

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 Афанасенко Анатолий Ильич — д.т.н., УГГУ (Екатеринбург)
 6 Бачурин Николай Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 7 Баутин Сергей Петрович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 8 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 Грицык 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 Коротаев 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 Полов Валерий Евгеньевич — д.т.н., НПП «Спектр» (Екатеринбург)
 24 Рачек Светлана Витальевна — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 25 Резник Леонид Григорьевич — д.т.н., ТГНГУ (Тюмень)
 26 Самуйлов Валерий Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 27 Сергеев Борис Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 28 Скоробогатов Семен Макеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 29 Смольянинов Александр Васильевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 30 Ставров Адольф Павлович — д.т.н., ЮУрГУ (Челябинск)
 31 Тимофеева Галина Адольфовна — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
 32 Умняшкин Владимир Алексеевич — д.т.н., УДГУ (Ижевск)
 33 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

В НОМЕРЕ:**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА.
КАДРОВЫЕ ВОПРОСЫ**

- В.М. Сологубов, С.П. Каменская / ОСЖД И ОТИФ:
ПУТИ К СБЛИЖЕНИЮ 2
 Р.Н. Ковалев, В.Е. Андреев / АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЫНКА
ГРУЗОВЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ПЕРЕВОЗОК В УрФО 8
 Н.Н. Андросов / КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО
ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА 14
 В.А. Антропов / ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ КАДРОВОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ 19
 В.Н. Коротаев, С.В. Чечкин, И.Б. Стафейчук / ОПТИМИЗАЦИЯ
РЕГИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ
ПОТРЕБЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ... 24

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ**

- А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Н.И. Сергеев / ОПРЕДЕЛЕНИЕ
НАТЯГА ПАРЫ «БАНДАЖ — ОБОД» С ПОМОЩЬЮ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ 31
 А.В. Сирин / МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ . . 38
 А.П. Сухогозов, И.А. Пятецкий, А.А. Косяков, А.А. Бунзя
/ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ
ИЗОЛЯЦИИ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 44
 Б.П. Пасынков / ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЙ КУЗОВ
КРЫТОГО ВАГОНА С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ СВОЙСТВАМИ ... 52
 А.М. Боровских / УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА ОХВАТА ЗВЕЗДОЧКИ
ГУСЕНИЦЫ ТРАКТОРА 59

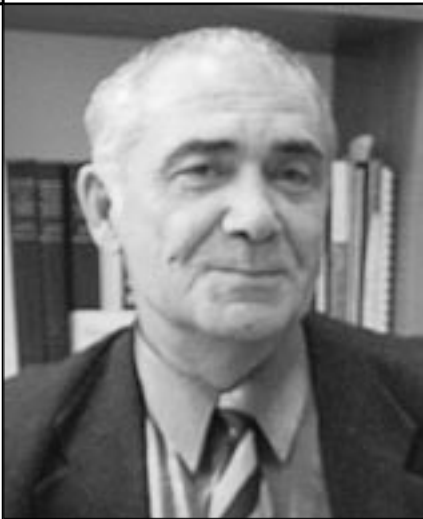
**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ**

- Н.Н. Черемных, Б.Н. Карев, Б.А. Сидоров / ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МИНИМАЛЬНО БЕЗОПАСНОГО РАССТОЯНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ
АВТОМОБИЛЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ 63
 Ю.Д. Силуков / АНТИГОЛОЛЕДНОЕ ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ .. 72
 А.П. Котельников / СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ,
ВЫЗВАННЫХ УСТАЛОСТНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МАШИН 74

ЮБИЛЕЙ

- В.А. Коротков / К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ПРОФЕССОРА И.Н. БОГАЧЕВА 81

ОСЖД И ОТИФ: ПУТИ К СБЛИЖЕНИЮ



Владислав Михайлович Сологубов, к.э.н., доцент кафедры экономической теории и мировой экономики, УрГУПС



Светлана Петровна Каменская, аспирант кафедры экономической теории и мировой экономики, УрГУПС

Современные процессы интеграции и глобализации определяют формирование и деятельность различных международных организаций, играющих существенную роль в мировой экономике. Их основной функцией является обеспечение своих стран средствами сотрудни-

чества в областях, в которых это сотрудничество создает преимущество их членам, в том числе и в области транспорта.

Нужно сказать, что международные транспортные связи подлежат международной правительственной регламентации довольно давно. Первые попытки международных соглашений, которые касались общих правил перевозки и страхования грузов, относятся к XVII—XVIII вв. Однако это были разрозненные попытки, часто заканчивавшиеся неудачей.

Практика устойчивых, систематических и всеохватывающих договоров и конвенций стала устанавливаться лишь в конце XIX века. По мере развития и углубления международных правовых и экономических отношений потребность в соглашениях, принципах и нормах управления перевозочным процессом возросла. Кроме того, все большее внимание стало уделяться тем организациям, которые регулируют финансовые и правовые отношения участников международных перевозок.

Ведущее место в транспортных системах Евразии занимают железные дороги, а следовательно, ключевую роль играют железнодорожные организации, среди которых наибольший интерес для России представляют две: Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) и Межправительственная организация железнодорожного транспорта (ОТИФ).

Как ОСЖД, так и ОТИФ занимаются регламентацией международных железнодорожных перевозок, формированием согласованной транспортной политики в этой области, разработкой стратегии деятельности железнодорожного транспорта. Казалось бы, они занимаются общим делом и их можно отнести к конкурирующим организациям. Однако так ли это на самом деле?

Если рассматривать временные рамки, то ОТИФ была образована еще в 1902 году, а ОСЖД — только в 1956 г.

Главной целью ОТИФ было установить единый правовой режим применительно к прямым международным перевозкам пассажиров, багажа и товаров среди государств — членов ОТИФ, используя железнодорожные линии, а также облегчить развитие названного режима. Были созданы Единые правила перевозки пассажиров (Contrat de transport international ferroviaire des voyageurs et des bagages — CIV) и грузов (Contrat de transport international ferroviaire des marchandises — CIM), которые регулировали международные перевозки, включая перевозки опасных грузов (RID), вагонов частных лиц (RIP) и транспортировку контейнеров (RICO). Причем, в отличие от ОСЖД, правовой режим ОТИФ

применялся и применяется не только к железнодорожным линиям, но и к внутренним навигационным путям, а именно к автомобильным дорогам и водным линиям.

Что касается ОСЖД, эта организация занимается регулированием железнодорожных перевозок стран — членов, для чего были заключены Соглашение о международном пассажирском сообщении (СМПС) и Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС).

Таким образом, в Европе, Азии и Северной Африке стали применяться две отдельные системы международного железнодорожного права: Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении в рамках ОСЖД (СМГС, вступило в действие с 1 ноября 1951 года) и Единые правовые предписания к Договору о международных железнодорожных перевозках грузов в рамках ОТИФ (СИМ, с 1 января 1893 года).

В настоящее время 42 государства являются членами ОТИФ, среди них почти все европейские страны, Ливан, Ирак, Иран, Сирия, Турция, 3 североафриканские — Марокко, Тунис, Алжир, а также бывшие республики СССР — Литва, Латвия и Украина. Едиными правилами CIV регулируется около 240 000 км железнодорожных линий и около 23 000 км навигационных линий.

Членами ОСЖД являются всего 25 государств, среди которых можно назвать все республики СНГ, за исключением Армении, а также Болгарию, Венгрию, Вьетнам, Иран, Китай, Корею, Монголию, Польшу, Румынию, Словакию и Чехию. Из них в СМГС участвуют 22 страны с протяженностью железнодорожных линий более 240 тыс. км, а сторонами СМПС являются 23 азиатских и европейских государства с протяженностью железнодорожных линий более 252 тыс. км. Причем нужно отметить, что СМПС регулирует правовые взаимоотношения при организации перевозок пассажиров, багажа и товарабагажа, как в прямом международном железнодорожном, так и в смешанном железнодорожно-морском сообщении между сторонами Соглашения.

Однако для ОСЖД правовое регулирование было не главным. Основными направлениями деятельности этой организации, помимо всего прочего, являются сотрудничество по проблемам, связанным с экономическими, информационными, научно-техническими и экологическими аспектами железнодорожного транспорта; сотрудничество в области эксплуатации железных дорог и сотрудничество по техническим вопросам, касающимся дальнейшего развития международных железнодорожных перевозок. ОСЖД занимается планированием международных пассажирских и грузовых перевозок между странами — участницами, разработкой тарифов, организацией наиболее экономичного использова-

ния подвижного состава, стандартизацией верхнего строения пути, вагонов, локомотивов, устройств сигнализации и связи, научно-техническим сотрудничеством и др.

Все большее значение в деятельности ОСЖД приобретает совершенствование международных пассажирских перевозок. Создана сеть международных поездов типа «Интерэкспресс». Развивается сеть автоматизированной продажи билетов и резервирования мест в международных сообщениях. Все шире применяется современная техника в пассажирских вагонах и на вокзалах для создания наибольших удобств пассажирам.

Научно-техническое сотрудничество занимает важнейшее место в работе организации. За время существования ОСЖД разработано почти 200 тем по таким актуальным проблемам, как улучшение технического обслуживания подвижного состава, создание новых конструкций пути, устройств сигнализации, централизации и блокировки, и систем связи.

Таким образом, основное отличие между ОСЖД и ОТИФ условно можно обозначить как различные стратегии развития. Если ОТИФ пытается создать унифицированные правила перевозки грузов и пассажиров, что весьма затруднительно с точки зрения ситуации в различных странах, то ОСЖД больше внимания уделяет расширению сотрудничества железных дорог. Обе организации, по словам их представителей, существуют исключительно для улучшения ситуации на железных дорогах, только действуют разными способами: ОТИФ — путем установления единого правового режима применительно к прямым международным перевозкам пассажиров, багажа и товаров между государствами-членами, а ОСЖД — путем расширения сотрудничества по экономическим, информационным, научно-техническим и экологическим вопросам.

Помимо этого, к числу задач ОСЖД относится развитие и совершенствование международных железнодорожных перевозок, включая комбинированные, и в то же время разработка мероприятий по повышению конкурентоспособности железных дорог в сравнении с другими видами транспорта. Одним из этих вариантов является внедрение элементов так называемых интеллектуальных транспортных систем — систем автоматизированной передачи данных о перевозках между железными дорогами различных стран с внедрением микро-ЭВМ в работе станций, систем с использованием бортовых ЭВМ на локомотивах и др.

Эти системы позволяют применять постоянно развивающиеся новые информационные и телекоммуникационные технологии для повышения качества железнодорожных перевозок с точки зрения их безопасности, эффективности, комфорта и охраны окружающей среды. И только они помогут желез-

ным дорогам не отстать от конкурентных видов транспорта, в первую очередь от автомобильного и морского.

Кроме того, в настоящее время ведутся работы по получению информации о движении груза на всем пути следования — от погрузки до выгрузки — и по совершенствованию обмена данными между железными дорогами и таможенными органами в рамках программы «ТЕДИМ» (европейская программа логистики и телекоммуникации). Эта программа, нацеленная на информационное совершенствование и обеспечение грузовых перевозок в районе Балтийского моря, охватывает все виды перевозок, включая интермодальные и комбинированные. В настоящее время в рамках программы работают семь стран — членов: Россия, Германия, Финляндия, Эстония, Латвия, Литва и Польша, в проектах принимают участие представители Швеции и Дании.

А что же ОТИФ?

Поскольку главной целью этой организации было установить единый правовой режим применительно к прямым международным перевозкам пассажиров, багажа и товаров между государствами — членами, то вопросы сотрудничества в информационной, научно-технической области остаются в тени. Для этой организации было свойственно обеспечить сопровождение грузов, багажа и пассажиров, а также их правовую защиту.

ОТИФ, в отличие от ОСЖД, занимается также и решением финансовых проблем путем осуществления клиринговых расчетов между перевозчиками разных стран через аффилированный бельгийский банк, что снимает необходимость 100%-го авансирования транспортировки экспортируемых товаров и позволяет сокращать оборотные средства перевозчиков в огромных размерах. В случае возникновения споров по платежам эта организация способна через арбитраж урегулировать их.

Посмотрим, какими будут выгоды от вступления России в ОТИФ, на примере Свердловской области, если текущие расценки по ежегодным взносам составляют 6,4 швейцарских франков за 1 км железнодорожной линии и 3,2 швейцарских франков за 1 км навигационных линий.

Общая эксплуатационная длина железнодорожных линий Свердловской железной дороги составляет 7200 км. Таким образом, взнос будет равен 7200·6,4 швейц. фр. = 46080 швейц. фр. Стоимость экспорта Свердловской области в 2001 г. составила 2648,46 млн. долл., или 2648,46·1,35 швейц. фр. = 3575,42 млн. швейц. фр. Предположим, что транспортная составляющая в этой стоимости составляет 10%, тогда перевозчики должны заплатить 10%·3575,42 млн. швейц. фр. = 357,54 млн. швейц. фр.

Если бы Россия была членом ОТИФ и производились клиринговые расчеты, то перевозчики, вместо

того чтобы осуществлять 100%-е авансирование транспортной услуги, могли бы, как минимум, применить банковский депозит.

