и лентопротяжный механизмы.

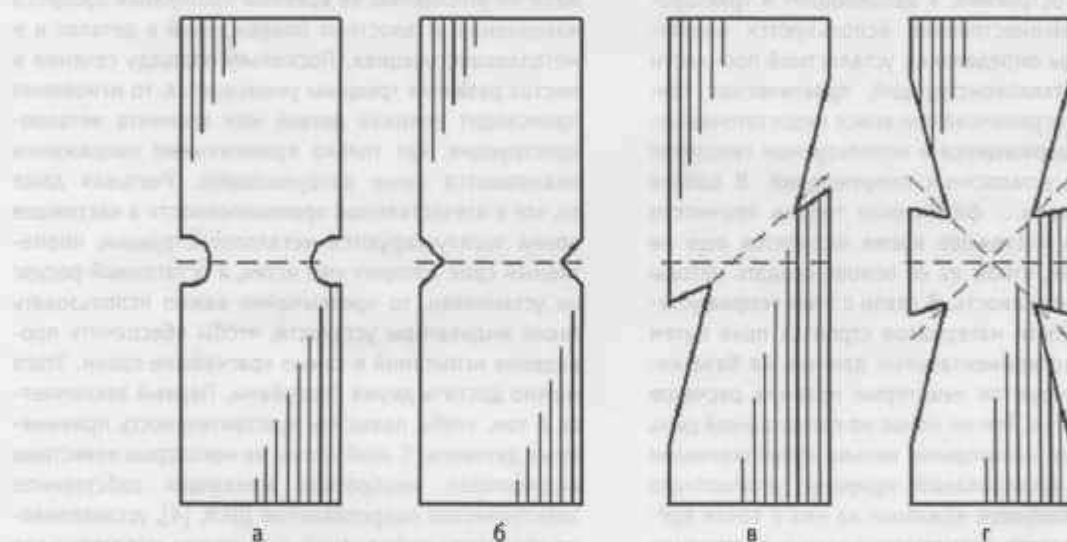


Рисунок 1 — Набор разрушающихся купонов с различной долговечностью [5]:

а — купон с долговечностью, приблизительно равной 75% долговечности элемента конструкции; б — купон с долговечностью, приблизительно равной 60% долговечности элемента конструкции; в, г — купоны с долговечностью, приблизительно равной 33% долговечности элемента конструкции

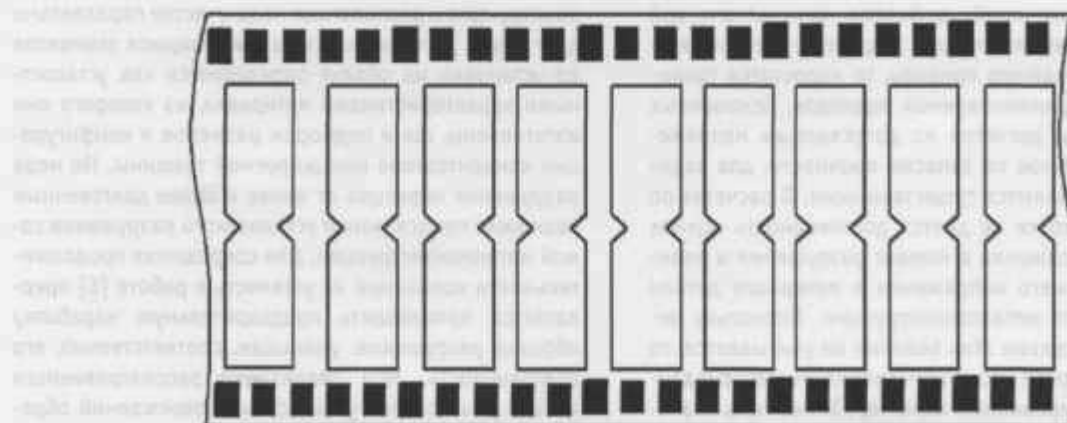


Рисунок 2 — Лента разрушающихся элементов [11]



Несмотря на кажущуюся простоту, рассмотренные методы диагностики усталости далеки от совершенства и требуют значительных временных и материальных затрат на установление необходимых корреляционных зависимостей. В доступной для анализа технической литературе отсутствуют примеры использования разрушающихся образцов, кроме как для диагностики металлоконструкций планеров. Это объясняется их ограниченными возможностями. Наиболее перспективным со всех возможных позиций практического применения является второй способ, который заключается в применении датчиков деформаций интегрального типа с управляемой чувствительностью, изготавливаемых из медной и алюминиевой фольги по специальным технологиям [12]. Это так называемые «датчики с памятью». Они позволяют в произвольный момент прерывания испытаний выполнить расшифровку амплитуд действующих на элементах конструкции машины деформаций, представляющих опасность с точки зрения наступления усталостных поломок. Более того, эти датчики можно устанавливать в труднодоступные места металлоконструкций, так как они обладают высокой локальностью измерений и не требуют каких-либо дополнительных коммутационных устройств.

В-третьих, упрочнение и усталостная повреждаемость металлических материалов в значительной мере обусловлены особенностями дислокационной структуры, формирующимися в условиях циклической деформации, причем по мере увеличения числа циклов растет плотность дислокаций, особенно быстро в поверхностных слоях. В связи с этим эффективным следует считать применение средств неразрушающего контроля, которые позволяют отслеживать развитие дислокаций на поверхности деталей и металлоконструкций машин. Хотя широкое применение в различных экспериментальных исследованиях получили электротензометры, им присущи существенные недостатки при использовании в эксплуатационных условиях работы машин. Для их применения требуется комплекс контрольно-измерительного, запоминающего и коммутационных устройств, а для установки таких датчиков в труднодоступные участки металлоконструкций и механизмов, такие как планетарные передачи и др., возникает необходимость конструктивного вмешательства, что во многих случаях просто недопустимо. Более того, надо отметить, что процессы усталости, протекающие в материалах детали, носят кумулятивный характер, а значит, для построения методики отслеживания этого процесса требуются датчики, работающие по интегральному принципу, а не по дифференциальному, как реагируют данные тензометры. Наибольшее число работ посвящено индикаторам усталости, которые необратимо изменяют свое электросопротивление при

накоплении в них усталостных повреждений. По конструкции такие датчики аналогичны электротензорезисторам. В настоящее время известно широкое разнообразие материалов, из которых изготавливают эти датчики, в частности токопроводящие полимеры, аморфные материалы, графит, полупроводниковые, константановая фольга, отожженная медная проволока и другие. К сожалению, для таких датчиков характерно наличие существенного разброса свойств, оценка которого представляет высокую трудоемкость уже на этапе изготовления, а сами методы их использования недостаточно разработаны для практического применения. Данные датчики имеют существенное ограничение по диапазону действующих напряжений и по диапазону числа циклов деформирования, т.е. для малых амплитуд деформаций датчики просто нечувствительны, а при больших амплитудах деформаций реагируют в течение небольшого числа циклов, и к большинству режимов нагружения они неприменимы для отслеживания процесса накопления усталостных повреждений. Для таких датчиков требуются токосъемные устройства, термокомпенсация и прочее, что опять же в существенной мере затрудняет их использование в эксплуатационных условиях работы машин.

В-четвертых, зародышами усталостных трещин являются поверхностные впадины, которые, в свою очередь, возникают в результате развития полос скольжения на поверхности детали. Поскольку размеры таких впадин исчисляются микрометрами, целесообразно использовать датчики с высокой локальностью измерений. На сегодняшний день наибольшей локальностью измерений обладают датчики деформаций интегрального типа (ДДИТ), [13], изготавливаемые из медной и алюминиевой фольги по специальным технологиям, включающим термические и механические операции. Локальность таких ДДИТ составляет 3 мкм, что позволяет считать технологии их применения в задачах проектирования прецизионными [13].

В-пятых, полосы скольжения, образующиеся под действием больших напряжений (т.е. много выше предела выносливости), доступны для удаления путем полировки, и долговечность образца повышается. Однако полосы скольжения, получившие развитие в условиях действия малых амплитуд напряжений, являются более устойчивыми и не позволяют удаление полировкой [14]. Большинство же деталей машин проектируются так, чтобы работать в условиях малых амплитуд напряжений, следовательно, процесс накопления усталостных повреждений в материалах таких деталей является более устойчивым и практически необратимым.

В-шестых, усталостные трещины лишь на начальной стадии развиваются вдоль полос скольжения

и растут скачками, а затем они растут перпендикулярно растягивающим нагрузкам, т.е. перпендикулярно к поверхности элемента металлоконструкции. Данное обстоятельство существенно ограничивает применение таких индикаторов роста усталостных трещин на поверхности металлоконструкций, как индикаторы «Форет». Для контроля усталостных трещин разработаны [15, 16] регистраторы трещин на основе фольговых тензорезисторных чувствительных элементов, получившие название «Форет». Такой регистратор прикрепляется к поверхности конструкции через прокладку из изоляционного материала. Регистратор содержит чувствительный элемент в виде тензонити, которые разрушаются в процессе распространения поверхностной трещины на исследуемой конструкции. Тензорезисторы регистратора включены в схему электрического моста. При разрыве тензонити происходит разбалансировка в измерительной диагонали. Регистратор «Форет» содержит тензоусилитель выходного сигнала с измерительной диагонали и накопитель сигналов на магнитной ленте. Длительность непрерывной работы накопителя составляет 30 ч. Дешифровку информации, накопленной на магнитной ленте, выполняют с помощью системы «Луч 74». Однако при нерегулярном режиме нагружения исследуемого объекта без обширных экспериментальных исследований восстановить корреляционную зависимость, связывающую показания датчиков и накопление усталостных повреждений в изделии, очень сложно.

В-седьмых, стадия образования устойчивых полос скольжения характеризуется чередованием областей с высокой и низкой плотностью дислокаций.

В-восьмых, усталостные трещины зарождаются у впадин полос скольжения, которые формируются в условиях интенсивно развитого поперечного скольжения винтовых дислокаций.

К сожалению, в известных методах, основанных на использовании тех или иных индикаторов усталости, эти два обстоятельства (особенно восьмое) практически не используются. Исключение составляют лишь методы, основанные на применении пленочных ДДИТ, в которых используется либо угол поворота дислокационного пятна в качестве критерия оценки реакции, либо комплексный многокритериальный подход, учитывающий ко всему прочему и плотность дислокационных линий («темных пятен»). В частности, угол поворота пятна позволяет определить значения касательных и нормальных напряжений в условиях сложного напряженного состояния, когда детали машин подвергаются воздействию самых разнообразных нагрузок, носящих чисто случайный характер [17].

С учетом всех выделенных в настоящей статье результатов исследования природы усталостного разрушения нужно акцентировать внимание на следующем. Наиболее эффективными и точными методиками необходимо считать основанные на использовании датчиков, в материале которых накопление повреждений и процессы усталости конструкции не имеют различной физической природы.

Литература

1. Котельников В.С., Еремин Ю.А., Зарецкий А.А., Короткий А.А. Концепция оценки остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы // *Безопасность труда в промышленности*. — 2000. — № 10. — С. 41—44.
2. Сызранцев В.Н., Добрынько А.В. Методы прогнозирования долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа: Учеб. пособие. — Курган: КМИ, 1993. — 104 с.
3. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов/ 2-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 2000. — 560 с.
4. Котельников А.П. Диагностика усталости металлоконструкций машин датчиками деформаций интегрального типа: Дис. ... канд. техн. наук. — Курган, 2004. — 135 с.
5. Патент 4590804 (США). Device for Monitoring Fatigue Life (Maurice A.). — 1986.
6. Парамонов Ю.М., Муссонов Г.П., Белайчук А.К. Методы лидирующей индикации отказов // *Надежность и контроль качества*. — 1984. — № 11. — С. 38—47.



7. А.с. 456188 МКИ G 01 N 3/32. Кордонский Х.Б., Лоцманов Г.С., Нейфельд Ф.А. Способ определения накопленного усталостного повреждения конструкций. 1975.
8. А.с. 504134 МКИ G 01 N 3/32 G 01 v 7/16. Кордонский Х.Б., Лоцманов Г.С., Нейфельд Ф.А. Устройство для определения накопленных усталостных повреждений конструкций. 1976.
9. А.с. 732729 МКИ G 01 N 3/06. Кордонский Х.Б., Лоцманов Г.С., Нейфельд В.А., Сорокин А.М. Способ регистрации истории нагружения конструкции. 1980.
10. А.с. 945743 МКИ G 01 N 3/32. Новиков В.Ф., Насонов В.В. Датчик для контроля усталости элемента конструкции. 1982.
11. Лоцманов Г.С., Кулаков А.И. Автоматический счетчик нагруженности // Надежность и контроль качества. — 1984. — № 11. — С. 19–25.
12. Патент 2212638 (Россия), C2 7G 01 L 1/00, 1/22. Способ определения концентрации напряжений в деталях машин / Сызранцев В.Н., Троценко Д.А., Котельников А.П., Антипов С.Г. — № 2001124675/28; Заявлено 06.09.2001; Опубликовано 20.09.2003 Бюл. № 28.
13. Сызранцев В.Н. Методы экспериментальной оценки концентрации циклических деформаций и напряжений на поверхностях деталей машин: Учеб. пособие. — Курган: КМИ, 1993. — 83 с.
14. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. — М.: Металлургия, 1983. — 350 с.
15. Лебедев К.В., Федько Б.А., Кныш В.В., Храковский А.И. Регистраторы ФОРЕТ для автоматизации исследований трещиностойкости // Приборы и системы управления. — 1988. — № 2. — С. 26 — 27.
16. Регистратор трещин «ФОРЕТ». Техническое описание и инструкция по применению. — Киев, 1989. — 8 с.
17. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Маленков А.И., Колпакова К.В. Диагностика усталости несущих систем и элементов транспортных машин с помощью датчиков деформаций интегрального типа: Учеб. пособие. — Курган: КГУ, 1996. — 87 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ВОЛНООБРАЗНЫЙ ИЗНОС КОЛЕС

Волнообразный износ колес проявляется в виде неровностей профиля по кругу катания. Профиль колеса может быть измерен с помощью окружного профилометра. Основной причиной волнообразного износа колес является термомеханическое взаимодействие между тормозными колодками и поверхностью катания. Высокие температуры, возникающие при трении колодок и колеса, вызывают волнообразное изнашивание поверхности катания. Длина волны неровностей и их глубина в значительной степени зависят от размеров тормозных колодок и их материала в сочетании с материалом колеса. Для снижения волнообразного износа поверхности катания колес рекомендуется применять тормозные колодки с более низким модулем упругости [3.99].

Увеличение осевой нагрузки с 29 до 35 т не изменяет положения и интенсивности волнообразных неровностей колеса.

РЕКОМЕНДАЦИЯ ПО ИСКЛЮЧЕНИЮ ДЕФЕКТА

Своевременно проводить обточку колес, когда амплитуда неровностей достигает предельной величины, определенной по критерию ударной нагрузки.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ



Михаил Гелиевич Дурандин,
канд. техн. наук, зав кафедрой
«Электрическая тяга» (УрГУПС).

В решении современных задач по повышению экономической и технической эффективности использования локомотивного парка российских железных дорог одно из перспективных направлений — постепенный переход с планово-предупредительной системы организации технического обслуживания и ремонта на систему ремонта по фактическому состоянию функциональных узлов эксплуатируемых локомотивов.

Очевидно, что реализация этого направления невозможна без оснащения самих локомотивов и локомотивных депо эффективными средствами технического диагностирования, позволяющими не только достоверно оценивать текущее состояние всех ключевых систем и узлов, но и прогнозировать остаточный ресурс наиболее лимитирующих работоспособность локомотива элементов.