Ниже предлагается порядок расчета экономического эффекта только для Свердловской области при условии вступления России в ОТИФ. В основу расчета возьмем перевозки, осуществляемые в Западную Европу, в частности в Берлин. Берлин нами выбран не случайно, т.к. он является средней точкой в зарубежной части транспортного маршрута Урал — Западная Европа и мощным транспортно-логистическим центром, а также началом международного коридора (МТК) № 2, по которому осуществляется значительный объем перевозок из Екатеринбурга.

$$E = (Y \cdot V \cdot X \cdot d \cdot n / N) - M,$$

где E — экономический эффект;

Y — транспортная составляющая;

V — объем экспорта Свердловской области;

X — доля экспорта Свердловской области, направляемая в страны Западной Европы;

d — депозитная ставка;

n — среднее число дней нахождения груза в пути;

N — число дней в году;

M — годовой взнос в ОТИФ.

Тогда, если $Y = 10\%$, депозитная ставка = 10% годовых, а продолжительность прохождения груза при коммерческой скорости движения 1000 км/сутки (длина железнодорожного пути от Екатеринбурга до Берлина = 3582 км) = 3,5 суток, то

$$E = ((10\% \cdot 3575420000 \cdot X \cdot 10\% \cdot 3,5) / 365) - 46080 = 342848,49X - 46080, \text{ тогда экономический эффект будет положительным при } 342848,49X - 46080 > 0, \text{ т.е. при } X > 0,13.$$

Экспорт товаров Свердловской области в 2003 г. составил 3100 млн. долл. [1], т.е. вырос на 17% по сравнению с 2001 г., следовательно, выгоды от вступления России в ОТИФ будут расти.

Однако все дело в том, что сама железная дорога не заинтересована в этой выгоде, которую будет получать не она, а перевозчики. Возможно, в этом кроется причина полной незаинтересованности железной дороги России в ОТИФ. Вот почему необходимо создание какой-то ассоциации, объединяющей перевозчиков, которые оплачивали бы эти взносы.

Помимо финансовых и правовых аспектов, ОТИФ занимается разработкой транспортных схем для крупных грузопотоков и пассажиропотоков и координацией работы международных транспортных терминалов.

Таким образом, эти организации имеют мало общего.

ОСЖД активно содействует:

1) планированию международных пассажирских и грузовых перевозок между странами — участниками;

2) формированию согласованной транспортной политики в области международных железнодорожных перевозок;

3) разработке стратегии деятельности железнодорожного транспорта и стратегии деятельности ОСЖД;

4) совершенствованию международного транспортного права;

5) сотрудничеству по проблемам, связанным с экономическими, информационными, научно-техническими и экологическими аспектами железнодорожного транспорта;

6) развитию и совершенствованию международных железнодорожных перевозок, включая комбинированные перевозки;

7) разработке мероприятий по повышению конкурентоспособности железных дорог по сравнению с другими видами транспорта;

8) сотрудничеству с другими международными организациями, занимающимися вопросами железнодорожного транспорта, включая комбинированные перевозки.

ОТИФ концентрирует свое внимание:

1) на единых правилах перевозки грузов и пассажиров, которые применяются не только к железнодорожным линиям, но и к внутренним навигационным путям;

2) обеспечении сопровождения грузов, багажа и пассажиров и их правовой защиты;

3) осуществлении клиринговых расчетов между перевозчиками разных стран;

4) разрешении споров между перевозчиками и владельцами железнодорожных и других линий через арбитраж;

5) разработке транспортных схем для крупных грузопотоков и пассажиропотоков и координацией работы международных транспортных терминалов.

Из перечисленных выше целей и функций двух организаций очевидны выгоды для стран-участниц, причем преимуществ от вступления в ОТИФ больше. При этом следует напомнить, что ОТИФ, как организация с определенными обязанностями, была создана на основе соглашения по международному праву, которое было ратифицировано государствами — членами ОТИФ. Поэтому ОТИФ является межправительственной организацией, наделенной юридической силой в системе международного права и, следовательно, с хорошими способностями функционирования в сфере политического регулирования взаимодействия.

Поскольку ОСЖД также занимается некоторыми вопросами правового регулирования, необходимо провести соответствующие исследования, чтобы минимизировать возможные негативные последствия взаимодействия для железных дорог как стран—членов ОСЖД, так и стран—членов ОТИФ,

обозначить способы взаимодействия этих правовых систем, особенно в регионах их пересечения.

За все прошедшее время функционирования СМГС и СИМ как со стороны ОСЖД, так и со стороны ОТИФ предпринимались меры по гармонизации этих правовых документов.

Уже в 1956 г. на XI заседании ЕЭК ООН было выдвинуто предложение СССР о создании единого международного права и замене СИМ и СМГС новой конвенцией. Международный комитет железнодорожного транспорта (СИТ) предложил осуществление перевозок между участниками СИМ и СМГС по сквозной накладной. Но в силу политической ситуации и разногласий, существовавших в то время между Западом и Востоком, идея создания единого соглашения или единой накладной не привела к успеху.

В 1982 г. по инициативе ОСЖД были возобновлены переговоры между ОСЖД и ОТИФ, в результате чего была создана совместная группа по сближению — унификации положений СМГС и СИМ. За 1983—1987 гг. было проведено еще 10 совместных заседаний экспертов, унифицировано 17 положений, которые учтены соответствующим образом в СМГС и СИМ, но этого явно недостаточно.

В целях создания предпосылок для перехода в будущем к единым правилам международного железнодорожного транспортного права в 1991 г. в рамках ОСЖД приступили к разработке проекта Европейско-азиатской конвенции (ЕАК) на основе положений СМГС и СИМ. Однако ряд стран — членов ОСЖД и некоторые международные организации (ОТИФ) посчитали принятие нового (третьего) права неприемлемым наряду с действующими СИМ и СМГС, в результате чего в июне 1994 г. на XXII сессии совещания министров ОСЖД было решено приостановить работы на ЕАК, а накопленный материал использовать при совершенствовании СМГС и сближении его с другими правовыми документами.

В мае 1995 г. состоялось совместное совещание экспертов по сближению действующих соглашений. ОТИФ проинформировала о работах по коренной ревизии КОТИФ (Конвенция ОТИФ), были высказаны намерения о сотрудничестве в части сближения СМГС и КОТИФ. За это время разработан каталог проблем, которые могут иметь место в действующих правовых системах, и предложения по реализации некоторых из них. Проведено сравнение образцов накладных, количества и предназначения граф, их содержания, установлены различия требований СМГС и СИМ в отношении накладной. Рассмотрены вопросы применения языков при заполнении бланков, обозначения опасных грузов, выполнения таможенных требований и др.

На заседании II комиссии ОСЖД (октябрь 1998 г.) было признано, что идентичность многих граф накладных СМГС и СИМ, применение их в качес-

тве прямых перевозочных документов вызывает необходимость изменения транспортного права, одновременно не представляется возможным решение некоторых проблем (претензии, сроки доставки, таможенные вопросы). Поэтому рядом делегаций было предложено в качестве варианта разработать унифицированный образец накладной, отвечающий требованиям как СМГС, так и СИМ. Это предложение не было поддержано СИМ. В то же время Генеральная ассамблея СИМ постановила, что с учетом требуемых затрат времени для решения проблем, связанных с применением СМГС и СИМ в качестве прямых накладных, следует сделать новые предложения, которые бы опирались на имеющийся опыт применения тарифа ГБРТ (Международный железнодорожный грузовой тариф), а также других тарифов и договоров. Представители ОСЖД констатировали, что брать за основу тариф ГБРТ преждевременно, так как перевозки по этому тарифу не осуществлялись, он имеет сугубо региональный характер и предусматривает применение упрощенной накладной СИМ. С учетом разности мнений было решено отложить на некоторый срок изучение проблемы, проанализировать применение на практике тарифа ГБРТ, не исключая высказанного представителями ОСЖД предложения о создании унифицированного образца накладной.

Недавно Комитетом ОСЖД вновь был поднят вопрос о возобновлении совместно с ОТИФ работ по дальнейшему сближению двух транспортных правовых систем и созданию единого перевозочного документа на весь путь следования. Вместе с тем с 1992 г. по настоящее время в Рабочей группе Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН (КВТ ЕЭК ООН) разрабатывается проект Конвенции о процедуре международного таможенного транзита при перевозке грузов железнодорожным транспортом, целью которой является применение накладной СМГС в качестве транзитной декларации и взаимное признание мер идентификации, принятых компетентными органами каждой из договаривающихся сторон. Преимуществом принятия этой Конвенции является облегчение таможенных процедур для клиентов и на пограничных транзитных таможенных пунктах, сокращение времени на обработку перевозочных документов и доставку грузов в пункт назначения.

В январе 2003 г. по инициативе МПС России в Комитете ОСЖД проведено совещание по обсуждению и согласованию российских поправок в проект Конвенции. Текст с поправками был в основном одобрен большинством делегаций железнодорожных администраций и таможенных органов государств — членов ОСЖД. В начале февраля 2003 г. на заседании 103-й сессии Рабочей группы КВТ ЕЭК ООН предложения МПС России и ГТК России по скорейшей доработке проекта Конвенции были поддержа-

ны представителями Белоруссии, Болгарии, Азербайджана и Латвии. По результатам работы сессии был принят доклад, в котором предусматривалось проведение весной 2003 г. совещания экспертной группы с участием договаривающихся сторон СМГС и заинтересованных международных организаций, где планировалось завершить работу над проектом Конвенции. Согласование проекта Конвенции с частными железными дорогами и таможенными органами государств — членов ОСЖД, одобрение Конвенции КВТ ЕЭК ООН и ее ратификация в странах, железные дороги которых применяют СМГС, должны были существенно упростить административные формальности, особенно при пересечении границ. Однако достичь желаемых целей не удалось [2].

Пока же порядок оформления перевозочных документов осуществляется следующим образом. Перевозки грузов по странам — участницам СМГС оформляются накладными СМГС на весь путь следования. Перевозки грузов из стран — участниц СМГС в страны — участницы СИМ транзитом по железным дорогам участниц СМГС осуществляются с оформлением перевозочных документов с одного транспортного права на другое на пограничных станциях. Кроме того, в соответствии с Таможенным кодексом Европейского союза железнодорожные предприятия при перевозках грузов по накладным СИМ (транспортное право КОТИФ) могут применять упрощенные процедуры таможенного транзита.

В случае сближения ОСЖД и ОТИФ железнодорожная перевозка грузов будет осуществляться намного быстрее и качественнее, чем в настоящее время. Это объясняется беспрепятственным прохождением груза через территорию любого государства за счет единого регулирования. Не будет трат времени, связанных с прохождением груза между странами, в которых действуют различные международные железнодорожные соглашения. Появятся единые формы договоров перевозки грузов и других товарораспорядительных документов. Все это благоприятно отразится на осуществлении перевозок.

Транспортный процесс должен быть предельно прост. Правовое регулирование, заключение договора перевозки, выполнение перевозки, права и обязанности сторон, ответственность за выполнение договора перевозки — все должно быть четко сформулировано и не должно допускать других толкований. Это можно осуществить с помощью принятия Всеобщего соглашения.

Однако сближение двух организаций необходимо не только с правовой точки зрения. На это указывает и тот факт, что в каждой из них есть свои положительные черты. А с развитием евроазиатских транспортных коридоров проведение работ по сближению двух организаций вообще не вызывает



сомнения. Как ОСЖД, так и ОТИФ в последнее время все чаще заявляют о необходимости расширения сотрудничества для создания транспортных коридоров по направлению Европа — Азия.

Наиболее характерным примером такого взаимодействия может служить транспортная магистраль Южная Корея — Западная Европа. Сегодня этот рынок обслуживает преимущественно морской транспорт. Его потенциал превышает \$600 млрд. Однако уже сейчас Россия начинает претендовать на некоторую долю перевозок. Геополитическое положение нашей страны на Евразийском континенте обуславливает ее предназначение как великого транспортного пути, соединяющего Запад и Восток.

Важнейшим транспортным узлом при этом является Урал. Сюда идут основные транспортные потоки нефти и газа с Севера (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа), черных и цветных металлов из Сибири, осуществляется экспорт и импорт товаров из Японии, Кореи, Китая, Казахстана, стран ЕС. В связи с этим была определена площадка для строительства международного транспортно-логистического центра в Екатеринбурге площадью 7 гектаров в районе поселка Садового, основным назначением которого станет сортировка и дальнейший транзит грузов, приходящих или отправляемых по Транссибу. Наибольшую роль при этом играет МТК № 2, который уже продлен до Екатеринбурга и в перспективе может быть продлен до Китая и Японии.

Если же создать унифицированную систему управления, скоростные коридоры, то сроки транспортировки грузов между Европой и Азией можно сократить с 40 суток до 13–14. Это ориентировочно \$200 экономии на одном контейнере ДЭУ только на транспортировке, не говоря уже о выигрыше во времени. Но для этого необходимо отрегулировать правовые и организационные вопросы, создать объединенные системы управления международными железнодорожными перевозками.

Кроме того, нужно сказать, что международные транспортные коридоры предполагают движение не только по железным дорогам, но и по автомобильным и водным путям, а следовательно, мы имеем дело со смешанными перевозками. Именно этот вид перевозки должен получить наибольшее развитие в современных транспортных системах, т.к. в процес-

се ее выполнения существенно увеличивается скорость транспортировки, сокращаются объем пути и расходы, связанные с перевозкой, что дает повышенную защиту перевозимых грузов.

Возвращаясь к нашим организациям, отметим, что ОСЖД, хотя и способствует развитию и совершенствованию комбинированных перевозок, регулирует только железнодорожные перевозки. В то же время ОТИФ регулирует перевозки автомобильным и внутренним водным транспортом. И в случае объединения этих организаций данная проблема автоматически снимается.