Длительный опыт эксплуатации отечественных локомотивов свидетельствует, что одними из таких повреждаемых и трудоемких в восстановлении элементов являются изоляционные покрытия тяговых электродвигателей. Среднесетевые показатели повреждаемости тяговых двигателей по пробоям изоляции варьируются от 40 до 60%, притом что стоимость восстановления работоспособности двигателя после каждого случая пробоя его электрической изоляции соизмерима с затратами на проведение наиболее крупных видов восстановительных ремонтов машины.

По своему составу изоляция тяговых электродвигателей относится к композиционным диэлектрическим структурам, так как включает в себя ряд различных по физическим характеристикам материалов. Основу изоляционного барьера в тяговых электродвигателях создают слюдосодержащие материалы (слюда, шпательная слюда). Наряду с этим в состав микалентных и слюдинитовых лент входят подложки, выполняемые на основе бумаги, стеклотканей или пленочных материалов. В структуру якорной изоля-

ции входят также различные виды бандажных лент (политерафталатные и фторопластовые), поверхностные покрытия (ткани, стеклоткани), выстилки паза (стеклопласты, лакоткани) и т.п. Получившая в последнее время широкое распространение технология изготовления якорной обмотки из медных проводников с готовой изоляцией (ПСД, ПЭТВСД и др.) на основе стекловолоконных покрытий с пропиткой в термостойких эмалях в еще большей степени усугубляет структурную неоднородность изоляционных систем тяговых электродвигателей.

Неоднородность физической структуры двигательной изоляции обусловлена также и тем, что пропиточные технологии, как показывают экспериментальные срезы изоляции якорных проводников, не обеспечивают равномерного проникновения пропиточных лаков (нефтяных и синтетических смол) по всей изоляционной толщине. В условиях эксплуатации физическая неоднородность слоев возрастает в еще большей степени, поскольку к вышеперечисленным факторам добавляются температурные и влажностные градиенты распределений по толщине изоляции.

Очевидно, что такая специфика высоковольтной изоляции тяговых электродвигателей придает уникальные свойства каждой изоляционной структуре в зависимости от ее состава и физического состояния образующих ее материалов. В то же время анализ существующих методов диагностирования изоляционных изделий показывает, что никаких отличительных

особенностей в подходах диагностирования однородных и композиционных изоляционных покрытий не делается и любая изоляция диагностируемых объектов рассматривается в качестве однородной изоляционной структуры.

Безусловно, трудно ожидать от практических методов диагностирования одновременного выполнения двух взаимно противоречащих требований: широкой универсальности методик по перечню диагностирования разновидностей изоляционных конструкций и индивидуальной адаптации к структурным особенностям каждой из них. Однако нельзя отрицать и того, что игнорирование такого фактора, как структурный состав изоляции, приводит к существенному снижению чувствительности даже наиболее информативных критериев, поскольку ведет к расширению диапазона их вероятностного варьирования в выборке диагностируемых объектов. Практика показывает, что даже в условиях схожего структурного состава диагностирующие параметры изоляции могут иметь изначальный вероятностный разброс значений, соизмеримый с их изменениями, вызванными физическими процессами общего или локального старения изоляции в диагностируемых объектах.

В Уральском государственном университете путей сообщения предложен принципиально новый подход к диагностированию многослойных изоляционных покрытий. Новизна метода состоит в том, что суждение о техническом состоянии сложносоставной конструкции предлагается производить не на основе какого-то единого интегрального показателя изоляции, предполагающего представление системы в виде моноблочной структуры, а через дифференциальные показатели физического состояния каждой из образующих ее компонент. Тем самым достигается максимальная универсальность метода при диагностировании изоляционных систем любой сложности и максимально полный учет индивидуальных особенностей каждой из них.

Физический принцип предлагаемого метода диагностирования основывается на отличительной особенности многослойных диэлектриков образовывать на границе слоев с различными физическими характеристиками объемные заряды, чего не наблюдается в однородных структурах. Накопление таких зарядов на границах сред обусловлено различием поляризационных и проводниковых свойств сопрягающихся материалов, и поэтому показатели этого процесса напрямую зависят от физических характеристик каждого из образующих систему слоев изоляции. Такого рода заряды, называемые зарядами межслоевой поляризации, входят составной частью в понятие общего абсорбционного заряда изоляции, сопровождающего любой процесс зарядки или разрядки изоляционной конструкции.

На сегодняшний день насчитывается более десятка диагностических методик, основанных на измерении различных параметров абсорбционных процессов заряда или разряда изоляции [1, 2]. К их числу можно отнести методики, регистрирующие уровень и временные траектории зарядно-разрядных токов через изоляцию; оценивающие различные виды коэффициентов абсорбции и значения емкостей диагностируемого объекта, а также их функциональные зависимости; формирующие диагнозы по величине накопленных или остаточных абсорбционных зарядов; измеряющие остаточные или восстанавливающиеся напряжения изоляции и т.д.

Однако обращает на себя внимание то, что во всех перечисленных методиках процесс диагностирования строится на измерении параметров абсорбционных процессов, задаваемых зарядами на внешних электродах изоляционной системы. Именно от них устанавливаются такие базовые диагностические признаки, как электрическая емкость, постоянные времени заряда-разряда изоляции, коэффициенты абсорбции и т.п. В традиционных методиках диагностирования считается, что таким образом возможно получение полноценной диагностической информации о техническом состоянии изоляционной системы в интегрированном виде, хотя физически очевидно, что приэлектродные заряды только опосредованно отражают информацию о процессах во внутренних областях изоляционной структуры.

С другой стороны, внутренние заряды межслоевых поляризаций, непосредственно отражающие индивидуальные физические характеристики отдельных слоев изоляции, включены по отношению к измерительной цепи через высокое сопротивление всей диагностируемой конструкции и поэтому во внешней токовой цепи проявляют себя в виде слабых токовых процессов со значительно большими постоянными времени, чем это принято считать в устоявшейся практике диагностических измерений.

Неслучайно продолжительность процедуры диагностирования изоляции является одним из наиболее спорных моментов в реализации прикладных методик. Так, в странах европейского континента в качестве общепринятого критерия технического состояния изоляции рассматривается уровень ее сопротивления на 60-й секунде с момента подачи напряжения. В то же время в североамериканских странах в качестве аналогичного показателя используется уже уровень сопротивления после 10 минут выдержки изоляции на испытательном напряжении. Аналогичный разброс мнений существует и в отношении выбора временных сечений при определении коэффициентов абсорбции.

Безусловно, приведенный пример ничего не доказывает, а только иллюстрирует тот факт, что в

современной теории диагностирования нет однозначного суждения относительно того — «быстрые», «средние» или «медленные» виды поляризационных процессов имеют наибольшую информативность в отображении технического состояния сложносоставных изоляционных систем. Из этого следует, что в большинстве случаев наиболее информативная часть малых по амплитуде и медленных процессов межслоевых поляризаций просто игнорируется, поскольку по продолжительности испытаний изоляции российские методики не выходят за одномоментный интервал. К этому следует добавить, что многочисленные научные исследования экспериментального характера не дали однозначного ответа на поставленные вопросы, поскольку обоснованные решения в этой области могут быть получены только через подлинно эвристические методы научного поиска.

С этой целью в Уральском государственном университете путей сообщения были проведены глубокие теоретические исследования динамики процессов внутри многослойных изоляционных композиций для условий их нагружения различными видами испытательных напряжений. Не останавливаясь на деталях теоретического вывода, приведем конечные выражения плотности тока в произвольном k -м слое n -слойной изоляционной структуры для наиболее простого случая приложения постоянного напряжения U_0 .

$$\delta_k(t) = \frac{U_0}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\gamma_i}} +$$

$$+ U_0 \sum_{m=1}^{n-1} \frac{(\lambda_k + p_m) e^{p_m t}}{p_m \sum_{i=1}^n \frac{d_i (\lambda_i - \lambda_k)}{\epsilon_{ai} (p_m + \lambda_i)^2}} -$$

$$- \sum_{m=1}^{n-1} \frac{(\lambda_k + p_m) \sum_{i=1}^n \frac{e_i(0) d_i}{(p_m + \lambda_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i (\lambda_i - \lambda_k)}{\epsilon_{ai} (p_m + \lambda_i)^2}} e^{p_m t},$$

где p_m — корни характеристического уравнения

$$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\gamma_i + \epsilon_i p} = 0;$$

$\lambda_i = \gamma_i / \epsilon_i$ — показатель соотношения удельной проводимости γ_i и относительной диэлектрической проницаемости ϵ_i среды i -го слоя изоляции;

d_i — толщина i -го слоя;

$e_i(0)$ — начальные значения напряженностей поля в i -м слое.

В силу вихревого характера поля вектора плотности полного тока полученное выражение справедливо не только для одного из слоев изоляции, но и для всей изоляционной системы в целом. Таким образом, ток, протекающий через систему изоляционных слоев, имеет три составляющие.

Первая компонента зависит только от уровня приложенного напряжения и активных проводимостей слоев — это принужденная составляющая процесса, которая на практике известна под названием тока сквозной проводимости или тока утечки.

Вторая компонента выражения, описывающая токи смещения, характеризует свободную составляющую токового процесса и представляет быстрые виды поляризационных процессов (электронный, ионный и др.) в слоях изоляции под воздействием внешнего приложенного напряжения U_0 . Именно эта токовая компонента лежит в основе большинства диагностических измерений при регистрации различного рода коэффициентов абсорбции, значений емкостей, токовых кривых заряда изоляции и т.п.

В выражении третьей компоненты присутствуют значения напряженности поля в слоях изоляции в начальный момент времени. Поэтому данная составляющая описывает токи от ранее накопленных в процессе предварительной зарядки изоляции межслоевых зарядов и отражает процессы межслоевой поляризации.

Полученное выражение свидетельствует, что сложившееся представление о том, что кривая тока через изоляцию представляет собой экспоненциальную зависимость, амплитуда и показатель которой несут в себе обобщенную диагностическую информацию, не совсем правомерно. Для сложносоставных изоляционных структур любая зарядно-разрядная токовая зависимость представляет собой сумму экспоненциальных процессов, число которых зависит от количества образующих данную систему физических компонент изоляции.

Отсюда вытекает, что для полноценного описания сложносоставных изоляций любая токовая реализация должна описываться через три группы параметров — количество образующих токовый процесс экспонент (или количество неоднородных участков в изоляции), показатели (декременты) этих экспонент и их модули (амплитуды), характеризующие соответственно скорость заряда (разряда) межслоевых зарядов и амплитуды каждого из составляющих процессов.



В соответствии с этим было предложено совокупную информацию о характере полной токовой кривой в изоляции представлять в виде спектральных линий, положение которых на «частотной» оси характеризуется значениями показателей (декрементами) экспонент, а высота линий — модулями (амплитудами) экспонент. Для упрощения процедуры разложения токовой кривой по составляющим было предложено исключить из состава полного тока токи сквозной проводимости и зарядного поляризационного процесса путем регистрации токовой кривой только в режиме разряда предварительно заряженной изоляции на калиброванное сопротивление.

Для придания большей универсальности спектрального описания разрядных процессов в изо-

ляционных изделиях различного типа было также предложено отображать амплитуды спектральных составляющих в отношении к начальной амплитуде полного абсорбционного тока в нулевой момент времени. Теоретически доказывается, что это делает картину экспоненциального спектра для диагностируемых конструкций не зависящей ни от объема изоляционной структуры, ни от уровня зарядного напряжения, ни от параметров внешней разрядной цепи.

Преимущество отображения физического состояния изоляционной композиции посредством диаграмм экспоненциального спектра разрядных абсорбционных токов по сравнению с традиционными методами состоит в том, что они несут максимально полную информацию о физическом состоя-

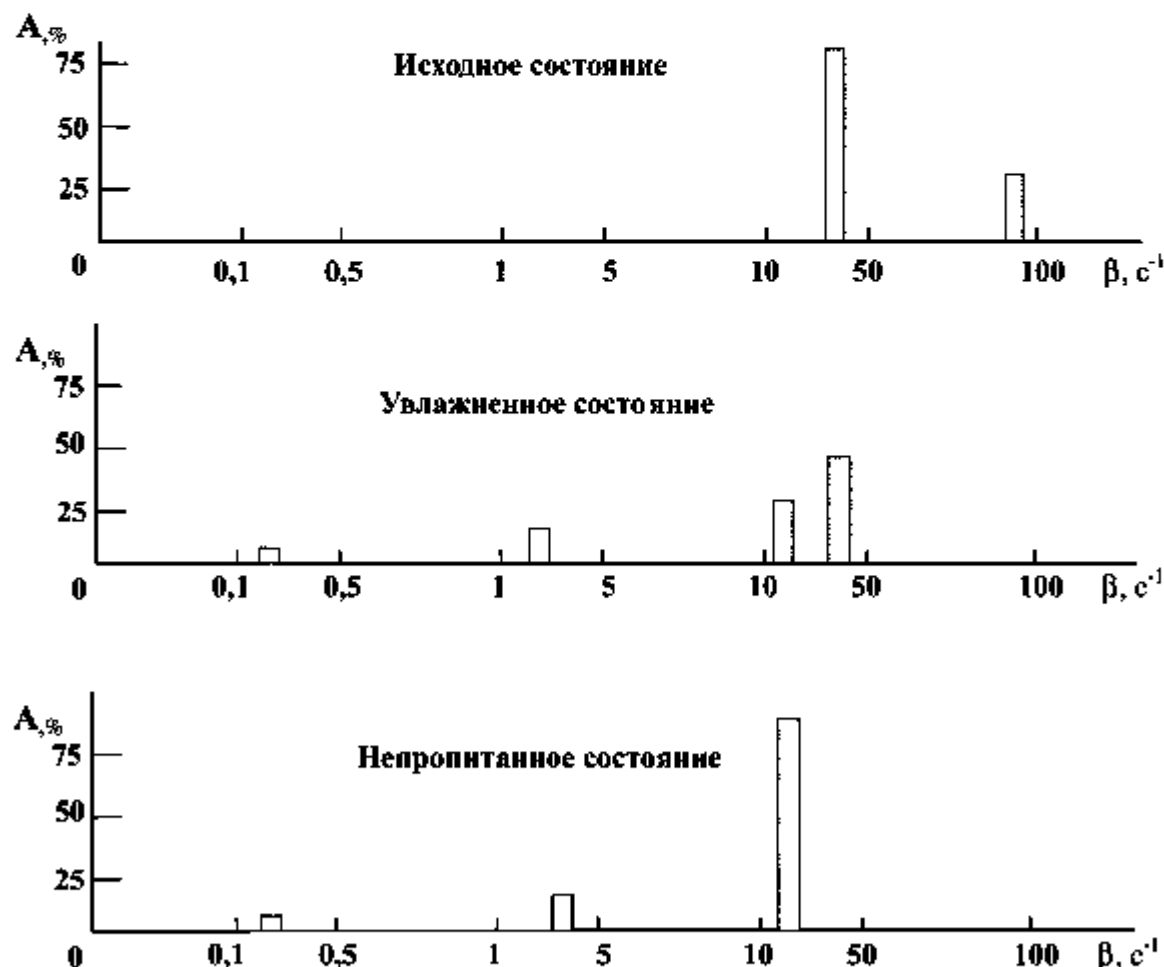


Рисунок 1 — Экспоненциальные спектры абсорбционных токов при различных состояниях изоляции
якорных проводников тягового электродвигателя ТЛ-2К1

нии каждой из изоляционных компонент системы вне зависимости от геометрических размеров самой конструкции и условий ее заряда. В качестве диагностирующих признаков при этом выступают количество спектральных линий, их положение на оси и их относительная амплитуда.

Очевидно, что наибольшую сложность в получении таких экспоненциальных спектров изоляции представляет процесс разложения общей разрядной токовой кривой по экспоненциальным составляющим. Для решения этой задачи была разработана специализированная расчетная программа, позволяющая по совокупности экспериментальных точек разрядного тока диагностируемой изоляции получать комбинацию составляющих экспонент и их числовых характеристик, обеспечивающих наименьшее квадратичное отклонение от экспериментальной траектории.

Проведенные лабораторные исследования по описанной методике показали, что экспоненциальные спектры изоляции тяговых электродвигателей весьма чувствительны в отображении всех известных разновидностей эксплуатационного старения изоляции, за исключением случаев локальных дефектов изоляционного объема. В качестве примера на рисунке 1 представлены диаграммы экспоненциальных спектров изоляционной структуры тягового электродвигателя ТЛ-2К1 в исходном состоянии, при объемном увлажнении и в случае большого содержания воздуха из-за некачественной пропитки или при общем раскиснении лакового покрытия изоляции.

Как видно из полученных диаграмм, характер экспоненциальных спектров в значительной степени меняется при любых изменениях в физическом состоянии как изоляционной системы в целом, так и отдельных ее компонент. Это позволяет рассматривать метод экспоненциальных спектров изоляции как весьма чувствительный и универсальный в отображении текущего состояния любых сложносоставных изоляционных покрытий. Представляется, что наибольший эффект данная методика диагностирования может дать при организации периодического обследования изоляции по приведенной методике индивидуально каждого из двигателей локомотива при заходах на плановые технические ремонты или обслуживания.

Кроме того, данная методика имеет хорошие перспективы для своего дальнейшего развития в методологическом плане. Математический анализ выражений, описывающих спектральные составляющие, показывает, что на основе общей совокупности числовых характеристик спектральных линий возможно получать индивидуальные физические характеристики проводимости и поляризационных свойств каждой из компонент изоляции. Таким образом, в перспективе предполагается возможность не только отслеживать изменения в общем техническом состоянии диагностируемой конструкции по совокупной картине спектра, но и получать детальную информацию о причинах этих изменений по изменениям в физическом состоянии каждой из внутренних компонент изоляционной структуры.

Литература

1. Вайда Д. Исследование повреждений изоляции: Пер. с венг. / Под ред. Д. В. Разевига. — М.: Энергия, 1968. — 400 с.
2. Говарков В. А. Электрические и магнитные поля. — М.: Энергия, 1968. — 488 с.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

Промышленный транспорт является важнейшей стратегической отраслью, однако его развитие постоянно происходит в фарватере проблем, решаемых на магистральных железных дорогах, и со значительным отставанием. Анализ ситуации, связанной с безопасностью движения и направ-

ленной в первую очередь на создание мощных тормозных средств для крутых спусков, показывает, что дела в этом направлении застыли на уровне 1980-х годов, с разработкой так и не востребованного карьерным транспортом управляемого по проводам воздухораспределителя (ВР) № 498.

Действительно, на промышленном транспорте нет практически ни одного специально разработанного под условия его эксплуатации тормозного устройства. Все они взяты с подвижного состава МПС и не рассчитаны на короткие поезда.

Применяемые на тяговых агрегатах магистральные компрессоры КТ-63л имеют слабое воздушное охлаждение и не должны работать под нагрузкой длительно, например, при разгрузке вагонов-самосвалов, подавая в свалочную сеть давление в течение десятков минут. Это приводит к перегреву сжатого воздуха и компрессорного масла и ухудшению работы тормозных систем.

Поездной кран машиниста № 395 избыточен по своим функциям и питательной способности для промышленных поездов, имеет ряд существенных недостатков и давно, как и кран вспомогательного тормоза № 254, морально устарел.

Воздухораспределитель № 483 под условия эксплуатации карьерного транспорта был модернизировали 25 лет назад, и это усовершенствование в



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



Денис Сергеевич Ряхов,
инженер (УрГУПС).

условиях горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) повсеместно существует до настоящего времени. Такое положение ненормально для большой отрасли, хотя и позволяет обеспечить безопасность движения на спусках до 60‰. Указанный ВР также избыточен по своим функциям для промышленного транспорта.

Авторегимы № 265 не могут использоваться на вагонах-самосвалах, поскольку не рассчитаны на условия их эксплуатации, но других грузовых регуляторов нет. В то же время для карьерного транспорта нужен простейший переключатель, работающий по принципу «порожний—груженный». Однако заказа на него за многие годы не поступало. Несколько работоспособных реальных конструкций подобных устройств запатентованы и рассчитаны авторами статьи.

Давно замечено, что выход штока тормозного цилиндра на вагонах-самосвалах 2ВС-105 напрямую зависит от их загрузки: в порожнем состоянии он большой, а в загруженном — существенно уменьшенный. Причина этого явления предположительно известна, но окончательно не установлена. Это не позволяет ис-



пользовать существующие регуляторы выхода штока РТП-675 или 574Б и уменьшить объемы ручной регулировки рычажных передач в несколько раз. Необходимо разработать специальный регулятор для карьерного транспорта.

Схемы тормозного оборудования на тяговых агрегатах также неоптимальны. Так, в унифицированной схеме, взятой с магистральных локомотивов, отпуск собственного тормоза производится разрядкой рабочей камеры ВР № 483 с полной или частичной потерей свойства автоматичности, а значит, безопасности движения, особенно на крутых спусках.

Вызывает недоумение и тот факт, что у каждого горно-обогатительного комбината имеется собственная инструкция по тормозам, зачастую несовершенная. Основная часть комбинатов использует одинаковый подвижной состав, верхнее строение пути, устройства сигнализации и связи. Почему же тогда разные по содержанию инструкции? Должна быть одна, качественная, детально проработанная инструкция, но с учетом особенностей каждого ГОКа.

На магистральном железнодорожном транспорте в настоящее время происходит технологическая революция, связанная в основном с созданием принципиально новых многофункциональных электронных систем управления движением поезда (САУТ, САВП, КЛУБ, УКБМ) и многих стационарных (ДИСК, УЗОТ, УКАР, УКВР, УКРП). Однако на промышленном транспорте эти системы никак не представлены, что снижает его экономические и другие показатели.

В то же время для освоения спусков 60‰ и более в первую очередь необходимо применять авторежимные и противоюзные устройства, регулирующие тормозное нажатие в соответствии с загрузкой транспортного средства и сцепление его колес с рельсами.

Перспективные характеристики изменения тормозного нажатия по условиям движения находятся по выражениям [1]:

$$\delta_{пр} = \frac{m_1[(dq_0\psi_k - m_v c) + \sqrt{(dq_0\psi_k - m_v c)^2 + 4bq_0\psi_k m_v c}]}{2bm_v q_0} \quad (1)$$

$$\delta_{прр} = \frac{\psi_k(fV + e)}{h(V + e)}, \quad (2)$$

где $\delta_{пр}$, $\delta_{прр}$ — действительный и расчетный предельные по условиям сцепления коэффициенты сил нажатия тормозных колодок;

m_1 — число колодок, действующих на колесную пару;

b, c, d, e, f, h — коэффициенты в обобщенных формулах действительного φ_k и расчетного $\varphi_{пр}$ коэффициентов трения тормозных колодок:

$$\varphi_k = a \frac{bx+c}{dx+c} \cdot \frac{V+e}{fV+e}; \quad (3)$$

$$\varphi_{пр} = h \frac{V+e}{fV+e}; \quad (4)$$

k — действительная сила нажатия тормозной колодки;

V — скорость движения;

q_0 — нагрузка, передаваемая от колесной пары на рельсы;

ψ_v — коэффициент сцепления колес с рельсами;

$m_v = am_1 \frac{V+e}{fV+e}$ — скоростной коэффициент,

где a — коэффициент в обобщенных формулах действительного φ_k и расчетного $\varphi_{пр}$ коэффициентов трения тормозных колодок.

Предельно-возможное давление в тормозном цилиндре $P_{пр}$ при котором достигаются соответствующие значения $\delta_{пр}$ и $\delta_{прр}$ находится по формуле [1]

$$P_{пр} = \frac{m_1[(dq_0\psi_k - m_v c) + \sqrt{(dq_0\psi_k - m_v c)^2 + 4bq_0\psi_k m_v c}]}{2000S_{пр}n\eta_m\eta_\eta} + \frac{2,0(F_1 + F_2)_{пр} \eta_\eta}{2000S_{пр}n\eta_m\eta_\eta} \quad (5)$$

где m_1 — число тормозных колодок, действующих от тормозного цилиндра (ТЦ);

$F_1, F_2, S_{пр}$ — соответственно усилие отпускной пружины ТЦ, авторегулятора выхода штока и площадь поршня ТЦ;

n, η — передаточное число и коэффициент силовых потерь рычажной передачи;

η_m — коэффициент полезного действия ТЦ.

Для наилучшего использования сил сцепления колес с рельсами при автоматическом регулировании тормозной силы в зависимости от веса или скорости транспортного средства целесообразно изменять тормозное нажатие в соответствии с выражениями (1), (2), (5).

Для композиционных колодок зависимости оптимального регулирования тормозного нажатия 1, 2, 3 приведены на рисунке 1. Здесь же показаны графики изменения действительного коэффициента нажатия тормозных колодок, эксплуатируемых на магистраль-

ном транспорте авторежимов 5 [1] и карьерных поездов без авторежимов на среднем грузовом режиме ВР 6, а также нормативные ограничения по тепловым режимам 7 и 8 [2].

При отсутствии противоюзных устройств и скоростных регуляторов тормозного нажатия за оптимальную целесообразно принять зависимость, параллельную полученной по расчету для максимальной, разрешенной на ГОКах скорости движения поездов и с пониженным на 15–20% действительным коэффициентом силы нажатия δ , для исключения возможного юза (зависимость 3). Как видно из графиков, изображенных на рисунке 1, реальные характеристики при ручном трехпозиционном регулировании 4 тормозного нажатия, на одном «среднем» режиме 6 и с помощью авторежимов 5 № 265 не соответствуют рекомендуемой характеристике по уровню и темпу изменения δ .

Работая постоянно на одном «среднем» режиме ВР, как это принято в большинстве случаев на карьерном железнодорожном транспорте сегодня, не удастся в полной мере обеспечить эффективное торможение, так как в области низких нагрузок вагонов нарушается условие безюзного торможения, а в области высоких — недоиспользуется сцепление колес с рельсами, что удлиняет тормозной путь.

Что касается авторежимов, то их неудачная характеристика объясняется недостаточным рабочим ходом демпферного узла и несоответствием гибкости рессорного подвешивания вагонов разных категорий регулировочной зависимости воздушного реле. Поэтому регулирование давления в ТЦ (5-я линия) происходит при 50–60% загрузки вагонов, после чего оно не изменяется. Кроме того, основным недостатком таких устройств является повышенный износ их трущихся частей и низкая эксплуатационная надежность, особенно от неблагоприятной вертикальной динамики вагонов-самосвалов при их загрузке и разгрузке.

Для снижения износа были разработаны авторежимы с временным контактом, замер прогиба рессор при котором производился при закрытии дверей (на электропоездах) или по приходу тормозной волны (в грузовых поездах). Однако из-за отсутствия учета миграции пассажиров по электропоезду между станциями в первом случае и высокой сложности кинематических узлов, измеряющих загрузку вагона, — во втором они не нашли применения.

Учитывая особенности эксплуатации подвижного состава карьерных поездов, можно предложить несколько конструктивно проработанных вариантов регулирования тормозного нажатия с учетом одина-

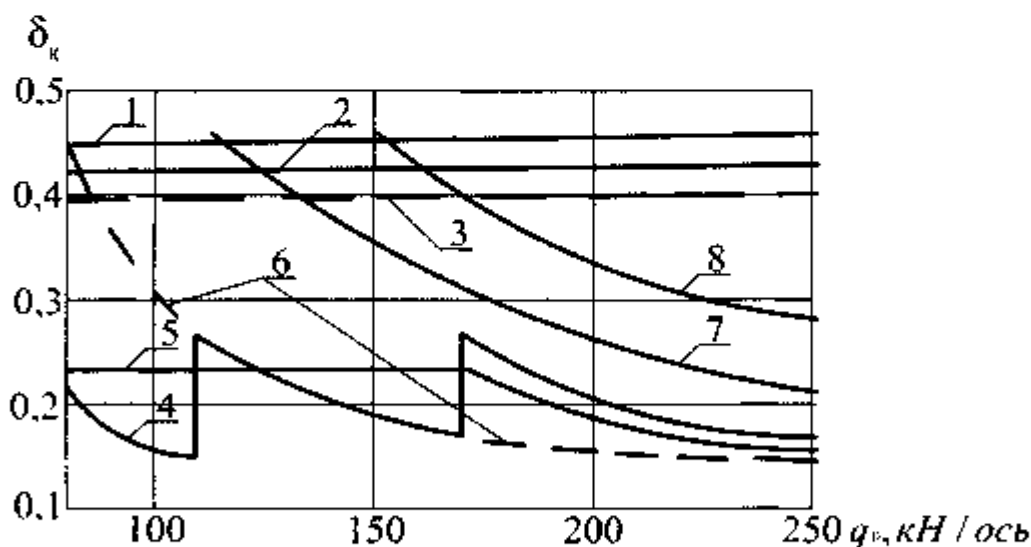


Рисунок 1 — Зависимости регулирования тормозного нажатия композиционных тормозных колодок на грузовом подвижном составе:

- 1, 2 — предельные значения коэффициентов нажатия колодок при скоростях соответственно 10 и 30 км/ч;
- 3 — оптимальная для максимального использования сцепления при грузовых авторежимах;
- 4 — при трехрежимном тормозе;
- 5 — при авторежимах №265;
- 6 — для вагона самосвала на «среднем» режиме;
- 7 — ограничение по тепловому режиму для магистрального подвижного состава;
- 8 — ограничение по тепловому режиму для карьерного подвижного состава.

ковой загрузки всей «вертушки», или индивидуально отдельного вагона-самосвала.

В одном из них, схема которого приведена на рисунке 2 [3], в качестве признака груженого или порожнего состояния состава принят уровень зарядного давления. Оно изменяется машинистом соответственно, например с 0,6 до 0,5 МПа, и, наоборот, с помощью редуктора крана машиниста, с небольшим усовершенствованием для быстрого изменения усилия регулировочной пружины. Переход с одного давления на другое происходит в периоды загрузки или разгрузки «вертушки» темпом мягкости в течение 5 мин.

При этом изменяется давление в рабочей камере (РК) 1 ВР, и двухседельчатый клапан 2 либо пропускает сжатый воздух из тормозной магистрали (ТМ) 3 в цилиндр переключателя 4, поршень которого 5 штоком 6 переводит рукоятку 7 ВР грузовых режимов в груженое положение при загруженном поезде, либо сообщает его с атмосферой при порожнем состоянии состава.

Неистощимость тормозов при этом остается высокой, так как композиционные колодки, обладавая высокими фрикционными свойствами, в порожнем и груженом составе имеют достаточный запас по превышению уровня поездного давления над давлением в ТЦ при соответствующем режиме ВР.