Конечно, при этом могут возникнуть противоречия с Международным союзом автомобильного транспорта (МСАТ), который тоже занимается регулированием автомобильных перевозок. Но, если посмотреть поближе, чем занимается эта организация, то можно заметить, что, в отличие от ОТИФ, МСАТ концентрирует свое внимание в основном на вопросах экологии использования автомобильного транспорта, а также на гармонизации и упрощении таможенного режима для перевозчиков. Основной задачей МСАТ является защита интересов отрасли и организация международного сотрудничества в области грузового и пассажирского автотранспорта в целях гармоничного и устойчивого развития мировой экономики.

В задачи ОТИФ в большей степени входит только сопровождение груза, багажа и пассажиров, а задачи упрощения таможенного режима отодвигаются на второй план. Упрощенные таможенные процедуры могут применяться перевозчиками лишь при перевозках грузов по накладной СИМ, если последние проезжают из одной страны в другую транзитом.

Таким образом, по мере развития международных транспортных коридоров становится все более очевидным необходимость сближения ОСЖД и ОТИФ. Несмотря на некоторые противоречия, объединение этих организаций все-таки возможно. Причем нужно отметить, что это не должно быть поглощение одной организацией другой, а слияние хотя бы на уровне навигационных линий, т. к. обе организации претендуют на существование и не должны быть ущемлены в правах. Меры по сближению ОСЖД и ОТИФ следует осуществлять разумно, о чем и свидетельствуют многочисленные дискуссии между этими организациями, описанные выше.

Литература

1. Основные итоги внешнеторговой деятельности Свердловской области в 2003 г. // Основные итоги развития международных связей и внешнеэкономической деятельности Свердловской области в 2003 г. — Екатеринбург, 2003. — С. 47.
2. Основные проблемы в развитии железнодорожного транспортного сообщения между Россией и Европой // Международный экспедитор. — 2004. — № 4.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЫНКА ГРУЗОВЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УрФО



Рудольф Николаевич Ковалев, профессор, д.т.н., УГЛУ



Виктор Евгеньевич Андреев, руководитель Свердловского отделения Российской транспортной инспекции

Международные грузо-вые автомобильные пере-возки — одна из стабильно развивающихся подотрас-лей транспорта России. Так, объем международных пе-ревозок грузов в 2003 г. по сравнению с 2000 г. вырос почти в 1,5 раза и составил 25,3 млн. тонн. Среднего-довой прирост объема за период с 2000 г. по 2003 г. — 14,3%, в материально-вещественной форме это

около 2,5 млн. тонн ежегодно. По сравнению с 2002 г. объем перево-зок в 2003 г. увеличился на 3,8 млн. тонн, или на 17,4% (рисунок 1).

В структуре объема перевозок грузов в 2003 г. преобладал импорт, доля которого составила 65,5% (рисунок 2). Подобная тенденция наблюдалась и в предыдущие годы (в 2000 г. — 60,3%, в 2001 г. — 63,2%, в 2002 г. — 65,9%).

Основными торговыми партнерами Российской Федерации по масштабам обслуживания междуна-родным автомобильным транспортом в 2003 г. стали Финляндия, Беларусь, Украина, Германия, Литва, Польша, Китай. Торговля с этими странами по итогам 2003 г. обеспечила 69% от рынка перевозок как в импорт-ном, так и в экспортном направлениях.

В структуре российского экспорта преобладали (рисунок 3) древесина и изделия из нее (почти 50%), черные металлы и изделия из них (8,4%), бумага, кар-тон, изделия из них (3,5%), каучук и резиновые из-делия (2,2%), рыба, моллюски, ракообразные (2,2%), энергетическое оборудование (2%), 29,7% — все про-чие товары. В структуре российского импорта преоб-ладали (рисунок 4) фрукты (6,9%), овощи (6,7%), обо-рудование для энергокомплексов (6,6%), пластмассы и изделия из них (6,0%), бумага, картон, изделия из них (5,0%), электрические машины и оборудование (4,4%).

Анализ экспортных грузопотоков показывает, что: — российский экспорт имеет ярко выраженную сырьевую направленность;

— половина экспорта (47,5%) приходится на пе-ревозки древесины и изделий из нее;

— доля российских перевозчиков при экспорте древесины остается на низком уровне — 27,9% (на-пример, доля Финляндии по перевозке российского леса 55%).

Основные рынки, повлиявшие на рост общего объема перевозок отечественными автопредприяти-ми в 2003 г., представлены в таблице 1. Как видно из приведенных данных, в 2003 г. российскими авто-транспортными предприятиями перевезено 9,1 млн. тонн грузов внешней торговли РФ, что на 21,2%, или 1,6 млн. тонн, больше, чем в 2002 г. Эти показатели значительно выше роста перевозок российскими ав-тотранспортными предприятиями в предыдущем году (16,9%, или 1,1 млн. тонн).

Доля российских перевозчиков, несмотря на по-вышение по отношению к 2002 г. (34,8%), по-прежне-му не достигла паритета и составила в 2003 г. 36% от общего объема перевозок автомобильным транспор-том в международном сообщении (рисунок 5). Доля российских перевозчиков составляет: в импортном направлении — 37,8% (в 2002 г. — 36,4%), в экспор-тном — 32,4% (в 2002 г. — 31,8%) от объема пере-везенных грузов. Наиболее сильными позиции (доля) российских перевозчиков остаются в: а) импортных

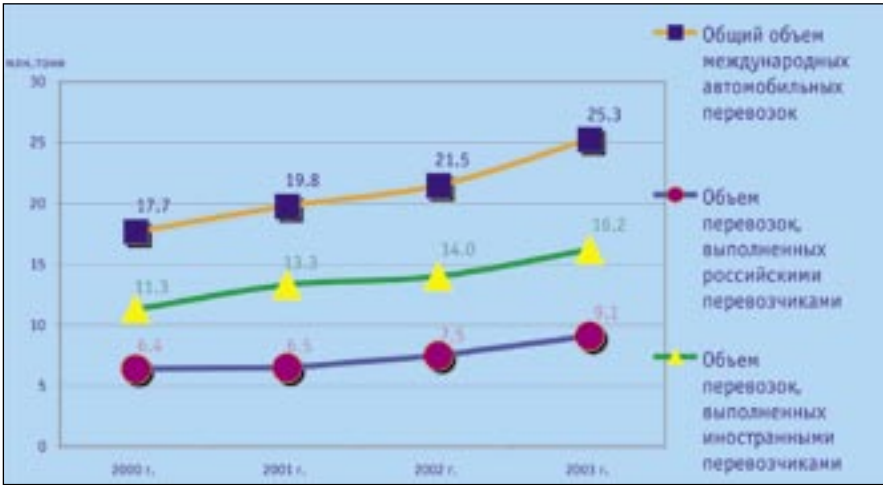


Рисунок 1 — Динамика объемов грузовых перевозок

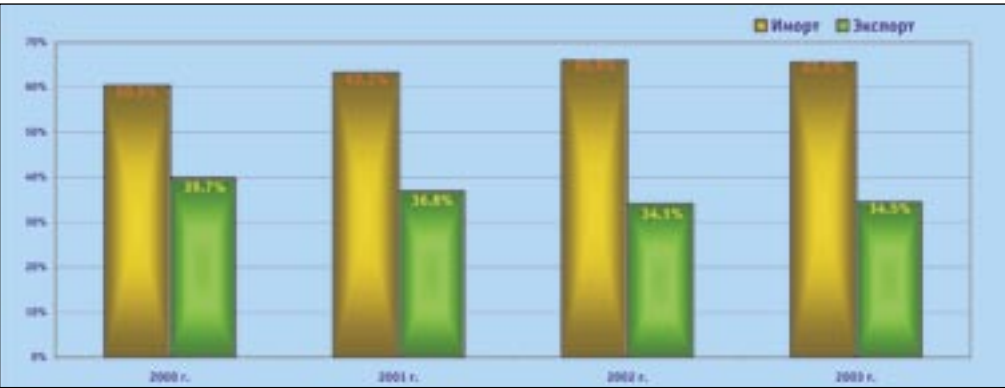


Рисунок 2 — Динамика соотношения экспортных и импортных объемов грузов



Рисунок 3 — Структура экспортных перевозок грузов в 2003 г.



Рисунок 4 — Структура импортных перевозок грузов в 2003 г.

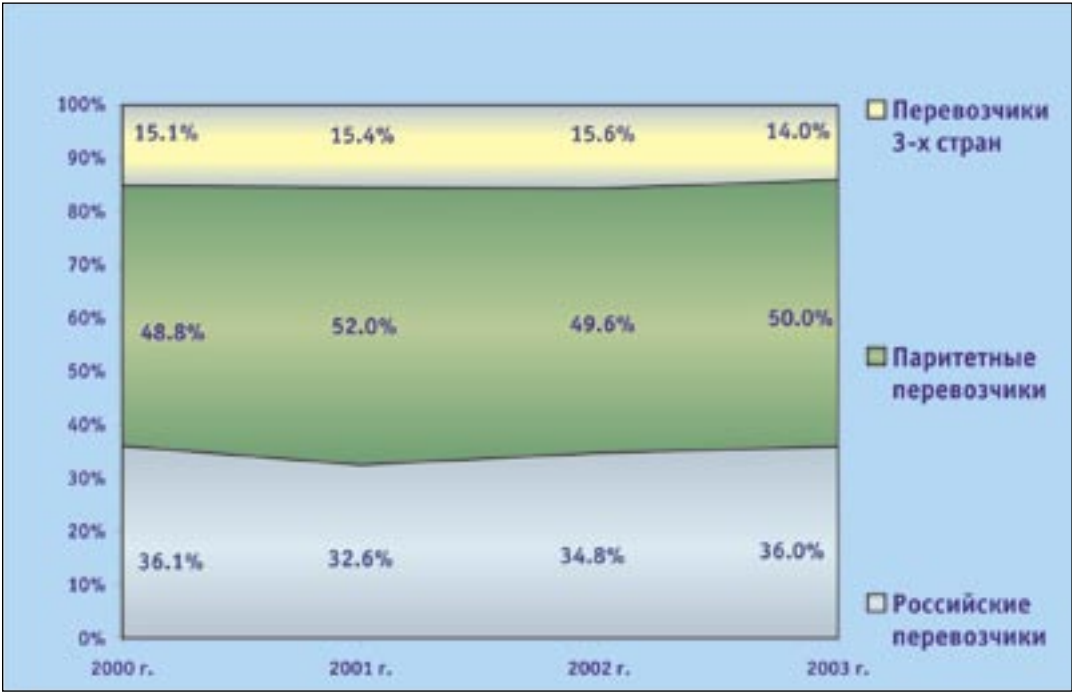


Рисунок 5 — Доли участников перевозок в суммарном грузообмене России

перевозках из Монголии — 96,1%, Китая — 87,1%, Финляндии — 81,2%, Азербайджана — 75,7%, Норвегии — 57,9%; б) экспортных перевозках в Монголию — 93,4%, Швецию — 88,8%, Норвегию — 84,7%, Грузию — 82,7%, Азербайджан — 82,0%, Китай — 78,8%.

На наиболее мощных по объему суммарного грузообмена направлениях доля российских перевозчиков составляет: Китай — 84,0%, Финляндия — 52,3%, Германия — 38,5%, Польша — 31,3%, Литва — 23,4%, Казахстан — 19,1%, Беларусь — 16,4%.

К основным факторам, негативно повлиявшим на изменение общего объема международных перевозок отечественными автопредприятиями в 2003 г., можно отнести падение потока импортных перевозок из Грузии, Монголии и Молдавии и снижение экспортных перевозок в Казахстан, Китай и на Украину.

С наибольшей интенсивностью российские перевозчики осваивали в 2003 г. (по сравнению с 2002 г.) следующие импортные направления: Армения (рост объема перевозок на 99%), Дания (74%), Швеция

Таблица 1 — Основные рынки, существенно повлиявшие на изменение общего объема перевозок российскими автопредприятиями в 2003 г.

Основные рынки, давшие рост объема международных перевозок российскими предприятиями	Рост, тыс.тонн	Основные рынки, на которых наблюдалось падение объема международных перевозок российскими предприятиями	Снижение, тыс.тонн
ИМПОРТ		ИМПОРТ	
Из Финляндии в Москву и Санкт-Петербург электрических машин и оборудования, в т.ч. энергетического, средств наземного транспорта	235,0	Из Беларуси в Калининградскую область изделий из камня и гипса	27,9
Из Китая в Хабаровский край, Читинскую и Иркутскую области овощей, корнеплодов и фруктов	60,5	Из Литвы в Москву мяса и мясных субпродуктов	21,7
Из Финляндии в Москву и Санкт-Петербург бумаги, картона и изделий из них	51,0	Из Финляндии в Москву продуктов неорганической химии	17,0
Из Финляндии и Германии в Москву пластмасс и изделий из них	30,9	Из Финляндии в Санкт-Петербург красителей и дубильных экстрактов	11,2
Из Польши в Калининградскую область мяса и мясных субпродуктов	21,2	Из Польши в Калининградскую область изделий из камня и гипса	10,0
Из Финляндии в Москву, Санкт-Петербург и Свердловскую область топлива, нефти, битума	12,9	Из Китая в Приморский край зерновых хлебов	8,7
ЭКСПОРТ		ЭКСПОРТ	
Из Ленинградской области, Карелии, Бурятии, Санкт-Петербурга в Финляндию древесины и изделий из нее	142,9	Из Читинской и Амурской областей и Агинско-Бурятского округа в Китай древесины и изделий из нее	61,4
Из Приморского края и Амурской области в Китай черных металлов и изделий из них	45,2	Из Новгородской области в Финляндию древесины и изделий из нее	15,3
Из Бурятии в Монголию древесины и изделий из нее	23,2	Из Оренбургской области в Казахстан изделий из камня и гипса	13,4
Из Санкт-Петербурга в Финляндию черных металлов	13,4	Из Москвы в Беларусь топлива, нефти и битума	11,3
Из Ленинградской области в Финляндию удобрений	10,3	Из Ставропольского края в Азербайджан зерновых хлебов	9,2

(51%), Эстония (48%), Словения (43%), Китай (51%), Латвия(33%), Польша (27%); экспортные направления (по сравнению с 2002 г.): Франция, Дания, Словения, Армения, Португалия (рост объема перевозок в 3 раза), Чехия, Нидерланды, Грузия (рост объема перевозок в 2 раза), Германия, Латвия, Бельгия, Италия, Турция, Польша (рост объема перевозок более чем в 1,5 раза).