Другое устройство, схема которого показана на рисунке 3 [4], в момент подачи давления от замедлителя 1 в цилиндры 2, опрокидывающие кузов вагона-самосвала, устанавливает индивидуально «порожний» режим на ВР 3 путем сообщения полости цилиндра 4 переключателя с атмосферой. При загрузке вагона шток 5 устройства перемещается вверх и фиксируется для исключения влияния вертикальных колебаний, сообщая ЗР 6 с полостью цилиндра 4, переключающе-го режим работы ВР на «груженный».

Перспективным и наиболее простым решением, повышающим тормозную эффективность загруженных поездов, является установка в комплект пружин переключателя грузовых режимов ВР третьей пружины или одной конусообразной с переменной жесткостью [5]. Торможение порожнего поезда машинист выполняет, ограничивая глубину разрядки ТМ до 0,1 МПа и создавая требуемое давление в ТЦ, как показано на рисунке 4 и принято на большинстве ГОКов. В то же время при загруженной вертушке и полном служебном (ПСТ) или экстренном (ЭТ) торможении он может получать в ТЦ давления большие, чем на среднем режиме ВР, в соответствии с универсальной зависимостью (4). Это позволяет с учетом проведенной модернизации ВР по ускорению темпов работы тормоза [5] освоить спуски до 60‰ включительно.

Предельное значение крутизны уклонов, ориентированное на повышенное использование эксплуатационного сцепления колес с рельсами и безопасное торможение при наполнении ТЦ за 5-7 с, можно найти по выражениям:

$$0,85 F_{\text{сч. макс}} = 0,85 q_0 \psi_{\text{к. макс}} = 10^{-3} q_0 i_{\text{с}} = F_{\text{жкл}}; \quad (6)$$

$$b_m = 1,2 i_{\text{с}}; \quad (7)$$

где $F_{\text{сч. макс}}$ — максимальная сила сцепления;

$F_{\text{жкл}}$ — скатывающая сила уклона;

$i_{\text{с}}$ — величина спуска;

b_m — удельная тормозная сила.

Расчеты по приведенным формулам дают максимальное значение уклона 85 — 88‰. Существенное ограничение на повышение тормозного нажатия при освоении таких уклонов накладывают тепловые режимы. При торможении кинетическая энергия поезда переходит в тепловую, нагревая тормозные колодки (или диски) и колеса. Учитывая то, что с ростом ско-

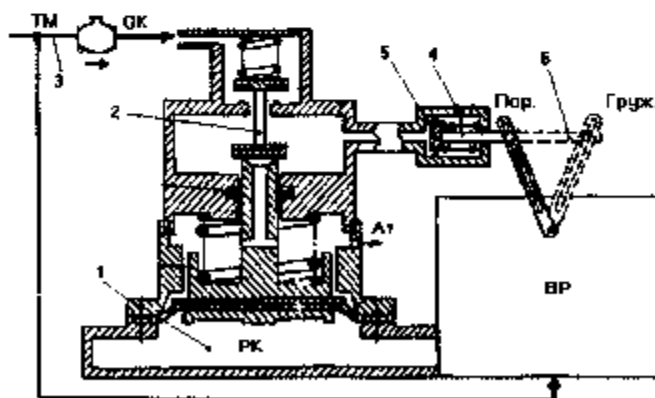


Рисунок 2 — Дистанционный переключатель грузовых режимов торможения ВР

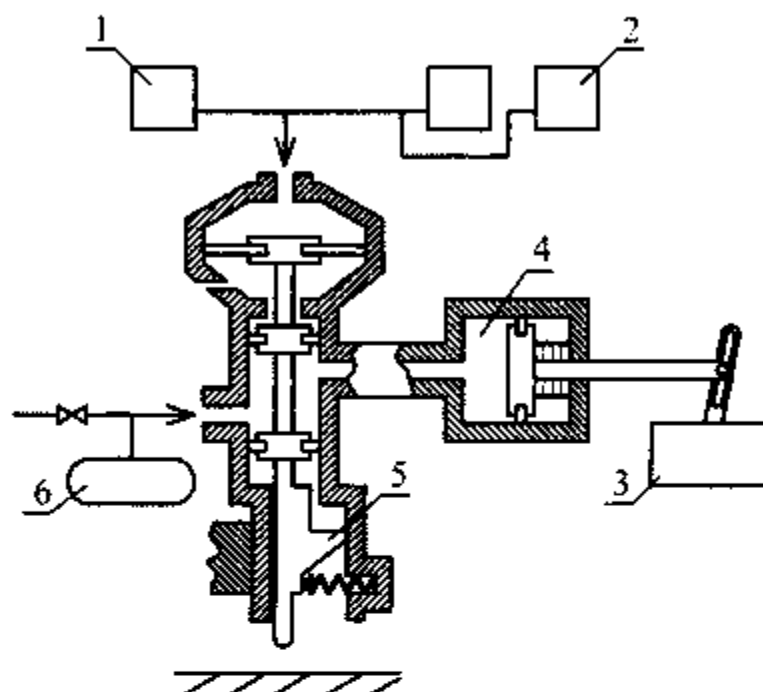


Рисунок 3 — Переключатель грузовых режимов торможения вагонов-самосвалов

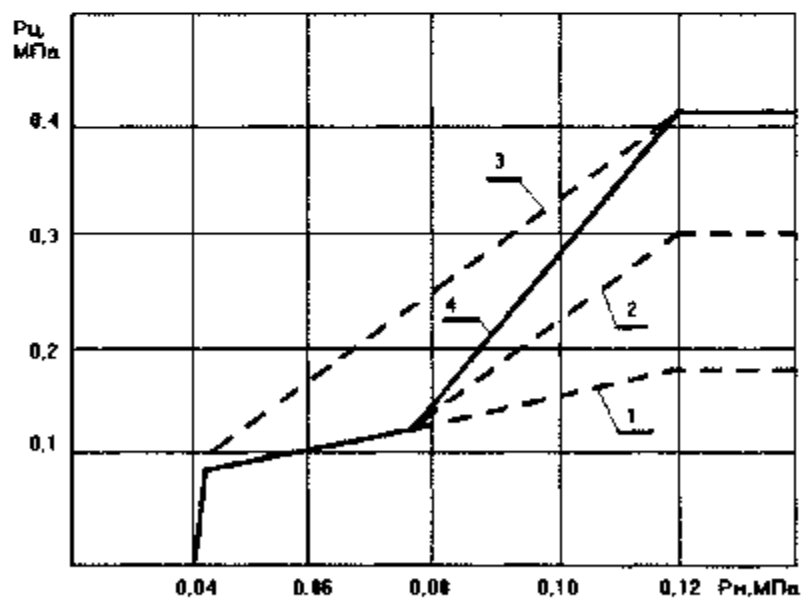


Рисунок 4 — Зависимости изменения давления в ТЦ при торможении:

1, 2, 3 — соответственно на порожнем, среднем и груженом режиме; 4 — универсальный режим.

рости движения, например, в 2 раза количество этой энергии увеличивается вчетверо, особое значение приобретает тепловая устойчивость пары трения, нарушение которой приводит к утрате фрикционных качеств и возникновению аварийных ситуаций на подвижном составе.

Допустимая величина нажатия K_t (кН) на чугунную тормозную колодку по тепловому режиму при остановочном торможении может быть найдена из выражений [1]:

$$K_t = \frac{[80\Phi(t) - 70,2V_0 m_v]}{2,25V_0 m_v} + \sqrt{\frac{[80\Phi(t) - 70,2V_0 m_v]^2 + 4500V_0 m_v \Phi(t)}{2,25V_0 m_v}} \quad (8)$$

где $\Phi(t) = \frac{F_{k\Delta} \tau_{\max} \alpha_0}{-0,155\alpha_0 \sqrt{t}}; \quad (9)$

$$\alpha_0 = 0,004 + 0,005 \sqrt{V_0}; \quad (10)$$

$$m_v = 0,6 \frac{3,6V_0 + 100}{18V_0 + 100}; \quad (11)$$

V_0 — начальная скорость торможения, м/с;

$\tau_{\max}$ — максимально допустимая температура тормозной колодки при остановочном торможении, °С (для чугунных — 600 °С, для композиционных — 400 °С);

α_0 — коэффициент теплоотдачи в окружающую среду.

Аналогично максимальное нажатие по температурным режимам для композиционных колодок определяется выражениями [1]:

$$K_t = \frac{[4\Phi(t) - 2,34V_0 m_v]}{0,023V_0 m_v} + \sqrt{\frac{[4\Phi(t) - 2,34V_0 m_v]^2 + 9,36V_0 m_v \Phi(t)}{0,023V_0 m_v}}; \quad (12)$$

$$\Phi(t) = \frac{F_{k\Delta} \tau_{\max} \alpha_0}{-1,52\alpha_0 \sqrt{t}}; \quad (13)$$

$$\alpha_0 = 0,4 \cdot 10^{-2} (1 + 1,33 \sqrt{V_0}); \quad (14)$$

$$m_v = 0,44 \frac{3,6V_0 + 150}{7,2V_0 + 150}; \quad (15)$$

Продолжительность остановочного торможения t (с) при известной по нормативам длине тормозного пути S_T (м) на данном уклоне с начальной скорости торможения V_0 (м/с) находится в предположении равнозамедленного движения

$$t = \frac{2S_T}{V_0}. \quad (16)$$

Расчеты по выражениям (12)–(15) для карьерного транспорта при скоростях 30 км/ч, максимальном времени торможения 40 с и температуре композиционных колодок 400 °С позволяют увеличить допустимый уровень нажатия по тепловым режимам до 120 Н/см² (зависимость 8 на рисунке 1) и снять ограничения на повышение тормозной эффективности по этому критерию.

Что касается соответствия уровня коэффициента нажатия колодок δ и темпов наполнения ТЦ, то они определяются расчетами длин тормозных путей по известным методикам [1, 2, 6].

На рисунке 5 приведены зависимости времени наполнения ТЦ 1 и тормозного нажатия 2 для безопасного торможения на спусках различной крутизны при длине тормозного пути 300 м со скоростью 30 км/ч.

Из графиков следует, что для вывода подвижного состава на уклоны 80‰ необходимо повысить коэффициент тормозного нажатия до 0,33, а наполнение ТЦ сократить до 4–5 с.

Дальнейшее повышение крутизны спусков не может быть достигнуто без существенного совершенствования тормозных и тяговых средств. В частности, полного обмоторивания подвижного состава, специальной обработки рельсов для повышения коэффициента сцепления, мероприятий, предотвращающих угон пути и многих других решений, в том числе использования противоюзных устройств со специальным адаптивным алгоритмом.

Что касается последних, то такие устройства позволяют полностью использовать имеющееся сцепление и даже увеличивают его при повышенном регулируемом проскальзывании колес. Структурная схема противоюзных регуляторов с адаптивным алгоритмом работы приведена на рисунке 6.

В схеме сигналы, вырабатываемые датчиками скорости (ДС), от каждой колесной пары подаются на логический блок (ЛБ), который по заданному алгоритму управляет работой сбрасывающих клапанов (СК). Последние сообщают реле давления (РД) с определенным тормозным цилиндром для увеличения давления или с атмосферой для его снижения.

Совершенствование противоюзных устройств в нашей стране привело к созданию так называемых регуляторов управления скольжением с адаптивным алгоритмом действия. При этом функции защиты колесных

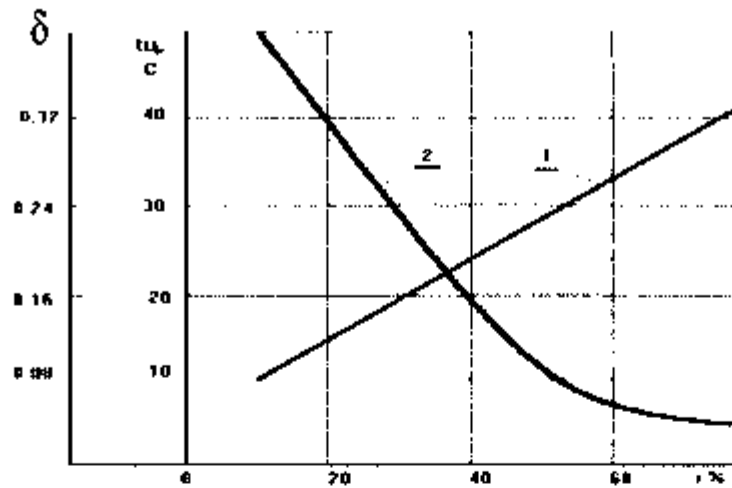


Рисунок 5 — Зависимости коэффициента нажатия колодок 1 и времени наполнения ТЦ 2 от крутизны спуска

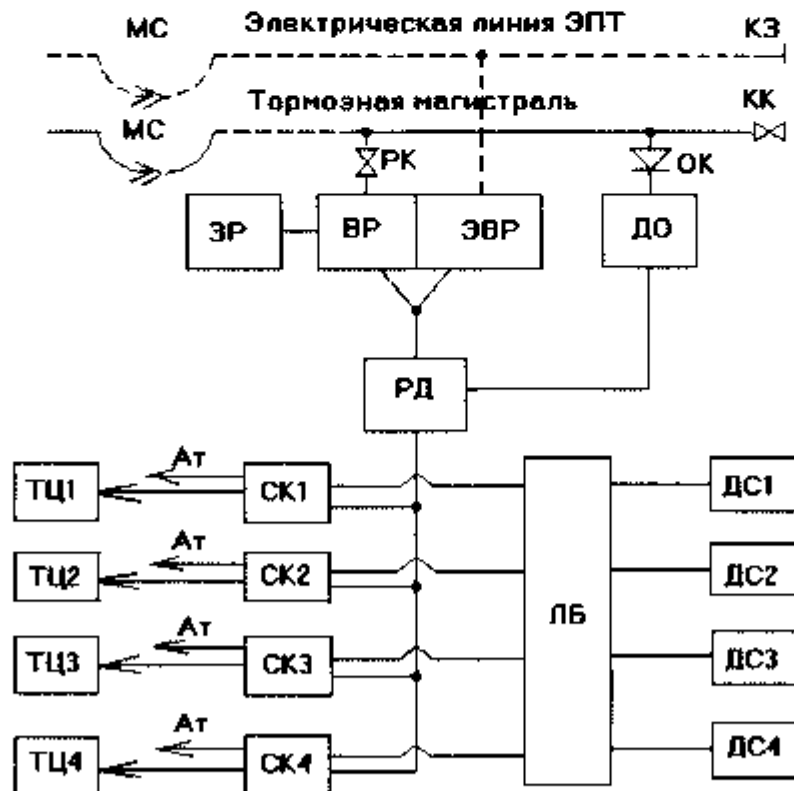


Рисунок 6 — Структурная схема противоюзного устройства с адаптивным алгоритмом

пар от повреждения являются, безусловно, обязательными, но второстепенными. На первое место выдвигаются требования по максимальному использованию сил сцепления колес с рельсами при торможении, что и вызвало применение функций подстройки (адаптации) регулятора под условия движения.

Один из перспективных алгоритмов действия таких регуляторов представлен на рисунке 7 [7]. При экстренном торможении давление в ТЦ первой оси поезда $P_{ц1}$ вырастает до тех пор, пока не наступит юз

(скольжение колеса более 2%) в момент t_2 . Этот уровень давления P_1 «запоминается» в устройстве, и оно выполняет антиблокировочный цикл ($t_2 - t_4$), снижая давление в ТЦ до тех пор, пока колесо не прекратит замедляться (момент t_3).