Повышению объема импортных перевозок российскими предприятиями в международном сообщении способствовала внешнеторговая деятельность в отдельных регионах Российской Федерации. К таким регионам прежде всего относятся Москва, Санкт-Петербург, Калининградская и Московская области. Они обеспечили 78% прироста объема импортных международных перевозок российскими автопредприятиями.

Интенсивный рост объемов импортных перевозок российскими предприятиями отмечен также в таких регионах, как Читинская, Иркутская, Смоленская, Нижегородская, Новгородская, Тверская области, Хабаровский край.

В повышении объема экспортных перевозок российскими предприятиями в международном сообщении наиболее существенную роль сыграли Ленинградская и Калининградская области, на долю которых приходится 40% прироста объема. Интенсивный рост объемов экспортных перевозок российскими предприятиями отмечен также в Приморском крае, Москве, Санкт-Петербурге, Карелии, Вологодской области, Смоленской области, Краснодарском крае, Ярославской и Московской областях.

Если посмотреть на ситуацию в разрезе федеральных округов, то картина выглядит следующим образом. В 2003 г. основными регионами по объемам внешней торговли с перевозкой автомобильным транспортом стали Центральный и Северо-Западный федеральные округа (таблица 2). На их долю пришлось 82,0% (20,8

млн. тонн) от общего объема международных перевозок автомобильным транспортом (рисунок 6).

Наибольший прирост международных автомобильных перевозок наблюдался в Уральском (33,5%), Приволжском (25,7%), Центральном (21,7%) ФО, наименьший — в Сибирском (на 2,6%). Кроме того, в 2003 г. не зафиксировано падение объема международных автомобильных перевозок грузов ни в одном из федеральных округов по сравнению с 2002 г.

Важнейшим экспортообразующим регионом в 2003г. остался Северо-Западный ФО, на долю которого пришлось 51,6% от всего объема экспортных перевозок автомобильным транспортом. Основной поток импортных грузов направлялся в Центральный ФО, на долю которого приходится 65,6% от объема импортных перевозок автомобильным транспортом. В Приволжском, Северо-Западном, Центральном, и Южном ФО при сохранении 50% рынка перевозок за паритетными перевозчиками, т. е. перевозчиками второй стороны, другую половину разделяют российские перевозчики и перевозчики третьих стран. В 2003 г. наметилась положительная тенденция уменьшения доли перевозчиков третьих стран в большинстве федеральных округов при незначительном росте в других округах: Центральный ФО — 20,85% в 2003 г. против 24,50% в 2002 г., Северо-Западный ФО — 5,36% в 2003 г. против 5,46% в 2002 г., Приволжский ФО — 18,49% в 2003 г. против 19,08% в 2002 г., Сибирский ФО — 2,30% в 2003 г. против 2,33% в 2002 г., Южный ФО — 13,12% в 2003 г. против 13,16% в 2002 г.), Уральский ФО — 13,55% в 2003 г. против 13,29% в 2002 г.

В целом из вышесказанного можно сделать вывод, что, несмотря на свой значительный промышленный потенциал (более 16% ВВП России), Уральский федеральный округ резко отстает от других ФО по объемам международных автомобильных перевозок. Самой низкой в России остается также доля отечественных

Таблица 2 — Участие автомобильного транспорта в экспортно-импортных перевозках грузов по федеральным округам в 2003 г.

Федеральный округ	Вывоз экспортных грузов		Ввоз импортных грузов		Грузооборот	
	млн. тонн	%	млн. тонн	%	млн. тонн	%
Центральный	2,09	23,98	10,88	65,65	12,97	51,26
Северо-Западный	4,51	51,64	3,27	19,72	7,78	30,74
Приволжский	0,65	7,44	0,54	3,27	1,19	4,71
Сибирский	0,54	6,21	0,55	3,31	1,09	4,31
Южный	0,40	4,58	0,53	3,19	0,93	3,67
Дальневосточный	0,28	3,22	0,57	3,43	0,85	3,36
Уральский	0,26	2,94	0,24	1,43	0,50	1,95
ИТОГО	8,74	100,00	16,57	100,00	25,31	100,00

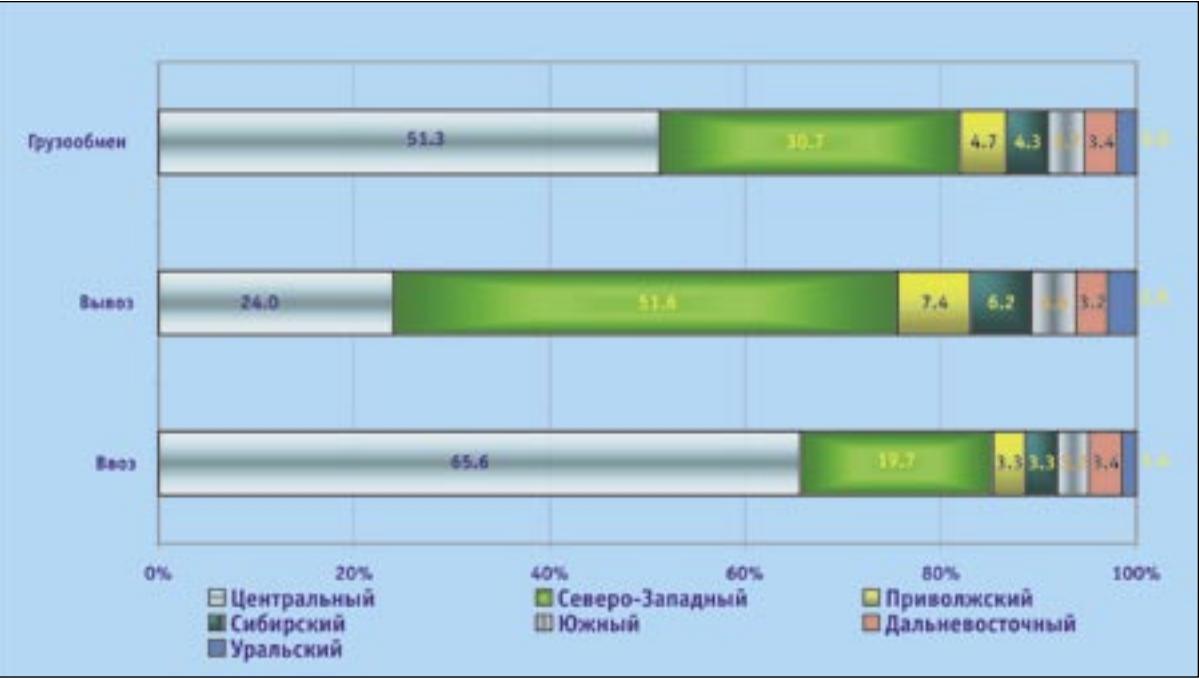


Рисунок 6 — Распределение объемов международных перевозок грузов автомобильным транспортом по федеральным округам России

перевозчиков в УрФО, хотя у нас преобладает объем перевозок в экспортном направлении. Мы практически добровольно отдаем этот рынок иностранным перевозчикам Казахстана, Беларуси, Украины, Латвии, Турции, Узбекистана. И такая тенденция, к сожалению, сохраняется на неопределенное будущее. Это приводит к тому, что только в 2003 г. бюджеты всех субъектов РФ в УрФО недополучили \$ 1,2 млн., в том

числе Курганская область — \$ 80,0 тыс., Свердловская — \$ 710,0 тыс., Челябинская — \$ 290,0 тыс., Тюменская — \$ 90,0 тыс. Поэтому над проблемой повышения эффективности работы международного автомобильного транспорта УрФО (речь идет о повышении в разы) необходимо задуматься не только государственным и политическим органам, но также экономическим и научным институтам УрФО.

←←←

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ТВЕРДОСТЬ

Твердость — очень важная характеристика механических свойств стали, в значительной мере определяющая работоспособность рельсов. Твердость на поверхности головки и ее распределение по глубине рельса определяют износостойкость материала, сопротивляемость контактно-усталостным повреждениям и пластическому течению. Выпускаемые рельсы разных типов имеют широкий диапазон твердости. Рельсы для железных дорог Северной Америки должны иметь минимальную твердость на поверхности катания 300 НВ, высокопрочные термообработанные рельсы — в пределах 330 — 390 НВ. В российских стандартах оговорена твердость на глубине 10 — 22 мм от поверхности катания, например, для рельсов категории Т1 — не менее 321 НВ на глубине 22 мм. Это требование должно выполняться для обеспечения необходимого уровня износостойкости, когда головка рельса изношена. Твердость важна и как показатель уровня сопротивляемости материала зарождению трещин контактно-усталостного происхождения. Имеется также требование, чтобы разброс значений твердости на поверхности катания по длине одного рельса не превышал 30 НВ.

Наиболее распространенный метод повышения твердости состоит в увеличении содержания карбидов и измельчении перлитной структуры, что достигается микролегированием и ускоренным охлаждением при термообработке.

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса/ Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА



Николай Николаевич Андросов, главный конструктор Уральского завода железнодорожного машиностроения, к.т.н.

Современный грузовой электровоз постоянного тока должен заменить эксплуатируемые электровозы ВЛ10 и ВЛ11. При его разработке необходимо обеспечить значительное повышение технико-экономических показателей для существующих условий эксплуатации.

Представляется целесообразным формировать электровоз из двух четырехсекционных. Секции изготавливаются двух видов:

- головные, которые оборудуются кабиной управления;
- средние, которые не оборудуются кабиной управления и имеют двери в обеих торцевых стенках.

Тяговый модуль может в этом случае формироваться из двух, трех и четырех секций. Двухсекционный электровоз формируется из двух головных секций. Трех- и четырехсекционные электровозы — из двух головных и одной или двух средних секций. Должна также предусматриваться возможность формирования четырехсекционного электровоза только из головных секций.

Формирование многосекционного электровоза должно осуществляться без подбора по диаметрам бандажей колесных пар и с минимальными затратами времени.

1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОВОЗА

Важнейшим вопросом при определении параметров нового электровоза является выбор мощности тягового двигателя. Для этого были выполнены расчеты, результаты которых приведены в таблице 1.

При проведении расчетов принято, что продолжительность расчетного режима тяговых двигателей равна 25 минутам и отношение мощности в расчетном режиме к мощности продолжительного режима составляет 1,3. Расчеты выполнялись для нагрузки на ось 245,25 кН.

По результатам расчетов построены приведенные на рисунках 1 и 2 зависимости мощности тягового двигателя от скорости движения в расчетном режиме и зависимость массы состава для трех значений расчет-

ного уклона от мощности тягового двигателя в продолжительном режиме.

Из результатов расчетов видно, что увеличение мощности тягового двигателя ведет к уменьшению расчетной массы состава и увеличению скорости движения в расчетном режиме.

Приведенные данные показывают, что значительное повышение мощности тяговых двигателей нецелесообразно. Увеличение скорости расчетного режима приведет к увеличению времени работы электровоза в пусковых режимах, которые отличаются пониженными значениями коэффициента полезного действия, что повысит расход электроэнергии. Для сохранения производительности при уменьшении массы состава потребуются увеличение участковой скорости движения, которая в значительной степени определяется не параметрами электровоза.

Для повышения производительности локомотива рационально не увеличивать значительно мощность тягового двигателя, а существенно расширить диапазон регулирования скорости электродвигателя потоком при постоянной мощности, с тем чтобы тяговые двигатели могли развивать мощность длительного режима и при максимальной скорости движения. (Электровозы ВЛ10 и ВЛ11 при скорости 100 км/ч могут реализовать около 65% мощности длительного режима.)

Предварительные значения основных параметров двухсекционного электровоза приведены в таблице 2.

2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Тележки электровоза выполняются двухосными, бесчелюстными, с радиальной установкой колесных пар при прохождении кривых участков пути.

Рессорное подвешивание выполняется двухступенчатым, из спиральных цилиндрических пружин, с общим статическим прогибом не менее 130 мм. Для демпфирования колебаний в каждой ступени подвешивания используются гидравлические гасители. Конструкция рессорного подвешивания предусматривает поколесную регулировку развески электровоза.

Таблица 1 — Расчетные значения мощности тягового двигателя и массы состава для различных значений скорости в расчетном режиме

Скорость расчетного режима, км/ч	Мощность тягового двигателя в длительном режиме, кВт	Расчетная масса состава, т		
		при расчетном подъеме 8‰	при расчетном подъеме 10‰	при расчетном подъеме 12‰
40,0	546,6	5456,5	4425,9	3712,9
42,5	576,3	5405,1	4384,9	3678,8
45,0	605,6	5354,2	4344,2	3645,0
47,5	634,4	5303,7	4303,8	3611,4
50,0	662,7	5253,5	4263,7	3578,1
52,5	690,5	5203,6	4223,9	3544,9
55,0	717,9	5153,9	4184,2	3511,9
57,5	744,8	5104,4	4144,7	3479,0
60,0	771,3	5055,2	4105,3	3446,2
62,5	797,3	5006,1	4066,0	3413,5
65,0	822,8	4957,1	4026,9	3380,9
67,5	847,8	4908,3	3987,8	3348,4
70,0	872,4	4859,6	3948,9	3316,0
72,5	896,5	4811,0	3910,0	3283,6
75,0	920,2	4762,5	3871,2	3251,3
77,5	943,3	4714,2	3832,5	3219,0
80,0	966,0	4665,9	3793,8	3186,8
82,5	1010,0	4569,5	3716,6	3122,4

Таблица 2 — Основные технические параметры двухсекционного электровоза

Наименование параметров	Величина
Номинальное напряжение на токоприемнике, кВ	3,0
Колея, мм	1520
Осевая формула	2(2o — 2o)
Нагрузка от колесной пары на рельсы, кН	245,25 ± 4,9
Масса служебная с 0,7 запаса песка, т	200 ± 4
Номинальный диаметр бандажа колесной пары по кругу катания, мм	1250
Максимальная скорость в эксплуатации, км/ч	120
Параметры расчетного режима	
Мощность на валах тяговых двигателей, кВт	не менее 6800
Сила тяги, кН	490
Скорость, км/ч	50,0
Параметры часового режима	
Мощность на валах тяговых двигателей, кВт	не менее 6000
Сила тяги, кН	436
Скорость, км/ч	50,7

Таблица 2 — Продолжение

Параметры продолжительного режима	
Мощность на валах тяговых двигателей, кВт	не менее 5320
Сила тяги, кН	374
Скорость, км/ч	51,5
Мощность электрического тормоза на валах тяговых двигателей: рекуперативного, кВт электродинамического, кВт	не менее 4000 не менее 3000

Поперечные и продольные усилия от букс на раму тележки передаются через упругие связи. Тяговое усилие от тележки передается на раму кузова с помощью наклонной тяги.

Тяговая передача предусматривается двухсторонней с моторно-осевыми подшипниками качения.

3. СХЕМА СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

На электровозе следует применить схему силовых цепей с независимым возбуждением тяговых двигателей, в которой предусматривается использование в режиме тяги контакторно-резисторной системы управления. При этом предлагается применить ленточные обдуваемые резисторы, которые используются в режиме тяги при пуске и в режиме электродинамического торможения.

Группировка тяговых двигателей осуществляется с использованием электропневматических линейных контакторов и разделительных вентилей.

Питание обмоток возбуждения каждой пары тяговых двигателей осуществляется от управляемого выпрямителя статического преобразователя. Мощность каждого выпрямителя в часовом режиме составит 25 кВт. Блок управления выпрямителем должен обеспечивать автоматическое выполнение условия $i_b - k i_a = \text{const.}$, что позволит иметь электромеханические характеристики тяговых двигателей, аналогичные машинам смешанного возбуждения, при этом за счет рационального выбора коэффициента «k» можно получить приемлемое распределение нагрузок параллельных ветвей тяговых двигателей.

В зависимости от условий сцепления величина коэффициента «k» может автоматически изменяться в определенных пределах средствами системы управления.

В контур каждой пары обмоток возбуждения включены быстродействующий контактор и реактор, которые, кроме того, включены и в цепь обмоток якоря. Использование реактора в общей части цепей токов якоря и возбуждения тяговых двигателей является принципиальной особенностью предлагаемой схемы. Такое включение реактора обеспечивает: динамическую обратную связь по току якоря для магнитного потока тяговых двигателей, существенное

улучшение качества переходных процессов и эффективность защиты тяговых двигателей при коротких замыканиях.

Защита тяговых двигателей в аварийных режимах осуществляется быстродействующими контакторами, отключение которых ведет к интенсивному гашению поля тяговых двигателей.

Предусматривается, что реверсирование тяговых двигателей будет осуществляться переключением обмоток якорей.

При повреждении статического преобразователя и для маневровых передвижений тяговые двигатели могут переключаться на последовательное возбуждение (соответствующие переключатели без дугогашения на схеме не показаны).

Электропневматические контакторы силовых цепей должны иметь диафрагменный привод и двойные контакты (рабочий и дугогасительный). В качестве реверсоров должны использоваться трехпозиционные переключатели, позволяющие кроме реверсирования осуществлять и отключение неисправных тяговых двигателей.

Использование на электровозе постоянного тока статического преобразователя для питания обмоток возбуждения тяговых двигателей дает возможность применить на нем схему силовых цепей с независимым питанием обмоток возбуждения тяговых двигателей во всех режимах работы (тяга, рекуперация и электродинамическое торможение).

Предлагаемая схема силовых цепей позволяет существенно повысить тяговые свойства электровоза за счет повышения жесткости характеристик и потележного регулирования мощности, улучшить качество переходных процессов при колебаниях напряжения и аварийных режимах за счет применения системы автоматического компаундирования возбуждения тяговых двигателей. Одновременно уменьшается количество аппаратов в силовых цепях. Применение электрического торможения позволит существенно снизить расход электрической энергии и тормозных колодок.

К достоинствам предлагаемой схемы следует отнести аналогичное режимам рекуперации и тяги регулирование тока возбуждения в режиме электродина-

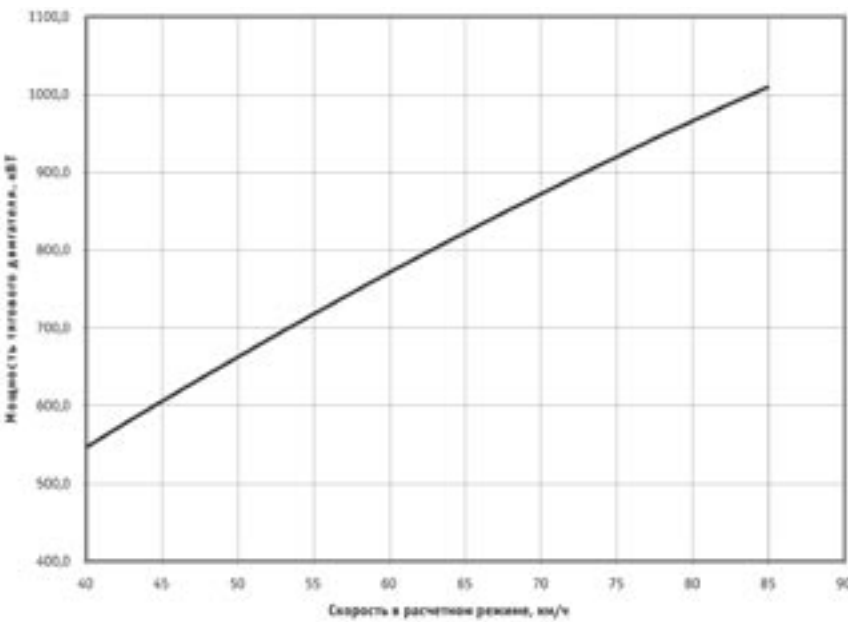


Рисунок 1 — Зависимость мощности тягового двигателя от скорости в расчетном режиме

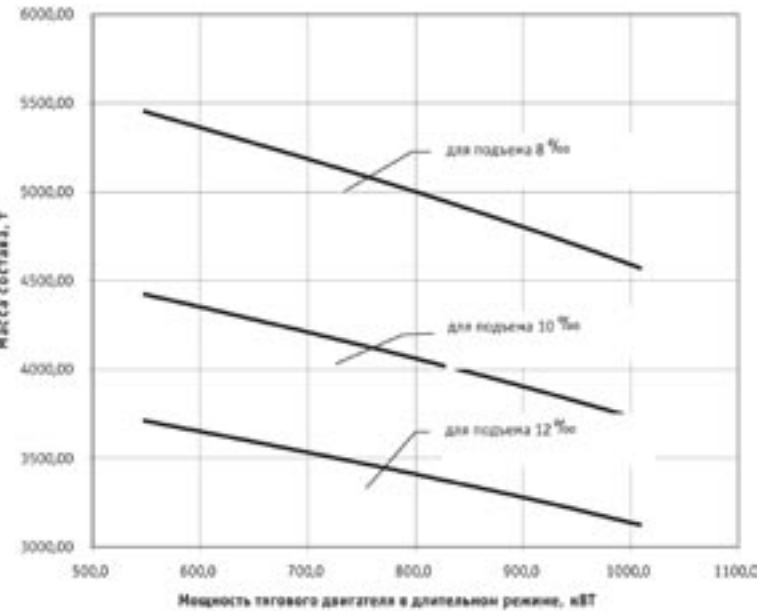


Рисунок 2 — Зависимость массы состава от мощности тягового двигателя

мического торможения, что позволит в значительной степени уменьшить толчки тормозной силы при регулировании скорости движения по сравнению со схемой торможения при последовательном возбуждении тяговых двигателей.

4. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ

На электровозе предполагается использовать микропроцессорную систему управления (МСУЛ),

которая будет осуществлять управление тяговым приводом, вспомогательными машинами и другими системами.

Система управления обеспечит ручной и автоматический пуск до ходовых позиций последовательно и параллельного соединений тяговых двигателей в функции тока с установкой, выбираемой машинистом, защиту от перегрузки и боксования и юза, автоматическое включение реостатного торможения при

повышении напряжения в контактной сети в режиме рекуперативного торможения выше заданного уровня.

Наряду с ручным управлением тяговым приводом система обеспечит режим автоматического управления по скорости движения, задание которой может осуществляться как машинистом, так и системой автоведения.

Кроме того, МСУЛ позволит по интерфейсу передавать информацию о работе электрического оборудования всех секций на пульт машиниста.

Электровоз оснащается аппаратурой бортовой диагностики, объединенной с МСУЛ и контролирующей состояние электрического оборудования. Электронное оборудование имеет встроенную диагностику.

5. СИСТЕМА СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Электровоз оборудуется следующими вспомогательными машинами:

- осевыми вентиляторами для охлаждения тяговых двигателей по одному на каждый двигатель;
- компрессором на каждой секции;
- вентиляторами для охлаждения пуско-тормозных резисторов.

Для привода вентиляторов охлаждения тяговых двигателей и компрессоров используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. При этом производительность вентиляторов регулируется в за-

висимости от нагрузки тяговых двигателей путем изменения частоты питающего тока.

От статического преобразователя питаются цепи управления и другие низковольтные потребители, заряжается аккумуляторная батарея.

6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

По сравнению с современными грузовыми электровозами постоянного тока новый электровоз должен обеспечить следующие технико-экономические преимущества: повышение безопасности движения; снижение эксплуатационных расходов; повышение надежности за счет применения новых схем и микропроцессорных систем управления, безопасности и диагностики, регулируемого привода электрических вспомогательных машин, рекуперативного и реостатного торможения, повышения к.п.д.

По предварительным оценкам, эксплуатационные расходы снизятся за счет:

- уменьшения удельного расхода электрической энергии — на 10—15%;
- уменьшения количества порч и неплановых ремонтов на 30%;
- уменьшения трудоемкости ремонта на 15%;
- увеличения межремонтных пробегов до 50%.

Некоторые из перечисленных выше разработок реализованы на модернизированном электровозе ВЛ11^к 092Б, общий вид которого показан на обложке, а пульт управления — на рисунке 3.



Рисунок 3 — Пульт управления локомотивом

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Активно идущее реформирование железнодорожной отрасли привело к созданию мощной корпорации — открытому акционерному обществу «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Ее дальнейшее развитие может быть обеспечено соответствующей кадровой политикой, в основе которой лежит идея об эффективном использовании и развитии кадрового потенциала корпорации [1, 2]. В дореформенных условиях довольно просто решались все кадровые проблемы железнодорожного транспорта (ЖДТ) за счет собственной отраслевой профессиональной образовательной системы, в составе которой были практически все необходимые для кадрового обеспечения учебные заведения: дорожно-технические школы, средние и высшие профессиональные образовательные учреждения.



Владимир Алексеевич Антропов, проректор по заочному образованию и работе с территориями, профессор, д.э.н., УрГУПС

За годы демократических преобразований, отраслевых реформ, модернизации образования многое изменилось во внешней среде функционирования учебных заведений. Для сохранения устойчивости своего функционирования ряд учебных заведений стали объединяться в ассоциации, учебно-научно-производственные комплексы и другие виды объединений [3]. Это позволило им не только выжить в эпоху перемен, сохранить свой потенциал, но и продолжить развитие. Можно констатировать, что отраслевая система профессионального образования, работающая на нужды ЖДТ, сохранилась как структура, объединенная единым корпоративным духом [4], стремлением быть на уровне предъявляемых к ней требований по качественному кадровому обеспечению динамично развивающейся железнодорожной отрасли.

Где место этой системы сегодня: в Министерстве образования и науки или Министерстве транспорта? Дортехшколы продолжают работать в структуре ОАО «РЖД» в режиме внутрифирменной подготовки кадров, судьба средних и высших профессиональных образовательных учреждений решается в эти дни. Но где бы они ни были, для правления ОАО «РЖД» ясно одно: система кадрового обеспечения отрасли должна работать как единое целое, своевременно обеспечивая квалифицированными кадрами ее заявки.