В течение периода $t_3 - t_4$ давление воздуха остается неизменным, а колесо выходит из юза, увеличивая скорость вращения. Когда это произойдет (момент t_4), давление в ТЦ вновь вырастает, но до уровня на ΔP меньше того, при котором юз начался (момент t_3).

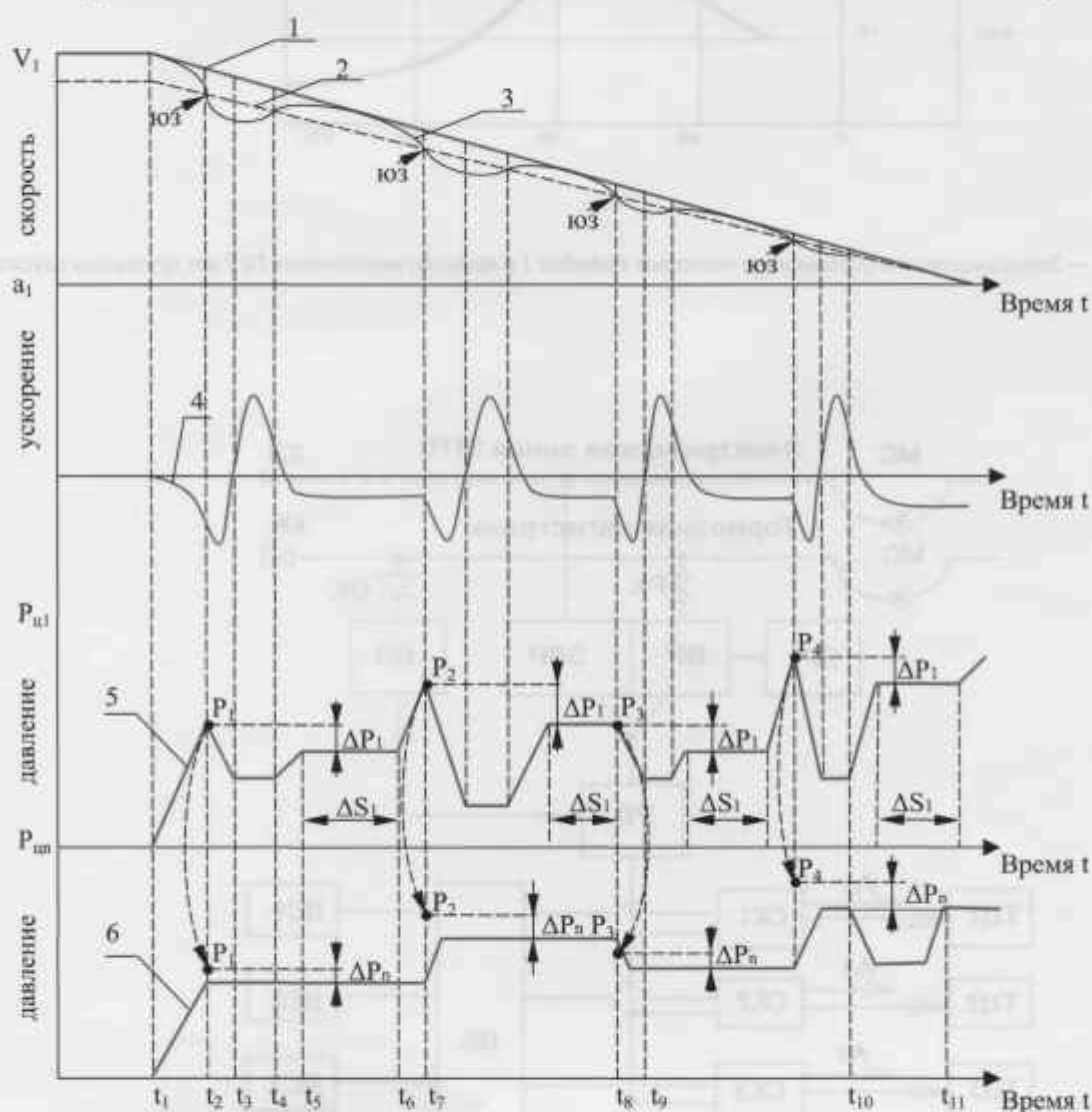


Рисунок 7 — Зависимости к анализу работы противоюзного устройства с адаптивным алгоритмом:

- 1 — скорость транспортного средства;
- 2 — допустимое скольжение;
- 3, 4 — окружная скорость и ускорение колесной пары;
- 5 — давление в ТЦ 1-й колесной пары;
- 6 — давление в ТЦ 2-й и следующих колесных пар.



Как показали исследования свойств сцепления [2, 6], несмотря на его вероятностные свойства, на однородном участке пути без посторонних включений на рельсах оно изменяется в пределах 5% на расстоянии около 100 м. Поэтому, определив предельный уровень сцепления через давление в ТЦ (P_c), можно после антиблокировочного цикла подстроиться под него и двигаться, эффективно тормозя, на расстоянии ΔS .

Если на этом отрезке пути самопроизвольного срыва колес в юз не произошло, устройство вновь поднимает давление в ТЦ до потери сцепления (момент t_1) и определения нового уровня P_c с дальнейшей автоматической подстройкой под него после антиблокировочного цикла и т.д. Поскольку следующие за первой колесные пары двигаются в лучших по сцеплению условиях, то уровень давления в их тормозных цилиндрах сразу подстраивается под известный, определенный при ее юзе.

Таким образом, остальные колесные пары не вводятся в режим повышенного скольжения, реализуя силу сцепления, близкую к максимальной (см. диаграммы давлений P_c на рисунке 7). Это позволяет в десятки раз уменьшить износ колесных пар и расход сжатого воздуха, а самое главное, использовать потенциальное сцепление колес с рельсами практически полностью. Расчетная тормозная эффективность поездов, оборудованных адаптивными регуляторами управления скольжением, по сравнению с обычными

возрастает почти в два раза, и это позволяет осваивать спуски крутизной 100‰ и более.

Источниками электрического питания для таких устройств являются электротяговые системы, применяемые на «вертушках», у которых каждый вагон является моторным, или аккумуляторные батареи.

Из сказанного следует, что для эффективной работы промышленного транспорта необходимо:

- создать совет или комиссию из видных специалистов — ученых и практиков, которые бы определили перспективы и приоритеты разработки и внедрения специального подвижного состава и устройств для промышленного и карьерного транспорта;

- обратиться в Ассоциацию производителей и потребителей тормозного оборудования (АСТО) с просьбой о разработке и серийном выпуске специализированных тормозных устройств для карьерного транспорта;

- провести обследование условий эксплуатации подвижного состава ряда горно-обогатительных комбинатов и разработать единую инструкцию по тормозам;

- рассчитать номограммы тормозных путей для полного использования свойств сцепления с противоюзными устройствами по адаптивному алгоритму и определить пределы и перспективы использования фрикционного колодочного тормоза и тягового подвижного состава по величине наибольшего спуска (подъема).

Литература

1. Асадченко В.Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава. — М.: Маршрут, 2004. — 120 с.
2. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава. — М.: Маршрут, 2005. — 420 с.
3. А. с. 1255483 СССР. Устройство для переключения режимов торможения грузового воздухораспределителя / Асадченко В.Р., Белошевич А.А. — Оpubл. Б.И. — 1986. — № 33.
4. Патент 2009912 Россия. Устройство для автоматического переключения грузовых режимов воздухораспределителя / Асадченко В.Р., Канашевич Ф.Ф., Лобанов А.В. — Оpubл. Б.И. — 1991. — № 6.
5. Патент 2031025 Россия. Воздухораспределитель тормоза железнодорожного карьерного транспорта / Асадченко В.Р., Белошевич А.А., Канашевич Ф.Ф. — Оpubл. Б.И. — 1995. — № 8.
6. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава железнодорожного транспорта: Учебный альбом. — М.: УМК МПС России, 2002. — 128 с.
7. А. с. 1772022 СССР. Способ адаптивного управления колесными тормозами по условиям сцепления антиблокировочной системой / Асадченко В.Р., Иноземцев В.Г. — Оpubл. Б.И. — 1992. — № 40.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ БУКСОВОГО УЗЛА С КАССЕТНЫМ ПОДШИПНИКОМ



Александр Анатольевич
Миронов,
канд. техн. наук (ЗАО «НПЦ
Инфотэкс», Екатеринбург).



Александр Владленович
Занкович
(ОАО ОКБ «Новатор»,
Екатеринбург).



Валентин Леонидович
Образцов
(ООО «Инфотэкс АТ»,
Екатеринбург).



Александр Эдуардович
Павлюков,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Вагоны» (УрГУПС).

Приводятся основные этапы и принципы исследования термонагруженности буксового узла с коническими подшипниками кассетного типа посредством разработки и использования термомеханической модели работы буксового узла. Показана актуальность разработки термомеханической модели для тепловой диагностики букс в пути следования.

В грузовых вагонах нового поколения, изготавливаемых ГПО «Уралвагонзавод», используются двухрядные конические подшипники кассетного типа TBV 130x250/3 производства Волгоградского подшипникового завода (ППЗ-15). При этом существенным конструктивным отличием тележки с данными подшипниками является открытый центр оси с торцевой шайбой и отсутствие корпуса буксы. В качестве устройства передачи нагрузки используется так называемая полубукса-адаптер, свободно установленная на наружное кольцо конического подшипника (рисунок 1). Предусмотрен также промежуточный вариант исполнения, в котором кассетный подшипник устанавливается в серийный корпус буксы.

Тепловое состояние подшипника с коническими роликами отличается от теплового состояния подшипника с цилиндрическими роликами из-за изменения принципа восприятия осевой нагрузки. Температура подшипника и корпуса буксы (полубуксы) — важнейший диагностический признак и фактор потенциальной безопасности движения поездов. При неисправностях внутри буксового узла возможны состояния заклинивания роликов в кольцах подшипников, вызывающие к чрезмерный нагрев шейки вагонной оси и последующее ее разрушение. Такие ситуации во мно-

гих случаях приводят к авариям на железнодорожном транспорте. В настоящее время для предотвращения подобных ситуаций используются инфракрасные тепловые устройства теплового контроля буксы на ходу поезда типа КТСМ и ДИСК, позволяющие регистрировать в проходящем поезде повышенный нагрев буксовых узлов относительно температуры наружного воздуха. При этом для решения вопросов эффективности функционирования и использования данных устройств в качестве диагностирующих для нового типа букс необходимо знать распределение тепла в работающей буксе с кассетным подшипником.

В работе представлена математическая модель для оценки теплового состояния буксового узла, включающая аналитическую модель тепловыделения в работающем буксовом узле грузового вагона и численную модель распределения полей температур в буксовом узле на основе метода конечных элементов. Ранее в нашей работе [1] рассмотрена диагностическая модель теплового контроля типовых буксовых узлов, в которой приложение тепловой нагрузки к буксовому узлу осуществлялось условным путем, то есть заданием температуры или темпа нагрева. Отличие модели, представленной в настоящей работе, в том, что рассмотрен процесс теплообразования за счет работы

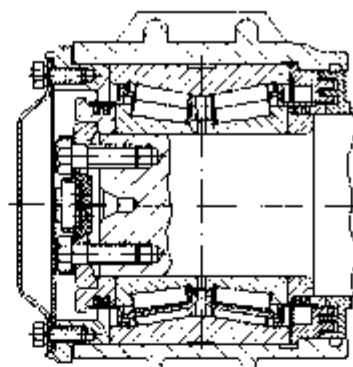
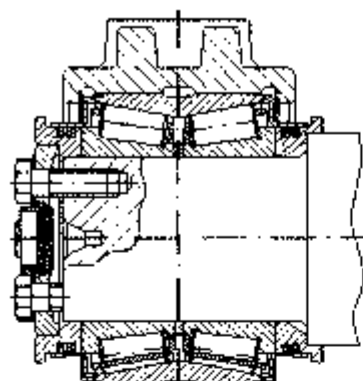


Рисунок 1 — Варианты установки конического двухрядного подшипника кассетного типа с помощью адаптера и в типовом корпусе буксы

подшипника, а также в том, что исследуется корпус буксы с коническим двухрядным подшипником кассетного типа.

При создании и апробации термомеханической математической модели реализовывались следующие этапы.

1. Моделирование движения вагона для определения внешних нагрузок.
2. Расчет угловых и линейных скоростей деталей подшипника.
3. Расчет распределения нагрузок по телам качения подшипника.
4. Расчет тепловых потоков, действующих на поверхности подшипника.
5. Разработка конечно-элементной модели буксового узла для теплового расчета.
6. Расчет эквивалентных теплофизических свойств комплекса ролики—сепаратор—смазка (РСС).
7. Определение внешних граничных условий среды.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК

Исследование строится на использовании мате-

матической модели движения грузового вагона, разработанной в программной среде синтеза уравнений движения «Универсальный механизм». На рисунке 2 приведено графическое компьютерное изображение модели вагона. С использованием модели вагона рассчитываются нагрузки, действующие на буксовый узел на любом заданном участке пути. В данном исследовании нагрузки рассчитывались для движения грузового вагона на тележках модели 18-100.

РАСЧЕТ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ СКОРОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКА

Частота вращения внутреннего кольца (см. рисунок 1) подшипника определяется

$$n_e = \frac{V}{\pi D_k}, \quad (1)$$

где D_k — диаметр поверхности качения колеса вагона;

V — скорость движения вагона.

Частота вращения сепаратора подшипника

$$n_c = \frac{(1 - D_w \cos \alpha / d_o) n_e}{2}, \quad (2)$$

где D_w — средний диаметр ролика;

d_o — средний диаметр окружности центров роликов;

$\alpha = 12^\circ$ — номинальный угол контакта в роликовом подшипнике.

Угловая скорость сепаратора

$$\omega_c = \frac{\pi n_c}{30}. \quad (3)$$

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК ПО ТЕЛАМ КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКА

Центробежная сила, действующая на

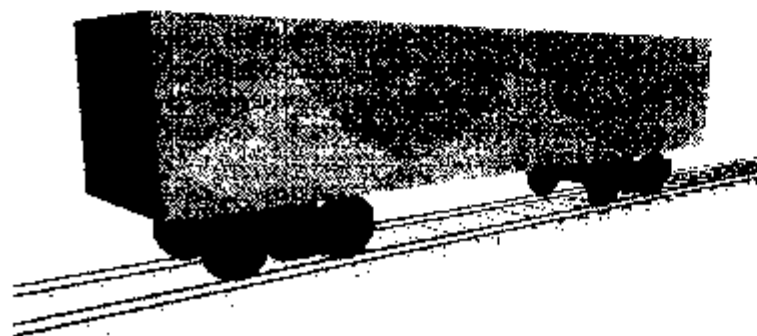


Рисунок 2 — Компьютерное представление модели движения вагона в программном комплексе «УМ»

каждый ролик в подшипнике, определяется из выражения

$$Q_{\text{ш}} = m_p d_0 \omega^2, \quad (4)$$

где m_p — масса ролика.