По этой причине на протяжении всего периода существования акционерного общества вузы получали заказы на выполнение научно-исследовательских проектов. В частности, творческим коллективом УрГУПС разработана система аттестации руководителей среднего звена предприятий железной дороги [5], механизма отбора и работы с резервом руководителей среднего звена предприятий железной дороги, система подготовки кадров для обеспечения информатизации железнодорожного транспорта [6], концепция и нормативно-правовая база создания отраслевых региональных комплексов по кадровому обеспечению железнодорожного транспорта [3], методика развития деловой карьеры руководителей и специалистов на предприятиях железнодорожного транспорта [7] и другие [8].

В этом году по заказу ОАО «РЖД» тому же коллективу предстоит разрабатывать систему управления качеством подготовки специалистов в учреждениях профессионального образования МПС России для обеспечения безопасности движения на железных дорогах, нормативные документы и требования для оценки уровня материально-технической обеспеченности и качества подготовки специалистов в учреждениях профессионального образования, решать проблемы управления профессиональным образованием

на железнодорожном транспорте в условиях реформирования отрасли.

Как вузы, ранее принадлежавшие МПС, так и сформировавшееся ОАО «РЖД» понимают, что в новых условиях необходимо оперативно выстраивать договорные обоюдовыгодные партнерские отношения. И вузы здесь должны взять на себя разработку предложений по дальнейшему развитию кадровой политики железнодорожной отрасли, при этом учесть и необходимость преобразований в самом вузе. По этой причине в данной статье проблемы кадрового обеспечения отрасли и направления возможных изменений в университете рассматриваются как два взаимообусловленных процесса.

Разрабатывая все указанные выше проблемы, мы исходим из предположения о том, что реформы управления в высшем профессиональном образовании должны исходить из понимания модели личности специалиста, востребованного железнодорожной отраслью, прогноза развития последней, соответствующего прогнозирования и планирования ее кадрового обеспечения. В любом другом случае все реформы окажутся лишь идеальными представлениями. В настоящее время общепринятые методики кадрового прогнозирования отраслей, регионов отсутствуют, в том числе и в железнодорожной отрасли, где идут мощные преобразования [9].

На остройшей проблеме прогнозирования и планирования кадрового обеспечения отрасли смыкаются интересы как заказчика (в нашем случае — ОАО «РЖД»), так и исполнителя (конкретного профессионального образовательного учреждения, в нашем случае — вуза). И тем и другим нужен объективный прогноз потребности в специалистах. Разработка такой методики завершается нами в этом году, исходя из следующих предположений.

Первый этап работы по определению потребности в специалистах заключается в структуризации исследуемой хозяйственной системы на секторы с однородными видами деятельности, поскольку каждый из этих видов деятельности имеет определенную специфику, а следовательно, и динамику развития фактов производства.

Разрабатываемый нами методический инструментарий расчета потребности в специалистах в общих чертах применим для каждого из этих секторов, но с учетом их специфики. Основная исходная информация о состоянии факторов производства заключается в данных:

- стоимости основных фондов;
- численности и структуре работников;
- объеме произведенной продукции и услуг.

Далее необходимо определение наиболее существенных показателей, которые можно использовать для прогноза либо в качестве самостоятельных исходных величин, либо в режиме корреляции, где один из по-

казателей или несколько из них принимаются за базовые и на основе изменения их величины определяется величина искомого показателя. При этом динамика изменения величины показателя может определяться либо на основе экстраполяции, либо на основе целевого подхода, при котором величина определенного показателя задается исходя из поставленных задач инновационного развития хозяйственной системы.

Создав систему прогнозирования и планирования кадрового обеспечения отрасли, мы тем самым практически закончим разработку ее основных элементов: административно-правового обеспечения, прогнозирования, планирования, организации работы системы, оперативного управления, мотивации, ресурсного обеспечения, экспертизы качества, коррекции, оценки эффективности.

Конечно, эта система должна работать, если она действенна, не менее эффективно и в других отраслях. Оказавшись в системе Минтранса России, мы должны быть готовы решать проблемы кадрового обеспечения и других видов транспорта. А это де-факто означает, что правомерно ставить вопрос о дальнейшем устойчивом развитии нашего университета путей сообщения как транспортного университета, обеспечивающего кадрами все виды транспорта, естественно, в пределах своих профессиональных возможностей.

Главная проблема здесь — это обеспечение устойчивости развития университета. Из теории вопроса следует, что устойчивость системы (stability of solution) — это ее способность сохранять движение по намеченной траектории (поддерживать намеченный режим функционирования), несмотря на воздействующие на нее возмущения, сохранять внутреннюю сбалансированность, равновесие [10]. Это определение для динамической системы, к которой мы относим вуз.

Устойчивость означает, что различные преобразования (внешние и внутренние) не затрагивают свойства системы. Когда оказываемые на нее воздействия извне превосходят некий критический порог, возникают деформации, приводящие к разрушению системы. Следовательно, система устойчива, когда ее существенные переменные остаются внутри заданных им границ.

Известно, что помимо динамического существует и статическое устойчивое равновесие системы. Как уже было сказано, для вуза как гибкой переналаживающейся системы справедливо использование понятия динамического равновесия. Оно характеризуется тем, что, выйдя из состояния равновесия, система приходит в колебания вблизи нового равновесного состояния, где она устойчива.

В связи с этим отметим, что идущий процесс модернизации образования до конца неясен потому, что непонятно, ради какой цели все процедуры проводят-



ся: ради экономии средств, как об этом неоднократно заявляли министр финансов и министр образования, или ради получения доступа российских специалистов на мировые рынки труда. А коль это неясно, то неясны и те параметры, которые должны характеризовать равновесное состояние системы, неясно в конечном счете и наше положение.

Анализ литературы показал, что понятие «устойчивое развитие» применительно к вузам пока не определено. Оно возникло как основополагающий принцип, концепция перехода современной цивилизации к установлению нового экономического порядка в мире, обеспечивающего удовлетворение жизненных потребностей нынешнего и последующих поколений людей.

С позиции педагогики профессионального образования развитие — это процесс становления, приближение к определенной модели. Для нас развитие — это приближение к модели современного транспортного университета с учетом необходимости достижения всех требуемых аттестационных показателей, возможно, и с запасом прочности на случай форс-мажорных обстоятельств.

Вузовская система является социально-экономической. Следовательно, ее устойчивость должна характеризоваться с экономической и социально-экономической точек зрения. Мы понимаем, что такой подход условен, но это обычная практика научного поиска.

Единственный нормативный документ, определяющий показатель экономической устойчивости образовательного учреждения, — это письмо Минобразования РФ № 24-51-99ин от 09.11.01 «О введении показателя экономической устойчивости образовательного учреждения при его лицензировании и аккредитации». По-видимому, здесь произошла подмена понятий, поскольку в этом документе данное понятие используется как синоним другого, а именно показателя стоимости реализации профессиональной образовательной программы высшего учебного заведения и филиала. Но идея понятна, вуз рассчитывает, а Министерство образования РФ утверждает и контролирует нижнюю границу стоимости подготовки специалиста по данной специальности, то есть нижнюю границу экономической устойчивости, за которой уже невозможно качественное образование.

Развивая эту мысль, было высказано предложение, что аттестацию вуз по данной специальности получает на срок, который считается следующим образом: рассчитывается стоимость всей материальной базы вуза, она делится на стоимость обучения всех студентов данной специальности. Таким образом, вуз гарантирует, что он выучит всех принятых студентов даже в случае прекращения финансирования, постепенно распродавая свое имущество.

Один из ведущих специалистов по этой проблеме, Н.Р. Кельчевская, в статье «Оценка экономической устойчивости государственного вуза» [11] пишет, что экономическая устойчивость может производиться в трех направлениях:

1. Анализ конкурентоспособности.
2. Анализ финансовой устойчивости.
3. Оценка экономического потенциала.

Заметим, что и здесь происходит подмена: вместо определения понятия тут же дается рецепт его изменения.

По мнению автора, анализ конкурентоспособности основывается на маркетинговых исследованиях внешней и внутренней среды вуза, а также на соблюдении аттестационных показателей.

Второе направление оценки экономической устойчивости, по мнению Кельчевской, — это анализ финансовой устойчивости вуза, который проводится на базе источников бухгалтерской отчетности по соответствующим формам. Для организации такой работы нужно взаимодействие с бухгалтерией и ПФО.

При оценке третьего направления — экономического потенциала вуза — автор предлагает использовать внутренние финансовые документы, планы и отчеты вуза.

Как видите, и этот подход аддитивен, он исходит из практики работы ПФО крупного российского вуза. Его достоинство — в практическом подходе. Однако в нем нет проработанной теоретической базы, в частности, не определено понятие собственно экономического потенциала, экономической устойчивости, нет обоснования достаточности критериальных параметров и характеристик.

Что касается социальной устойчивости работы профессиональных образовательных учреждений, то ее характеристики также нашли свое выражение в соответствующих показателях, значимость которых Министерство образования РФ сейчас поднимает с точки зрения необходимости усиления воспитательной работы со студентами.

Исходя из вышесказанного можно констатировать, что в настоящее время нет общепринятых для профессионального образовательного учреждения понятий «устойчивость», «устойчивое развитие», тем более нет и общепринятых концепций их устойчивого развития. Есть лишь некая совокупность показателей, которые должен демонстрировать вуз при проверках.

Разрабатываемая концепция устойчивого развития должна иметь механизм своей реализации, так как мы должны понять, что означает устойчивое развитие вуза и его территориальных подразделений в неустойчивой внешней среде, и тут же принять необходимые решения.

Основные положения концепции, с нашей точки зрения, заключаются в следующем.



Мы исходим из предположения, что базовый университет и его территориальные подразделения (филиалы и представительства) в настоящее время представляют собой комплекс, объединенный жесткими административными связями с нечетко прописанной сферой прав (полномочий) и обязанностей их руководителей.

Устойчивость такого комплекса в условиях постоянно меняющейся внешней среды возможна лишь в том случае, если он (комплекс) органично в пространственном плане накладывается на сеть предприятий и организаций ЖДТ, для которых идет подготовка специалистов, если между ними существуют долговременные связи, если студент в идеале знает, какое рабочее место его ждет после окончания вуза. Взаимно однозначное соответствие между потребностью в кадрах и обучающимся контингентом является важнейшей основой устойчивой работы филиалов. Проще говоря, если есть заказчик, есть долговременные заказы, будет и устойчивая работа университета в целом.

Сейчас государственный кадровый заказ распределяется через систему конкурсных торгов, а вот договорные отношения на местах необходимо выстроить на основе взаимного интереса: предприятий — в получении квалифицированного специалиста, университета — в подготовке востребованного конкурентоспособного специалиста. Но здесь нужен раскрытый бренд вуза, его позиционирование как транспортного университета, поскольку конкуренция уже достаточно велика и будет еще больше в связи с демографической ситуацией, получением бюджетного финансирования негосударственными вузами, возможностями выбора образовательного учреждения филиалами ОАО «РЖД».

Такой подход позволит в будущем сформировать систему кадрового обеспечения ЖД отрасли, гибко реагирующей на запросы последней.

Теория этого вопроса нами разработана в процессе выполнения заказов МПС, здесь же отметим, подробно не останавливаясь, что функционирование эффективной (результативной) образовательной системы основывается на следующих важнейших принципах: системности, социоморфности, экономической целесообразности.

Происходящие в структуре управления нашим государством изменения дают нам основания говорить и о возможности подготовки кадров в университете для транспортного комплекса Уральского федерального округа (УрФО) в целом.

Помимо этого, филиалы университета должны занять свою профессиональную нишу в том городе, где они работают, отвечать на потребности его развития, входя в городскую образовательно-воспитательную систему. Развитие существующих филиалов, реорганизация представительств, возможное открытие новых, появление дополнительных структурных под-

разделений настоятельно требуют создания реально функционирующей системы прогнозирования и планирования кадрового обеспечения территориального транспортного комплекса в целом.

Технико-экономическая основа концептуального осмысления ситуации — это прогнозы и планы развития самого территориального транспортного комплекса федерального округа, схема размещения производительных сил Свердловской области, стратегия развития Екатеринбурга и других городов округа, а возможно, с выходом и на другие, в частности на Поволжский округ.

Итак, первое необходимое условие устойчивого развития университета вместе с его структурными подразделениями (филиалами и представительствами) — это их встроенность в социально-производственную систему территории, оперативное реагирование на возникающие кадровые потребности транспортных предприятий и организаций.

Далее, устойчивость функционирования университетского комплекса определяется системой его административно-правового обеспечения. Она в полной мере должна отвечать существующему законодательству, приказам и распоряжениям вышестоящих организаций, обеспечивать открытость и оптимальное прохождение информационных потоков сверху вниз и по горизонтали.

Понятно, что интересы кадрового обеспечения ЖДТ со стороны как Минтранса, так и ОАО «РЖД» столкнутся на конкретной территории, прежде всего на уровне филиалов ОАО «РЖД» Свердловской и Южно-Уральской железных дорог, в связи с тем что означенные филиалы также имеют свои профессиональные образовательные учреждения, в первую очередь дорожно-технические школы.

Следовательно, возникает необходимость согласованности действий, которую, с нашей точки зрения, будут обеспечивать региональные образовательные комплексы (РОК), в их состав на ассоциативных основах могут войти все железнодорожные образовательные учреждения данной территории: дортехшколы, ПТУ, техникумы, вузы, институты дополнительного профессионального образования. Тогда в центре организации профессиональной образовательной деятельности на конкретной территории оказывается или университет, или его представитель (филиал) — как саморазвивающаяся система и органическая часть университета.