Если подшипник исправен, то перекос внутреннего кольца относительно наружного отсутствует. Тогда при одновременном действии радиальной F_p и осевой F_a составляющих внешней нагрузки последняя воспринимается телами качения в зоне, ограниченной углом φ [2] (рисунок 3). У конического роликового подшипника для обеспечения $\varphi = 180^\circ$ необходимо, чтобы

$$F_a \geq 1,26 F_p \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

Тогда средняя радиальная нагрузка на конический ролик в зоне нагружения перпендикулярно к поверхности качения наружного кольца подшипника (Z — количество роликов в ряду) находится:

$$Q_p = 2,49 F_p / Z \cos \alpha. \quad (6)$$

Если осевая составляющая нагрузки меньше полученной по формуле (5), то $\varphi \leq 180^\circ$. Если осевая составляющая нагрузки возрастает, то увеличивается и угол φ . У конических роликовых подшипников $\varphi = 360^\circ$ при

$$F_a \geq 1,93 F_p \operatorname{tg} \alpha. \quad (7)$$

В этом случае

$$Q_p = 2,74 F_p / Z \cos \alpha. \quad (8)$$

Если на подшипник действует только центрально приложенная осевая сила F_a , то нагрузка на каждый ролик

$$Q_p = F_a / Z \sin \alpha. \quad (9)$$

По выражениям и условиям (5)–(8) согласно [2] с учетом перераспределения нагрузки между рядами роликов для расчета конкретных значений φ_1 и φ_2 первого (расположен первым к месту приложения осевой нагрузки) и второго рядов роликов был разработан соответствующий алгоритм.

Далее определяем число контактов, приходящихся в секунду на кольца подшипника:

на наружном кольце

$$i_n = (1 - D_w \cos \alpha / d_0) n_g Z / 2; \quad (10)$$

на внутреннем кольце

$$i_g = (1 + D_w \cos \alpha / d_0) \frac{n_g}{2} \varphi / 360^\circ. \quad (11)$$

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПОДШИПНИКА

Тепловой поток, образуемый работой сил трения на поверхностях подшипника, вычисляется для каждой зоны трения. Схема обозначения тепловых потоков и зоны приложения показана на рисунке 4.

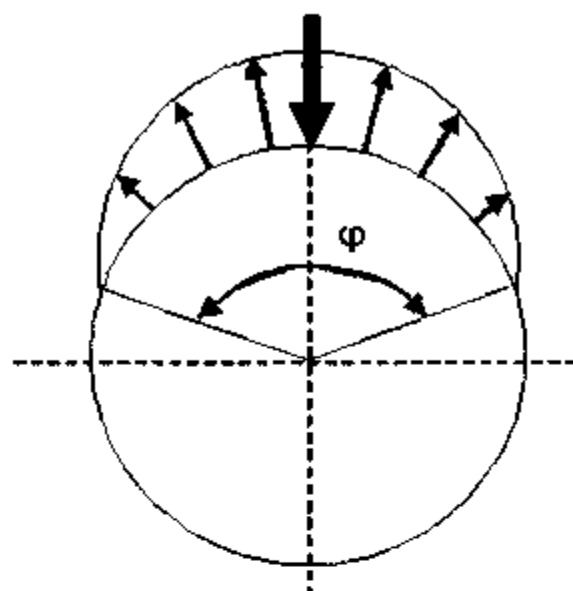


Рисунок 3 — Схема распределения нагрузки по телам качения в подшипнике

1. Суммарная плотность теплового потока в радиально нагруженной зоне наружного кольца первого и второго рядов роликов по «нагруженной зоне» наружного кольца подшипника вычисляется

$$q_{np(12)} = (Q_{p(12)} + Q_{\text{ш}} f_{\kappa} i_n \frac{\varphi_{1(2)}}{360^\circ}) / l_p, \quad (12)$$

где $f_{\kappa} = 0,0005$ — коэффициент трения качения в новом подшипнике по данным фирмы SKF [3];

l_p — длина ролика.

2. Суммарная плотность теплового потока по «ненагруженной зоне» наружного кольца подшипника определяется

$$q_{np(12)}^{360-\varphi_{1(2)}} = Q_{\text{ш}} f_{\kappa} i_n \frac{360-\varphi_{1(2)}}{360^\circ} / l_p. \quad (13)$$

3. Суммарная плотность теплового потока на радиальной поверхности внутреннего кольца подшипника определяется с учетом того, что внутреннее кольцо вращается, поэтому в модели тепловой поток определяется и впоследствии прикладывается при тепловом расчете на всю радиальную поверхность внутреннего кольца

$$q_{ep(12)} = (Q_{p(12)} - Q_{\text{ш}}) f_{\kappa} i_g \frac{\varphi_{1(2)}}{360^\circ} / S_{\theta}, \quad (14)$$

где $l_{\theta}^{(12)} = 2\pi R_{\theta} \frac{\varphi_{1(2)}}{360^\circ}$ — длина дуги нагруженной зоны

внутреннего кольца по средней линии;

$S_{\theta} = 2\pi R_{\theta} l_p$ — площадь радиальной поверхности

внутреннего кольца.

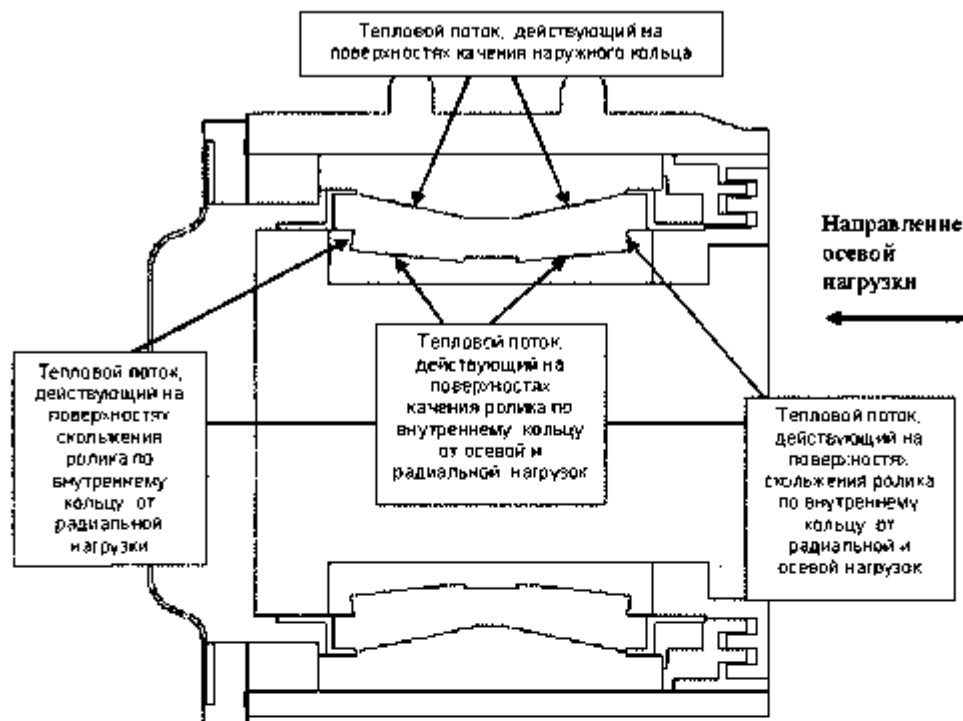


Рисунок 4— Схема обозначения расчетных тепловых потоков и зоны приложения

4. Аксиальная плотность теплового потока от осевой нагрузки на внутреннем кольце ряда роликов, воспринимающем первую осевую нагрузку

$$q_{\text{ва}1} = \frac{\pi d_o F_a f_{\text{СК}} n_c}{S_{\text{ва}}} \quad (15)$$

где R_m — радиус средней линии торцевой поверхности наружного кольца;

S_m — площадь торцевой поверхности внутреннего кольца, взаимодействующей с роликами;

$f_n = 0,002$ — коэффициент трения скольжения в новом подшипнике по данным фирмы SKF [3].

5. Аксиальная плотность теплового потока на внутреннем кольце второго ряда роликов от радиальной нагрузки

$$q_{\text{ва}2} = \frac{\pi F_r d_o f_{\text{СК}} n_c \sin \alpha}{2 S_{\text{ва}}} \quad (16)$$

РАЗРАБОТКА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БУКОВОМ УЗЛЕ

Для оценки тепловых процессов и определения температурных полей в буксовом узле использован метод конечных элементов (МКЭ). Подробно основ-

ные зависимости и алгоритм разработки модели применительно к стандартной буксе с роликовыми подшипниками цилиндрического типа изложены в нашей работе [1]. Для аппроксимации геометрии буксового узла применительно к тепловому анализу был выбран объемный 10-узловой конечный элемент в виде тетраэдра. Конечно-элементная аппроксимация буксового узла, выполненная в программном комплексе ANSYS, показана на рисунке 5. Модель разработана в цилиндрической системе координат, где ось x — радиус, ось y — угол поворота, ось z — ось вращения. Внешними нагрузками для расчета полей температур служили плотности тепловых потоков на поверхностях подшипника, порядок расчета которых изложен выше.

РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕЛА РОЛИКИ—СЕПАРАТОР—СМАЗКА (РСС)

При разработке конечно-элементной модели и расчетной схемы модели был применен уникальный подход, который позволил смоделировать теплотенос из нагруженной зоны, ограниченной углом φ , в ненагруженную за счет вращающихся деталей. Очевидно, что основной нагрев роликов, сепаратора, смазки и внутренних колец подшипника происходит в нагруженной зоне, ограниченной углом φ , в ненагру-

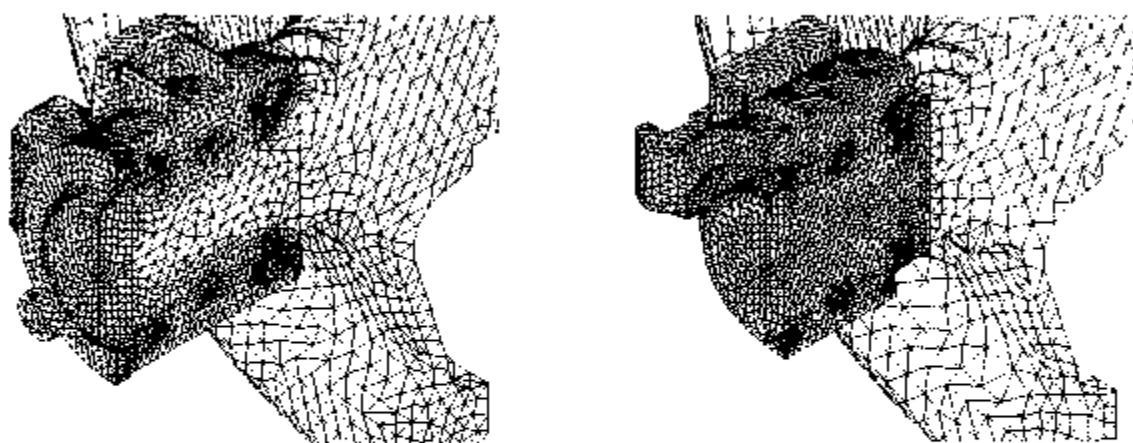


Рисунок 5 — Аппроксимация конечными элементами объемных моделей буксового узла с кассетным подшипником в стандартном корпусе буксы и с адаптером

женной зоне происходит перераспределение тепла между движущимися и неподвижными деталями буксового узла, а также имеется нагрев от центробежных усилий. Основным элементом примененного подхода, учитывающим описанные выше явления, является использование в модели следующего допущения: объем, занимаемый роликами, сепаратором и смазкой в подшипнике, был заменен в модели единым цилиндрическим телом, которое также разбивалось на конечные элементы. При этом определялись эквивалентные теплофизические свойства тела ролики—сепаратор—смазка (РСС).

В отличие от конечно-элементной модели, изложенной в работе [1], настоящая модель позволяет учесть вращение деталей и теплоперенос за счет изменения тепловых свойств (теплопроводности) материалов составных частей буксового узла при вращении, то есть блока РСС.

Эквивалентные плотность и теплоемкость тела РСС в тепловой модели буксового узла определялись как среднеинтегральные величины, поэтому плотность находится из выражения

$$\rho_{РСС} = \frac{\rho_{рол} V_{рол} Z + \rho_c V_c + \rho_{см} V_{см}}{V_{РСС}}; \quad (17)$$

теплоемкость:

$$C_{РСС} = \frac{C_{рол} V_{рол} Z + C_c V_c + C_{см} V_{см}}{V_{РСС}}. \quad (18)$$

В формулах (17) и (18) индексы соответствуют: РСС — ролики—сепаратор—смазка; *рол* — ролик; *c* — сепаратор; *см* — смазка.

Эквивалентная теплопроводность комплекса РСС в

направлениях осей цилиндрической системы координат модели определялась по формуле

$$\lambda_{РСС} = \frac{\lambda_{рол} V_{рол} Z + \lambda_c V_c + \lambda_{см} V_{см}}{V_{РСС}} \cdot n, \quad (19)$$

где *n* — частота вращения соответственно для оси *y* — частота вращения сепаратора подшипника; для оси *z* — *n* = 1; для оси *x* — частота вращения ролика вокруг своей оси.

Аналогичным образом в модели определялись теплопроводности всех вращающихся тел буксового узла.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ И ОБТЕКАНИЯ

Буксовый узел работает в условиях обтекания воздушным потоком от движения при различных температурах внешней среды. Для учета влияния данных факторов на тепловой режим узла использовалась модель для расчета обтекания встречным потоком воздуха буксового узла, разработанная ранее в [1]. При этом для отработки модели работы узла и сравнения с результатами стендовых испытаний не учитывался обдув встречным потоком воздуха, возникающий при движении вагона. В данном случае внешние граничные условия теплообмена являются граничными условиями 3-го рода, т.е. задавались температура окружающего воздуха и коэффициенты теплоотдачи на поверхностях буксового узла. Учет теплоотдачи за счет конвекции в неограниченном пространстве вокруг неподвижных деталей буксового узла и подвижных производился согласно разработанному ранее алгоритму для стандартных роликовых букс [4].

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки достоверности разработанной термо-механической модели проводились тестовые расчеты без обдува встречным воздухом и экспериментальные исследования в аналогичных условиях. Для данных целей был изготовлен ЗАО «НПЦ Инфотэкс» специальный стенд. Стенд (рисунок 6) предназначен для имитации движения колесной пары со скоростью до 60 км/ч путем вращения оси колесной пары с установленным на нее буксовым узлом. На буксовый узел создаются осевая и радиальная нагрузки. Для имитации обдува воздуха при движении вагона может быть использована подача воздуха со скоростью, соответствующей движению вагона, через гофрированный трубопровод от компрессора. Испытаниям на стенде подвергался кассетный подшипник, установленный в стандартный корпус буксы.

При испытаниях регистрировались следующие параметры:

а) температура посадочной поверхности наружного кольца переднего и заднего подшипника (не менее восьми точек на одно кольцо) через просверленные в

корпусе буксы отверстия и установленные в них прецизионные полупроводниковые датчики температуры LM235;

б) температура внешней части корпуса буксы в нескольких сечениях, крепительной и смотровой крышки буксового узла инфракрасным электронным бесконтактным термометром RAYM4P (фирма RAYTEK), а также установленными на поверхности данных деталей цифровыми датчиками iButton DS1990A (Dallas Semiconductor).

Испытания на стенде проводились без обдува в режиме эксплуатационных нагрузок с выходом на стационарный режим теплового состояния буксового узла. При этом на стенде реализовывались вертикальная (радиальная к подшипнику) и осевая (аксиальная) нагрузки, аналогичные по значениям, примененным в модели.