Создание РОК, с нашей точки зрения, является сферой обоюдного интереса ОАО «РЖД», Минтранса и Минобразования и науки России, потому что только в такой структуре возможно организовать многоуровневую систему кадрового обеспечения территориального транспортного комплекса: профильное обучение в школе — начальное профессиональное обучение в ПУ — среднее профессиональное обучение в СПО — высшее профессиональное обучение



в вузе — послевузовское образование или дополнительное профессиональное образование. Такая структура позволяет решить главную задачу сегодняшнего дня — создание условий гражданам России для обучения и профессиональной подготовки в течение всей жизни.

Перспективы и трудности создания РОК в условиях реформирования ЖДТ, модернизации образования очевидны (разные хозяева). Перспективы — в росте значимости филиалов на конкретной территории как обучающих центров филиалов ОАО «РЖД», трудности — в возможном уменьшении спроса на специалистов (переход к штучной подготовке) и жесткой конкурентной борьбе за абитуриента в связи с негативными демографическими тенденциями.

В этой ситуации возможно только движение вперед по всей территории округа: агрессивный маркетинг, открытие новых филиалов и представительств, лицензирование новых специальностей, превращение филиалов в обучающие учебно-научные центры подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров. Такая политика сейчас проводится нашим университетом, который открыл филиалы ИДПО практически в каждом филиале и ищет новые точки для приложения своих сил.

Мы считаем, что подготовка квалифицированных кадров в значительной мере зависит от технологии обучения. С нашей точки зрения, насколько это возможно, она должна быть проекцией производственного процесса на учебный процесс. В этом случае исчезает граница между пространственно-временной средой учебного и производственного процессов, сокращается время адаптации молодого специалиста на рабочем месте. Именно по этой причине столь эффективны были заводы-вузы в советское время. Только такой подход устранил главную проблему нестыковки требований учебного и производственного процессов, когда успешный студент не всегда оказывается успешным специалистом.

Это означает, что технология обучения должна быть основана как на законах профессиональной педагогики, так и на законах производства в их единстве, в большей степени — на уровне специальной и специализированной подготовки.

Резюмируя вышесказанное, хотим еще раз подчеркнуть, что перспективные проблемы кадрового обеспечения железнодорожной отрасли (и других транспортных отраслей) могут быть решены только во взаимодействии ОАО «РЖД» с творческими коллективами транспортных университетов.

Литература

1. Реформирование железнодорожного транспорта: политика кадрового обеспечения / Н.М. Бурносов, Л.И. Васина, В.И. Галахов и др. — М.: МПС, 2002.

2. Антропов В.А., Нестеров В.Л. Кадровое обеспечение железнодорожной отрасли. — М.: ВНИТИ РАН, 2003. — 112 с.

3. Концепция и нормативно-правовая база создания отраслевых региональных комплексов по кадровому обеспечению железнодорожного транспорта / В.А. Антропов, В.Л. Нестеров, Е.А. Малыгин — Екатеринбург: УрГУ, 2001. — 137 с.

4. Паршина В.С. Научные основы современного управления персоналом корпораций / Институт экономики УрО РАН. — Екатеринбург, 2004. — 80с.

5. Методика аттестации руководителей среднего звена предприятий железнодорожного транспорта / В.С. Паршина, Н.М. Бурносов, В.А. Антропов, В.Л. Нестеров — М.: УМК МПС России, 2001. — 47 с.

6. Антропов В.А., Нестеров В.Л. Современные подходы к подготовке кадров для нужд информатизации железнодорожного транспорта // Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Доклады 7 междунар. науч.-практ. конф. ИНФОТРАНС-2002. — СПб, 2002. — С. 297—299.

7. Паршина В.С., Антропов В.А. Управление внутриорганизационной карьерой руководителей и специалистов отрасли железнодорожного транспорта. — Екатеринбург: УрГУПС, 2002. — 148 с.

8. Антропов В.А., Колесников Б.И., Пиличев А.В. Управление персоналом на предприятиях железнодорожного транспорта: методология организации и оценка эффективности. — Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2002. — 173 с.

9. Зуев В.М., Новиков П.Н. Мониторинг и прогнозирование профессионального образования. — М.: РГАТиЗ, 1999. — 80 с.

10. Термины экономики и менеджмента / Под ред. А.П. Деметтьева. — Новосибирск: СГУПС, 2001. — 470 с.

11. Кельчевская Н.Р. Оценка экономической устойчивости государственного вуза // Университетское управление: теория и практика. — 2002. — № 4.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ



Владимир Николаевич Коротаев,
д.т.н., профессор кафедры охраны
окружающей среды, ПГТУ



Сергей Владимирович Чечкин,
научный сотрудник кафедры охраны
окружающей среды, ПГТУ



Инна Борисовна Стафейчук,
научный сотрудник кафедры охраны
окружающей среды, ПГТУ

Процесс обращения с отходами делится на следующие стадии: образование, накопление и временное хранение, транспортировка до мест обезвреживания и обезвреживание. Предметом данной работы является управление транспортными потоками при обращении с отходами на уровне региона.

Необходимо решить однопродуктовую производственно-транспортную задачу прикрепления производителей продукции (муниципальных образований как источников образования отходов) к потребителям (объектам окончательного размещения — полигонам ТБО) в условиях ограниченных ресурсов между звеньями системы обращения с отходами. В качестве ограниченного распределяемого ресурса рассматриваются инвестиции на создание полигонов ТБО, отвечающих современным нормам и стандартам.

Критериями решения задачи по оптимизации транспортных потоков являются минимизация негативного влияния на окружающую среду при обращении с отходами на стадиях транспортировки и обезвреживания, минимизация средств бюджетов всех уровней на развитие сети полигонов, минимизация суммарных затрат на транспортировку и обезвреживание ТБО.

Для решения поставленной оптимизационной задачи необходимо определить оптимальное количество, местоположение и емкости полигонов на тер-

ритории Пермской области, прикрепить источники образования отходов маршрутами вывоза по существующей сети автомобильных дорог.

Источниками отходов являются муниципальные образования Пермской области.

Схема транспортировки включает в себя две стадии: вывоз ТБО из домовладений на мусороперегрузочные станции (МПС) и транспортировка ТБО от МПС до мест обезвреживания.

Транспортирование ТБО от мест образования и сбора до МПС обычно осуществляется путем использования собирающих мусоровозов средней и малой грузоподъемности.

Транспортирование ТБО от МПС до мест их обезвреживания в настоящее время ведется с использованием различных технических средств для дальней транспортировки. В России, и в частности в Пермской области, традиционно используются транспортные мусоровозы большой грузоподъемности и вместимости. Вместе с тем в ряде стран для дальней транспортировки ТБО достаточно широко применяется же-

лезнодорожный, водный и дальний трубопроводный транспорт. Каждый из этих видов дальнего транспорта ТБО обладает рядом преимуществ и недостатков — экономических, технологических и экологических. Для Пермской области характерна развитая дорожная сеть, поэтому в качестве транспортных средств в работе рассматривается автомобильный транспорт.

Полигоны ТБО должны соответствовать нормативным требованиям и обеспечивать потребность в захоронении отходов.

МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОТХОДОВ. ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ОТ РАССТОЯНИЯ

Анализ информации по существующим мусоровозам показал, что все они по своим технико-экономическим показателям могут быть разделены на 4 группы:

1. Малые собирающие мусоровозы (емкость 15-20 м³) типа КО — 413.
2. Большие собирающие мусоровозы (емкость 45-48 м³) типа КО — 415.
3. Малые транспортные мусоровозы (емкость 48 м³) типа КО — 415 без загрузчика.
4. Большие транспортные мусоровозы (емкость 100 м³) типа КО-416.

Удельные затраты на транспортировку определены как функция от расстояния (в километрах). При транспортировке транспортными мусоровозами учитываются затраты на перегрузку на мусороперегрузочных станциях.

На основании методики расчета нормативных затрат на вывоз отходов на территории г. Перми были

определены удельные затраты для каждой группы мусоровозов:

- малые собирающие мусоровозы = $2,32 \cdot S$;
 - большие собирающие мусоровозы = $0,78 \cdot S$;
 - малые транспортные мусоровозы = $6,45 + 0,72 \cdot S$;
 - большие транспортные мусоровозы = $4,85 + 0,42 \cdot S$,
- где S — расстояние, на которое транспортируются отходы.

Как видно из рисунка 1, наименьшие экономические затраты при транспортировке имеют:

- большой собирающий мусоровоз;
- большой транспортный мусоровоз.

При транспортировке на расстояния менее 13,47 км расчет будет вестись для больших собирающих мусоровозов, при транспортировке на расстояния более 13,47 км — для больших транспортных мусоровозов.

Тогда математическое выражение модели примет следующий вид:

$$\varphi(L) = \begin{cases} 0,78 \times L & \text{при } L \leq 13,47 \\ 4,85 + 0,42 \times L & \text{при } L > 13,47 \end{cases}$$

МОДЕЛЬ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ. ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ ОТ ЕМКОСТИ ПОЛИГОНА

Необходимо найти $C_{уд} = f(V)$, где V — емкость полигона; $C_{уд}$ — удельные затраты на захоронение единицы отходов на полигоне емкостью V .

Затраты на захоронение отходов можно поделить на две части:

- капитальные;
- эксплуатационные.

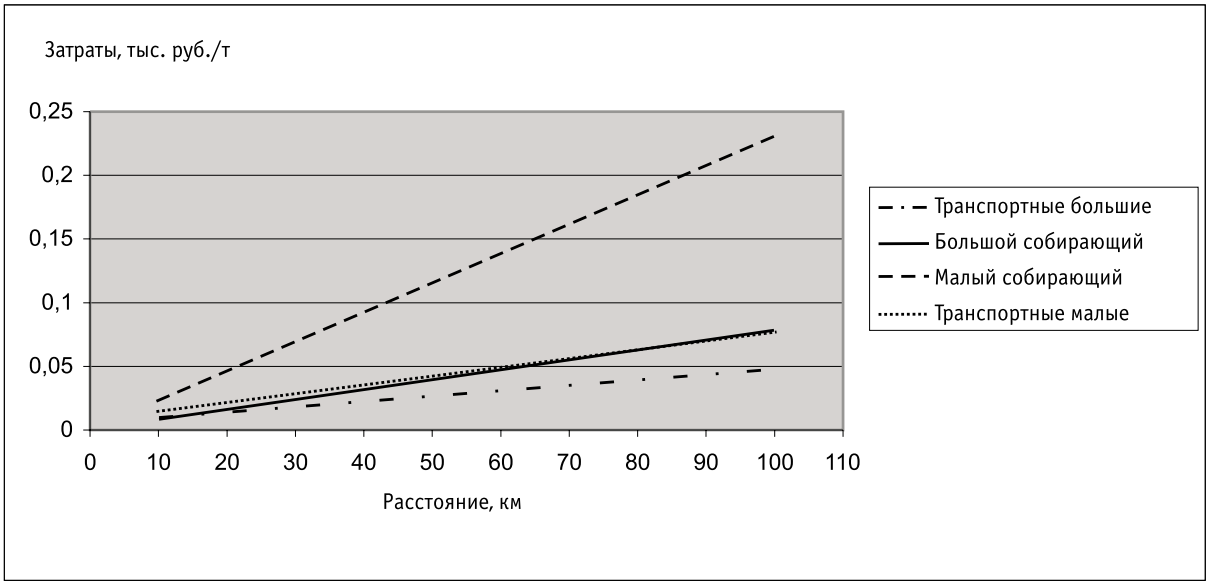


Рисунок 1 — Удельные затраты на транспортировку отходов разными типами мусоровозов



Поскольку полигон состоит из 2 основных частей: технологической и хозяйственной зоны, то капитальные затраты можно разделить на две следующие составляющие:

затраты, прямо пропорциональные площади участка складирования;

затраты, не зависящие от площади участка складирования.

Тогда

$$f(V, S) = \frac{a}{V} + \frac{b \times S}{V} + c,$$

где S — площадь участка складирования;

a, b, c — коэффициенты:

a — капитальные и эксплуатационные затраты, не зависящие от емкости полигона и площади участка складирования;

b — капитальные и эксплуатационные затраты на единицу площади участка складирования;

c — капитальные и эксплуатационные затраты на единицу отходов.

Поскольку нормативные документы по проектированию полигонов рекомендуют сооружать тело полигона в виде усеченной пирамиды с квадратным основанием и наклоном боковых откосов $1/4$, то можно определить зависимость емкости тела полигона от площади участка складирования. Существует ограничение: на вершине пирамиды должна быть площадка

площадью не меньше $S_{\text{верх}}$ квадратных метров, для возможности движения техники.

Объем пирамиды равен $\frac{1}{3}Sh$, где h — высота. Если

известно, что наклон боковых откосов равен $1/4$, то $h = \frac{\sqrt{S}}{8}$, тогда объем тела полигона равен

$$V_{\text{у.склад.}} = \frac{1}{24} \left(S^{\frac{3}{2}} - S_{\text{верх}}^{\frac{3}{2}} \right).$$

Емкость полигона пропорциональна объему участка складирования

$$V = q \cdot V_{\text{у.склад.}},$$

где q — коэффициент, учитывающий плотность отходов на полигоне, пересыпку изоляционными слоями и окончательное покрытие.