Результаты исследований на стенде конического подшипника в стандартном корпусе буксы представлялись в виде графиков изменения во времени температуры в верхней и нижней частях корпуса. Экспериментальные графики сопоставлялись с расчетными, полученными на разработанной модели (рисунок 7) для конического подшипника и подшипников цилиндрического типа (модель представлена в работе [4]). Анализ сопоставления гра-

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ СТЕНДА

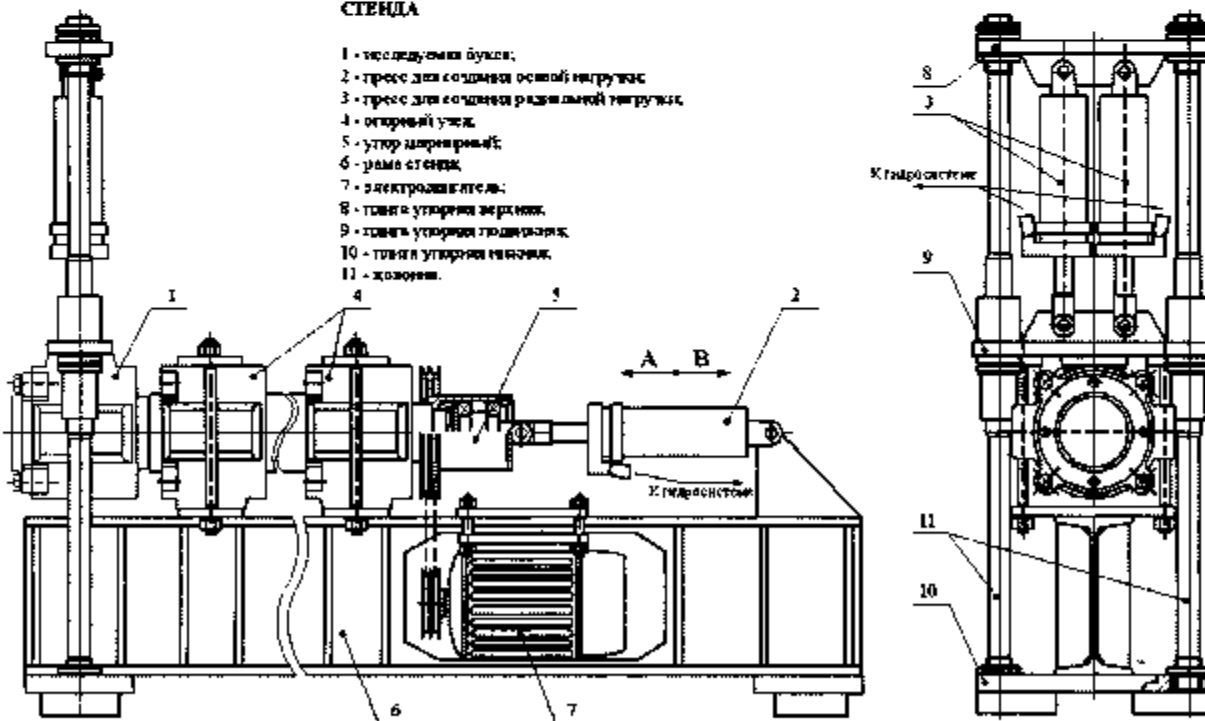


Рисунок 6 — Эскиз стенда для проведения испытаний буксового узла

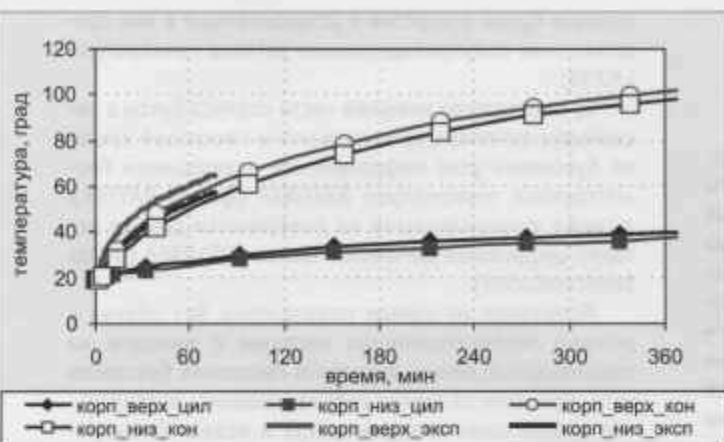


Рисунок 7 — Зависимости нагрева корпуса буксы: с коническим подшипником (экспериментальные на стенде и расчетные); с подшипником цилиндрического типа (расчетные)

фиков, полученных для конических подшипников, показывает, что расчеты на модели соответствуют экспериментальным результатам, а это говорит о работоспособности рассмотренной термомеханической модели и возможности ее дальнейшего применения для исследования буксового узла, выбора диагностических критериев буксы с кассетным подшипником.

Полученные зависимости подтверждают, что температурный режим работы буксового узла с кассетным подшипником выше, чем у типового подшипника. Следует сказать, что тепловое состояние каждого исправного буксового узла уникально и связано с конкретным техническим состоянием каждого подшипника, состоянием смазки, поверхностей тел качения, величин зазоров в соединениях и др. Практический опыт использования средств теплового контроля и опытные данные по измерению температуры работающих буксовых узлов в пути следования показывают, что температура исправно работающих букс может отличаться даже на одной оси в 2-2,5 раза. В модели это явление может быть учтено заданием определенных значений коэффициента трения качения и скольжения. В наших исследованиях рассматривался новый подшипник, что учитывалось при задании соответствующих значений коэффициентов трения.

Тепловое состояние буксового узла существенно меняется из-за увеличения теплоотдачи вследствие обтекания воздушной среды от движения вагона, а также зависит от температуры окружающей среды. В связи с этим выполнены исследования на модели работы буксы с коническими и подшипниками цилиндрического типа.

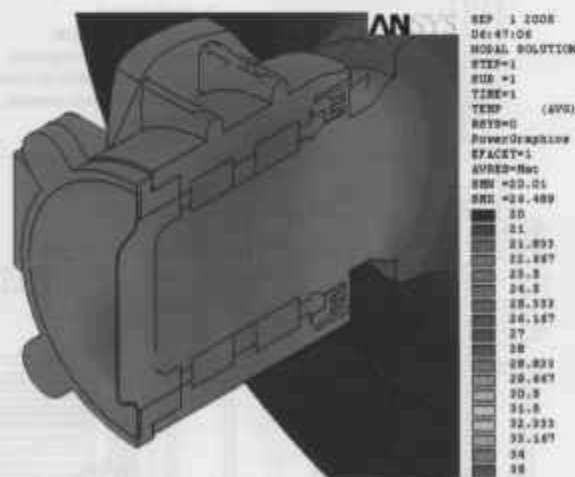
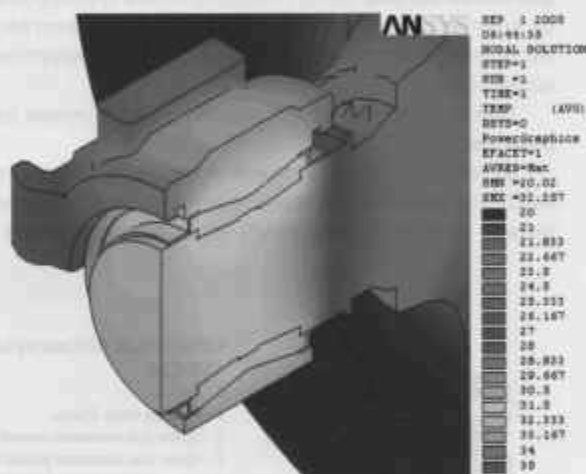
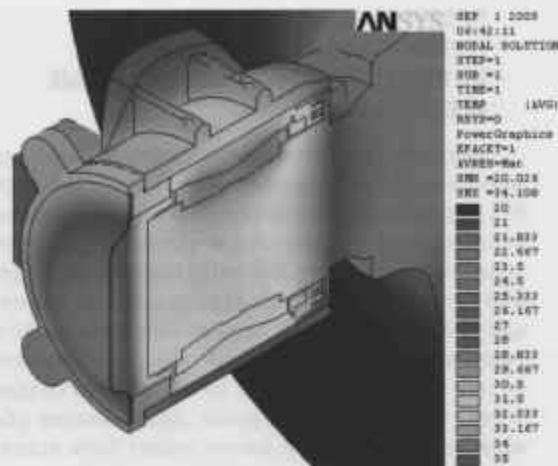


Рисунок 8 — Температурные поля нагрева различных конструкций букс с коническим подшипником и подшипником цилиндрического типа при внешней температуре воздуха +20°С и скорости движения вагона 60 км/ч

дрического типа при температуре окружающей среды $+20^{\circ}\text{C}$ и скорости движения вагона 60 км/ч . Исследования позволили получить и сравнить температурные поля в буксах разных конструкций при движении вагона (рисунок 8).

Поскольку буксовый узел работает в широком диапазоне температур, то для дальнейшего изучения работы кассетного подшипника были получены зависимости температур в буксовом узле от температуры окружающей среды в интервале от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$ на скорости движения 60 км/ч (рисунок 9). Расчетные зависимости показывают, как влияет обдув встречным воздухом на тепловое состояние букс различных конструкций. Аналогичные зависимости могут быть построены на разработанной модели не только для новых подшипников, но и для различного состояния, а также для различных скоростей движения вагона, степени загрузки вагона и могут служить для выбора температурных критериев дефектации буксового узла с кассетным подшипником в пути следования.

Таким образом, получена и апробирована модель

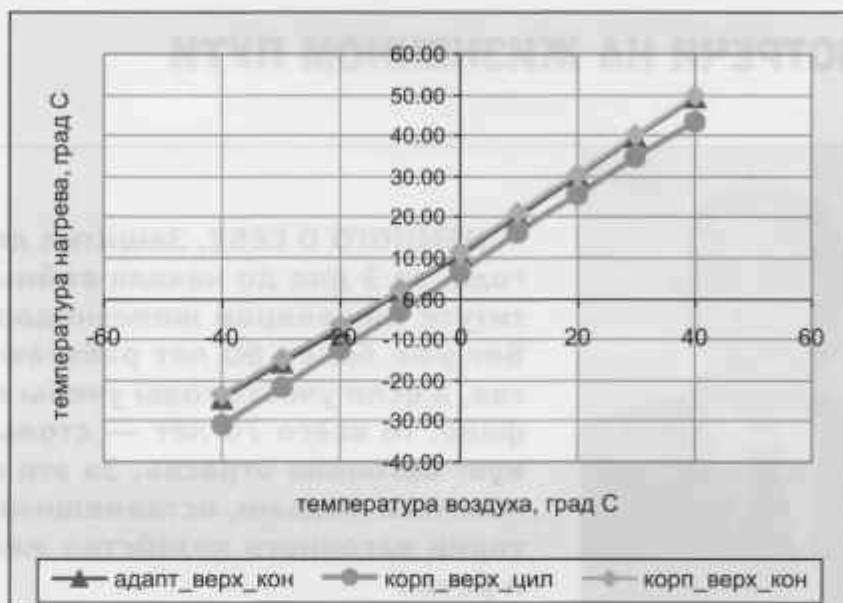


Рисунок 9 — Расчетные зависимости нагрева буксы от температуры воздуха при скорости движения вагона 60 км/ч для двух вариантов конструкции буксы с коническим подшипником кассетного типа (в стандартном корпусе буксы и с адаптером) и буксы с подшипником цилиндрического типа

тепловыделения в работающем буксовом узле грузового вагона разных вариантов конструкции с коническим подшипником кассетного типа. Модель используется в настоящее время для выбора и обоснования температурных критериев контроля данных букс в эксплуатации приборами тепловой диагностики букс типа КТСМ-01 и КТСМ-02.

Литература

1. Павлюков А.Э., Миронов А.А., Занкович А.В. Диагностическая модель бесконтактного теплового контроля букс подвижного состава // Транспорт Урала. — 2004. — № 2. — С. 44—52.
2. Черненко О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: Справочник-каталог. — М.: Машиностроение, 2003. — 576 с.
3. Eschman P., Hasbargen L., Weigand K. Ball and Roller Bearings. Theory, Design and Applications. — John Wiley & Sons Ltd., 1985. — 492 p.
4. Миронов А.А., Занкович А.В., Павлюков А.Э. Разработка термомеханической модели работы буксового узла грузового железнодорожного вагона // Механика и процессы управления: Труды 34 Уральского семинара по механике и процессам управления / УО РАН. — Екатеринбург.: Миасский научн. центр, 2004. — Т. 2. — С. 188—197.

ВСТРЕЧИ НА ЖИЗНЕННОМ ПУТИ



Григорий Константинович Сендеров, канд. техн. наук, Почетный железнодорожник

НЕМНОГО О СЕБЕ. Защитил диплом 19 июня 1941 года, за 3 дня до начала войны, в Ростовском институте инженеров железнодорожного транспорта. Вот уже более 60 лет работаю в вагонном хозяйстве, а если учесть годы учебы в институте и на рабфаке, то всего 70 лет — столько, сколько существует вагонная отрасль. За это время встречался со многими людьми, оставившими большой след в истории вагонного хозяйства железных дорог. О них и речь.

3 ИЮЛЯ 1933 ГОДА ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО БЫЛО ВЫДЕЛЕНО В САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ.

С Л.П. Малькевичем, одним из первых начальников вагонной службы Свердловской железной дороги, я познакомился, когда работал в управлении Южно-Уральской железной дороги. Л.П. Малькевич был уже начальником дороги, а потом первым заместителем министра путей сообщения.

Это был требовательный, очень опытный руководитель дороги. И при этом высокого роста, необыкновенно красивый мужчина.

Некоторые недруги за глаза называли Л.П. Малькевича «цыганский барон» и утверждали, что к моменту его вечернего выхода из управления дороги у лестницы собирались женщины, чтобы просто полюбоваться на него.

В Урало-Сибирском округе железных дорог мне довелось работать под руководством Н.Т. Кошечева, а потом Н.И. Кириллова и П.Ф. Хахаева, длительное время работавших начальниками службы вагонного хозяйства Свердловской дороги. Руководителем Урало-Сибирского округа был В.П. Егоров, впоследствии начальник Свердловской железной дороги.

От них, и особенно от начальника управления вагонного хозяйства округа, в последующем зам. ЦВ Н.Т. Кошечева, я научился понимать работу транспорта, разбираться в конструкциях вагонов и вагонном хозяйстве.

В 1958 году моя судьба круто изменилась. Меня перетянул в науку многогранно талантливый человек В.И. Гридюшко, впоследствии доктор технических наук, заведующий лабораторией ВНИИЖТ.

Работая руководителем лаборатории, я сохранил тесные контакты с руководством службы вагонного хозяйства Свердловской, Южно-Уральской и других дорог. Это В.А. Чельшев, его заместители И.И. Пестов, А.М. Никишов, Ю.С. Подшивалов — впоследствии начальник ПКБ ЦВ, В.П. Скоробогатов — в дальнейшем зам. ЦЛ, А.М. Колесников и многие другие. Особые отношения, переросшие затем в большую дружбу, сложились с П.Р. Лосевым, старейшим знатоком вагонного хозяйства. Вместе с П.Р. Лосевым и доктором технических наук С.А. Другалем, специалистом по механизации грузовых работ (и по совместительству — известным писателем-фантастом), написана книга «Сохранность вагонов при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах», переизданная в 1984 году. С ними и многими другими мне в 1976 году посчастливилось быть руководителем разработки ГОСТ 22235-76 по сохранности вагонов.

Этот ГОСТ и сегодня является самым главным действующим нормативно-техническим документом, содержащим комплекс конкретных требований к устройствам и оборудованию, используемому при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ с разными типами вагонов.

При разработке новых вагонов и оборудования они проверяются на соответствие требованиям этого стандарта.



Можно отметить, что впоследствии совместно с В.И. Гридюшко, П.Р. Лосевым, Ю.С. Подшиваловым, В.А. Чельшевым и многими другими за комплекс работ по совершенствованию технического обслуживания вагонов и обеспечению их сохранности я был представлен и награжден премией Совета Министров СССР.

Много интересных встреч было у меня в период работы в Уральском отделении ВНИИЖТ.

Вот лежит книга «Расчет вагонов на прочность», 1960 г. издания, с дарственной надписью: «Уважаемому тов. Сендерову Григорию Константиновичу от авторов. 28.11.61. С.В. Вершинский».

Сергей Васильевич Вершинский разработал и применил основные положения норм МПС для расчета и проектирования вагонов.

Известны его основополагающие работы по продольной динамике.

С.В. Вершинский был исключительно интеллигентным человеком. Когда к нему приходили за советом, он, несмотря на огромную занятость, откладывал свою работу и внимательно, заинтересованно выслушивал собеседника, погружался в его проблему и высказывал свою точку зрения.

Я очень благодарен ему за внимательное, доброжелательное отношение. Он рассмотрел мою диссертационную работу и рекомендовал доктору технических наук Л.А. Шадуру принять ее для оппонирования.

Я был очень рад знакомству с Леонидом Абрамовичем Шадуrom, автором многочисленных учебников и трудов в области вагонного хозяйства. О его внимании и доброжелательности говорит такой факт, что после прочтения моей диссертации он позвонил мне домой, высказал положительное мнение и прислал отзыв на 9 страницах.

Очень полезной была встреча и совместная работа с талантливым испытателем и расчетчиком прочности вагона кандидатом технических наук А.В. Федосеевым. О ней напоминают труды ВНИИЖТ «Пути повышения прочности вагонов» с дарственной надписью: «Уважаемому Григорию Константиновичу на добрую память и с благодарностью за помощь при написании книги. Автор. 08.02.1967». Проведенные под его руководством прочностные испытания полувагонов при их разгрузке на вагоноопрокидывателях, определение напряженного состояния рамы вагона при сбрасывании на нее груза были для меня очень полезной школой.

Мне довелось встречаться с легендарным П.И. Травинным, который в свое время отвозил письмо В.И. Ленина американским рабочим. П.И. Травин был одним из разработчиков расчета вагонов с учетом метода подбора упругих свойств и статической

неопределенности. Он впервые разработал основные данные для расчета и проектирования вагонов. П.И. Травин перевел американскую энциклопедию по вагонам. В 1930 году он возглавил впервые организованное Центральное вагонное конструкторское бюро, разработавшее конструкцию 4-осных вагонов.

Особенно запомнилась встреча во ВНИИЖТе. Он спускался по лестнице, стройный, выше среднего роста, в черных начищенных сапогах. Я остановил его на лестничной площадке. В то время я занимался сохранностью вагонов на вагоноопрокидывателях и попросил его разъяснить, как в Америке обеспечивают сохранность полувагонов при боковой привалке на вагоноопрокидывателях. Он был настолько внимателен, что остановился со мной, молодым инженером, и рассказал, что применяют армировку в виде деревянных брусев. Следует отметить, что в наших требованиях мы предусмотрели резиновую армировку привалочной стенки.

Мимолетной была встреча с изобретателем и инженером А.Т. Ханиным. Запомнилось, что он был небольшого роста, полноватый.

С 1937 года начался выпуск грузовых тележек с литыми боковыми рамами и надрессорной балкой. Тележки имели рессорное подвешивание из пружин и эллиптические рессоры.

А.Т. Ханин предложил работающий и поныне рессорный комплект из пружин и клиновых амортизаторов. За эту тележку — ЦНИИ-Х-3 ему пришлось судиться, так как без решения суда ему не могли оплатить вознаграждение за изобретение. Эта тележка и поныне работает под всеми грузовыми вагонами.

Очень добрая память осталась после знакомства с изобретателями автосцепки СА-3 И.Н. Новиковым, В.Г. Головановым, работавшими под руководством профессора В.Ф. Егорченко. В 1932 года эта сцепка в конкурсном испытании победила все автосцепки мира. В.Г. Голованов почему-то напоминал мне киноартиста: выше среднего роста, черноволосый, красивый.

Очень простым в общении оказался И.Н. Новиков. Приходилось встречаться с ним неоднократно. Он заинтересованно рассматривал данные об отказах автосцепного устройства на дорогах Урала — Сибири, задавал вопросы.

А первое знакомство с доктором технических наук В.Ф. Егорченко состоялось, когда я работал в округе железных дорог Урала — Сибири. Я выполнил расчет тормозного пути по одному из крушений и послал ему на рассмотрение. В.Ф. Егорченко очень любезно ответил, что расчет правильный, но нельзя обвинять машиниста в связи с невозможностью (в то время) точно определить скорость в начале торможения.

С В.Ф. Егорченко довелось встретиться еще раз при комиссионных испытаниях на Свердловской железной дороге тормоза Матросова МТЗ-135.

Очень приятное впечатление осталось и от лауреата Сталинской премии, изобретателя, машиниста И.К. Матросова. Следует отметить, что испытания проходили интересно и с приключениями. На довольно большой скорости сошла третья тележка тормозоиспытательного вагона.

Испытания показали преимущества нового тормоза. В испытаниях участвовали главный конструктор МТЗ В.И. Крылов и доктор технических наук В.М. Казаринов, с которым впоследствии приходилось неоднократно встречаться, и я всегда поражался его благожелательности, обширной эрудиции и доброму отношению к людям.

О совместной работе с доктором технических наук В.П. Шейкиным и кандидатом технических наук Л.Б. Тишковым, крупными специалистами в области станционной техники и технологий, напоминает книга «Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР» с дарственной надписью: «Уважаемому Григорию Константиновичу Сендерову в знак глубокой признательности за тесное сотрудничество и внимание вопросам проектирования и эксплуатации сортировочных устройств. С глубоким уважением, Шейкин В.П., Тишков Л.Б.». Я многому у них научился. Нами была проделана большая совместная работа по разработке требований к обеспечению сохранности вагонов при маневровых работах.

Много полезных для работы лаборатории встреч было с доктором технических наук В.Г. Иноземцевым, определившим основные направления развития тормоза в стране.

С интересными, талантливыми инженерами-учеными посчастливилось работать непосредственно в Уральском отделении ВНИИЖТ.

Сотрудники лаборатории вагонов П.С. Шайдулов, М.В. Орлов (бывшие работники Свердловской железной дороги) и другие разработали устройство бесконтактного контроля нагрева букс в поездах ПОНАБ. Это был прорыв в создании средств технического контроля за состоянием вагонов на железных дорогах на ходу поезда.

Большая помощь в этой работе была оказана вагонными службами Свердловской, Южно-Уральской и Западно-Сибирской железных дорог.

В дальнейшем под руководством инженера С.Н. Лозинского были разработаны более совершенные системы ДИСК и ДИСК2. Очень жаль, что эта выдающаяся работа не была отмечена правительственными наградами.

И сейчас молод душой изобретатель ПОНАБа П.С. Шайдулов. В свои более чем 90 лет он сохраняет не только оптимизм, но и физическую форму, катается на коньках, занимается садом.

М.В. Орлов продолжает преподавательскую работу в УрГУПС, пользуется большим уважением студентов и поддерживает приобретенную в период увлечения альпинизмом форму.

Большой вклад в ремонт и эксплуатацию тормозов внесли сотрудники лаборатории: доктор технических наук М.И. Глушко, который не только обладает глубокими знаниями, но и еще является остроумным собеседником, и кандидат технических наук Ю.В. Зыков, который в настоящее время преподаёт в УрГУПС, к тому же он великолепный художник, картинами которого мы любуемся. Ими была создана уникальная тормозная испытательная станция на 200 вагонов, ряд стендов для испытания регулятора, тормозных рукавов и др.

Всем коллективом лаборатории совместно с ПКБ ЦВ в 1989 г. был разработан Типовой технологический процесс работы ПТО, системно освещающий всю эксплуатационную работу вагонного хозяйства. В 1996 г. он был нами совместно с ПКБ ЦВ переработан с небольшими изменениями и дополнениями и введен в действие в 1998 г.

С удовольствием встречаюсь с внесшими большой вклад в развитие науки в вагонном хозяйстве, в подготовку кадров, в решение практических задач на дорогах докторами технических наук УрГУПС А.В. Смольяниновым, А.Э. Павлюковым, В.Ф. Лапшиным.

В короткой статье невозможно описать все встречи.

Особенно запомнились деловые качества и принципиальные решения начальников Главного управления вагонного хозяйства Л.В. Шовского (с которым одновременно учился в РИИЖТе) и И.И. Хаба, руководителей и сотрудников ВНИИЖТ — В.Г. Иноземцева и И.В. Королева, Н.Н. Кудрявцева, С.М. Бородая, А.А. Долматова, руководителей ВНИИВа Г.А. Казанского, А.И. Речкалова и многих других, с которыми приходилось встречаться неоднократно.

Все они внесли большой вклад в развитие и становление вагонного хозяйства.

При выполнении научных исследований по разработке требований к конструкции и технологии работы вагонопрокидывателей, гаражей-размораживателей с инфракрасным и остропиковым разогревом грузов, кранов, погрузчиков различных типов и модификаций мне довелось побывать на многих предприятиях. Запомнились встречи с заместителями директоров по транспорту, начальниками транспортных цехов крупнейших металлургических

комбинатов — Криворожского, Орско-Халиловского, Череповецкого, Ново-Тульского, Магнитогорского, Челябинского и Нижне-Тагильского. На последних трех испытаниях длились от двух недель до месяца.

Но больше всего запомнились испытания новых типов вагоноопрокидывателей для Минэнерго в июле 1971 года на Ладыжинской ГРЭС и для Минчермета на Карагандинском металлургическом заводе. Испытания проводились Государственной межведомственной комиссией, членом которой я был от МПС.

Вот тут особенно хочется рассказать о председателе комиссии — металлурге Алексее Сергеевиче Хоружем. Кстати, с большим удовольствием прочел в газете «Гудок» от 12 июля 2005 года в материалах о совещании, проведенном по инициативе металлургов, в котором участвовали ответственные работники ОАО «РЖД». На совещании выступил А.С. Хоружий. Теперь он уже вице-президент Международного союза металлургов и президент Союза грузоотправителей и работников промышленного железнодорожного транспорта. Я этому не удивился, а обрадовался.

Уже первое знакомство с Алексеем Сергеевичем при испытании на Ладыжинской ГРЭС нового вагоноопрокидывателя с боковой разгрузкой показало его эрудицию, умение широко мыслить и в то же время глубоко вникать в детали, например зависимости сохранности вагонов от конструкции и работы вагоноопрокидывателя.

Вот перед мной акт от декабря 1972 года комиссии на Карагандинском металлургическом заводе по приемке опытно-промышленного образца роторного стационарного вагоноопрокидывателя для разгрузки полувагонов грузоподъемностью 60, 93 и 125 т.

Председатель комиссии — главный инженер транспортного управления Минчермета А.С. Хоружий.

Члены комиссии — представители Минэнерго, Минтрансаша, МПС, ДЗМО, Гипрококса, Гипронеза, ВНИИЖТ, ВНИИВ, ПромтрансНИИпроекта.

Июль 1971 года. Примерно в том же составе приемка вагоноопрокидывателя для Минэнерго на Ладыжинской ГРЭС. И акт приемки.

Как член межведомственной комиссии от МПС, я предлагал требования к конструкции вагоноопрокидывателя, направленные на безусловное обеспечение сохранности вагонов. И, несмотря на то что в ряде случаев эти предложения требовали существенной переделки вагоноопрокидывателей, являлись затратными, они всегда поддерживались Алексеем Сергеевичем.

В заключение хотелось бы отметить наиболее значительные изменения конструкции грузовых вагонов, начатые и проведенные до и после выделения вагонного хозяйства в самостоятельную отрасль.

Это прежде всего переход на стальные цельнокатанные колеса взамен бандажных, спицевых и чулунных колес Гриффина.

Переход на 4-осные вагоны, начавшийся в 1930 году с внедрением электросварки.

Переход на тележки со стальными литыми элементами рамы, отказ от поясных тележек. Переход и внедрение тележек инж. Ханина (таблица 1).

С участием лаборатории вагонов УО ВНИИЖТ на основании данных о повреждениях вагонов было подготовлено технико-экономическое обоснование необходимости замены деревянной обшивки полувагонов на металлическую. Последовательность перехода на металлическую обшивку показана в таблице 2.

Таблица 1 — Оборудование грузовых вагонов тележками

Тип тележки (год начала изготовления)	Наличие в парке, %					
	1963	1973	1983	1985	1990	1995
Поясные (1925 г.)	25	5	-	-	-	-
Литые типа МТ50, УВЗ, М-44 (1937 г.)	35	26	10	7	5	0
Литые типа ЦНИИ-ХЗ (1956 г.)	40	69	90	93	95	100

Таблица 2 — Оборудование грузовых вагонов металлическими кузовами

Тип вагона	Наличие в парке, %			
	1966	1983	1990	2000
Полувагоны	4,9	78,0	96,4	100,0
Крытые	-	13,3	23,3	60,0
Платформы (металлические борта)	60,3	86,5	100,0	100,0

Революционными преобразованиями в конструкции вагонов и в связи с этим всей работы железнодорожного транспорта был переход на автоматическую сцепку и автоматические тормоза (таблицы 3 и 4), завершившийся соответственно в 1955 и 1957 годах.

Завершающим эти революционные преобразования было оборудование вагонов буксами с роликовыми подшипниками (таблица 5).

Все эти совершенствования конструкции вагонов, повышение надежности сборочных единиц и деталей вагона явились предпосылками к увеличению осевой нагрузки до 23,5 т соответственно грузоподъемности вагонов до 70 и более тонн, повышению скоростей движения, переходу к ремонту по пробегу, а также предпосылками возможности дальнейшего повышения осевых нагрузок до 25 и даже 30 тс и увеличению межремонтного пробега до 500 тыс. км.

Таблица 3 — Оборудование грузовых вагонов автоматической сцепкой

Год	1934	1935	1940	1950	1956	1957
%	0	0,5	31,2	52,5	82,3	100,0

Таблица 4 — Оборудование грузовых вагонов воздухораспределителями различных типов

Тип воздухораспределителя (год начала изготовления)	Наличие в парке, %				
	1966	1983	1985	1990	2000
Казанцева (1926 г.)	-	-	-	-	-
М 320 (1932 г.)	23,7	0,5	-	-	-
М 135 (1953 г.)	27,7	2,5	-	-	-
270.002 (1960 г.)	48,6	10,0	55,0	15,0	0,0
270.005 (1968 г.)	-	47,0	-	-	-
483.000 (1976 г.)	-	40,0	45,0	85,0	100,0

Таблица 5 — Динамика оборудования парка грузовых вагонов роликовыми подшипниками, %

Показатель	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1993
Новые поставки	2,4	25,0	48,5	77,9	86,0	100,0	100,0	100,0
Вагоны эксплуатационного парка	-	10,4	23,2	38,0	53,2	67,0	85,0	100,0

О Т К Р Ы Т О Е А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О

ПЕРВОУРАЛЬСКОЕ РУДОУПРАВЛЕНИЕ

ПРОМЫШЛЕННАЯ ДОБЫЧА РУДЫ, ЕЕ ОБОГАЩЕНИЕ, ВЫПУСК ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ



Открытое акционерное общество "Первоуральское рудоуправление"
623105, Россия, Свердловская область, г. Первоуральск, п. Магнитка

Телефоны: (34392) 21581 - директор, 24697 - зам. директора, 21736 - гл. инженер, 27898 - коммерческий отдел.

Факс: (34392) 24697

Телетайп 348714