Тогда зависимость площади участка складирования от емкости полигона равна

$$S = \left(\frac{24}{q} V + S_{\text{верх}}^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Тогда зависимость удельных затрат на захоронение от емкости полигона выглядит как

$$f(V) = \frac{a}{V} + \frac{b \left(\frac{24}{q} V + S_{\text{верх}}^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{2}{3}}}{V} + c.$$

Таблица 1 — Экономические показатели спроектированных полигонов Пермской области

Населенный пункт	Стоимость хозяйственной зоны (тыс. руб.)	Стоимость технологической зоны (тыс. руб.)	Стоимость очистных сооружений (тыс. руб.)	Годовые эксплуатационные затраты (тыс. руб.)
Березники	31964,5	122124,1	11734,4	6894,8
Чайковский	18311,0	62692,2	4822,5	3833,3
Краснокамск	23969,8	25267,7	8793,6	4961,2

Таблица 2 — Технические показатели спроектированных полигонов Пермской области

Населенный пункт	Площадь участка складирования (м²)	Емкость полигона (т)	Геометрический объем тела полигона	Срок эксплуатации (лет)
Березники	95000	1012000	1270000	18,4
Чайковский	70000	365000	484400	14,8
Краснокамск	65000	445000	660000	18,0



Данная функция является технико-экономической моделью полигона.

Для использования данной модели необходимо определить численные значения констант и коэффициентов:

$S_{\text{верх}}$ — определяется на основе нормативной документации по проектированию полигонов;

q — зависит от плотности отходов на полигоне, технологии пересыпки и т. п., определяется на основе технических показателей полигонов;

a, b, c — экономические коэффициенты. Они сильно зависят от конструкции полигона, используемых на полигоне технологий, оборудования и сооружений.

Для определения коэффициентов модели полигона захоронения отходов была использована проектная документация по полигонам в г. Березники, г. Чайковском, г. Краснокамске. В таблицах 1 и 2 приведены экономические и технические показатели полигонов.

На основе этих данных были определены коэффициенты:

$S_{\text{верх}} = 600 \text{ м}^2$;

$q = 0,7535$;

$a = 24748,49821$ (тыс. руб. * тонну);

$b = 0,965852518$ (тыс. руб. * тонну^{1/3});

$c = 0,16049$ (тыс. руб.).

На рисунке 2 представлен вид зависимости удельных затрат на захоронение от емкости полигона.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

Множество $I = \{1, \dots, N\}$ — возможные места сооружения полигонов; множество $J = \{1, \dots, M\}$ — места

размещения источников отходов; полигон может быть сооружен на территории источника (населенного пункта) или на перекрестке дорог; a_j — количество отходов, образующихся в j -м источнике; V_i — емкость i -го полигона, $i \in I$; $\sum_{i \in I} V_i = \sum_{j \in J} a_j$ — полигоны должны

принять все отходы; g_{ij} — затраты на транспортировку и захоронение всех отходов из j -го источника на i -м полигоне, $i \in I, j \in J$.

Необходимо найти множество полигонов $S \subseteq I$, $S \neq \emptyset$ и $V_i \in S$, которое обеспечивало бы захоронение всех отходов при минимальных затратах

$$F(S) = \sum_{j \in J} g_{ij} \rightarrow \min_{S \subseteq I}.$$

Удельные затраты на захоронение на полигоне зависят от количества отходов, поступающих на данный полигон.

Тогда затраты на транспортировку и захоронение

$$g_{ij} = (\varphi(L_{ij}) + f(V_i)) \times x_{ij},$$

где L_{ij} — расстояние между j -м источником и i -м полигоном, $i \in I, j \in J$; $\varphi(L_{ij})$ — функция зависимости удельных затрат на транспортировку от расстояния между источником и полигоном; x_{ij} — количество отходов из j -го источника, захороненное на i -м полигоне, $i \in I, j \in J$; $f(V_i)$ — функция зависимости удельных затрат на захоронения от емкости полигона.

Критерий оптимальности принимает вид

$$F(S) = \sum_{j \in J} (\varphi(L_{ij}) + f(V_i)) \times x_{ij} \rightarrow \min_{S \subseteq I}$$

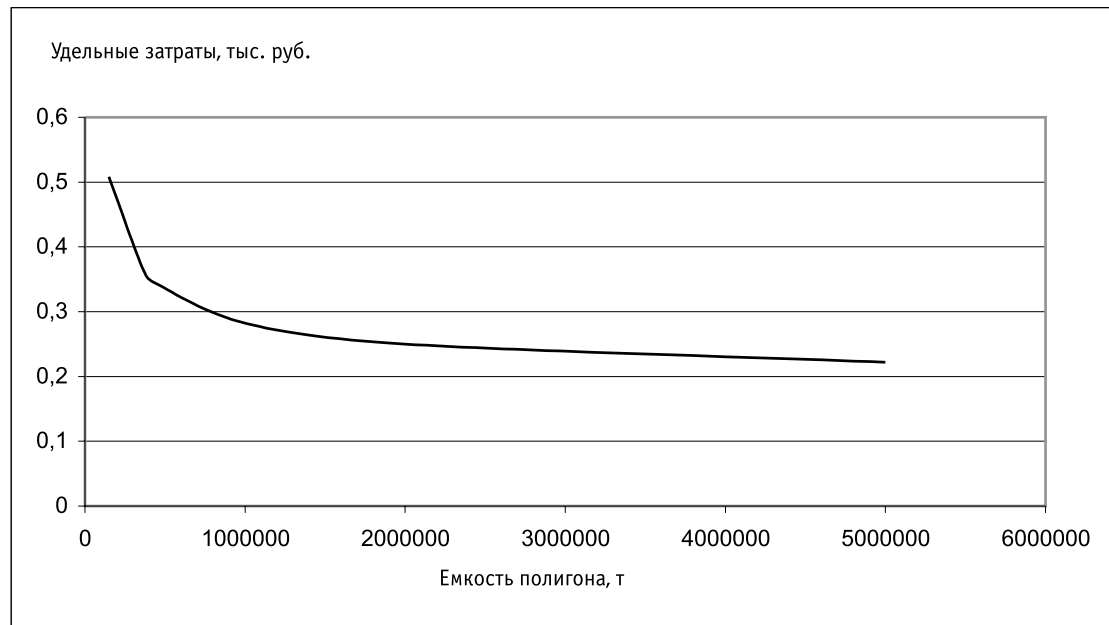


Рисунок 2 — Зависимость удельных затрат на захоронение от емкости полигона



при следующих ограничениях:

$\sum_{i \in I} x_{ij} = a_j$ — все отходы должны вывозиться из источника, $i \in I, j \in J$;
 a_j — количество отходов, образующихся в j -м источнике, $j \in J$;
 $V_i \geq \sum_j x_{ij}$ — емкость полигона больше или равна сумме складываемых на нем отходов;
 $x_{ij} \geq 0, i \in I, j \in J$.
Допустимое решение состоит из M переменных $x_{ij} = a_j$ и N переменных V_i , все остальные переменные $x_{ij} = 0$, что означает, что все отходы из источника везутся на один полигон.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Для решения этой задачи разработан метод, который является модификацией метода покоординатного спуска. Метод дает хорошую сходимость, решение определяется за $N^2 \times M$ итераций. (Решение данной задачи перебором возможно за N^M итераций) Недостатком метода является то, что он определяет локальный экстремум и для поиска глобального экстремума необходимо изменять начальное допустимое решение.

Если принять $S = J$, то это означает, что каждый населенный пункт имеет свой полигон. В этом случае суммарные затраты на транспортировку мо-

гут быть приняты нулю. Емкость каждого полигона равна количеству отходов в данном населенном пункте. Это можно принять за начальное допустимое решение.

Допустим, что m -й источник вывозит свои отходы на n -й полигон, тогда затраты на вывоз составляют $(\varphi(L_{nm}) + f(V_n)) \times a_m$. Если он будет вывозить отходы на k -й полигон, то затраты составят $(\varphi(L_{km}) + f(V_k + a_m)) \times a_m$. Смена полигона повлечет увеличение емкостей k -го и уменьшение емкости n -го полигонов. Изменение затрат соответственно составит $\sum_{j \in J} (f(V_k + a_m) - f(V_n)) \times x_{kj}$ и $\sum_{j \in J} (f(V_n - a_m) - f(V_n)) \times x_{nj}$. Если $f(V_i)$ — убывающая функция, то изменения затрат для k -го полигона будут отрицательные.

$$\Delta_{mk} = ((\varphi(L_{km}) + f(V_k + a_m)) \times a_m) - ((\varphi(L_{nm}) + f(V_n)) \times a_m) + \sum_j (f(V_k + a_m) - f(V_n)) \times x_{kj} + \sum_j (f(V_n - a_m) - f(V_n)) \times x_{nj}.$$

Δ_{mk} — изменение критерия при смене для m -го источника отходов с n -го полигона на k -ый.

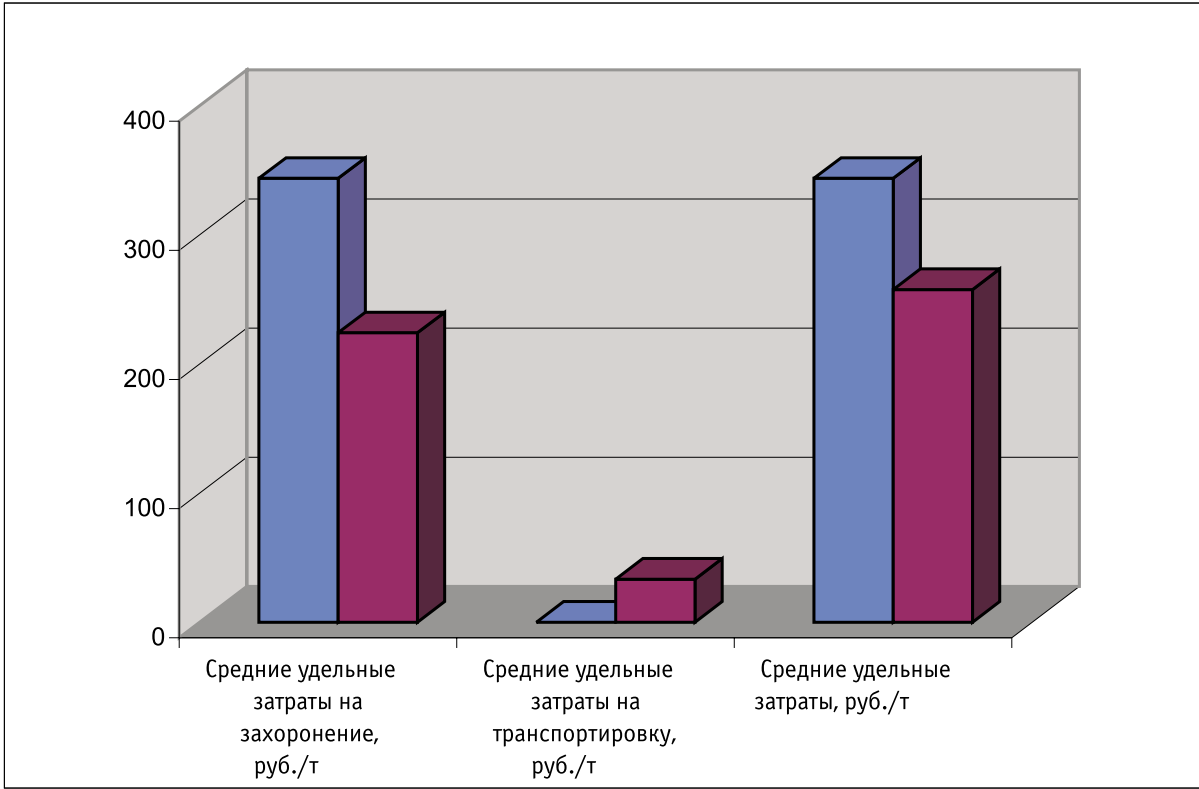


Рисунок 3 — Экономические показатели вариантов расчета

На каждом шаге алгоритма для каждого источника определяется Δ для всех небазисных переменных. Поскольку критерий минимизируется, то для смены базисного решения выбирается наименьшая Δ .

Когда все Δ будут положительными, мы найдем минимум.

Оптимальным будет решение с наименьшим критерием $F(S^*) \leq F(S)$.

Поскольку начальное базисное решение строилось при $S = J$, то в базисное решение никогда не попадут x_{ij} , где $i \in I, i \notin J$. Решение будет оптимальным, только если $J = I$. Для введения этих переменных в базисное решение используется дополнительная процедура, описанная ниже.

Если $J \subseteq I$, то мы имеем возможные места строительства на перекрестках дорог. Поскольку в местах перекрестков отходы не образуются, то перенос полигона в место перекрестка повлечет изменение только затрат на транспортировку, затраты на захоронение останутся неизменными. Поэтому в метод была введена проверка на баланс входных потоков на полигон.

Если поток отходов, поступающих на полигон, по какой-либо дуге графа дорожной сети больше суммы отходов других дуг и отходов этой точки, то полигон надо переместить по этой дуге. Такая оценка проводится на каждом шаге для каждого полигона. Переход на следующий шаг произойдет после того, как все полигоны будут иметь баланс входных потоков отходов.

РАСЧЕТ СХЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе разработанной модели проведен расчет (на рисунке 3 представлены экономические показатели вариантов расчета) оптимальной схемы

размещения объектов захоронения отходов потребления на территории Пермской области (рисунок 4). На рисунке 3 представлены экономические показатели вариантов расчета. Результаты расчетов оптимальной схемы размещения полигонов на территории Пермской области приведены в таблице 3.

Расчет был произведен разработанным методом при различных начальных условиях, а также (размерность задачи это позволила) простым перебором всех возможных решений.

Решение задачи дало следующие результаты.

Четыре объекта захоронения отходов — полигоны в городах Перми емкостью 9761 тыс. т; Чусовом — 1164 тыс. т; Березники — 2628 тыс. т; Чайковском — 593 тыс. т. Суммарные капитальные затраты на сооружение полигонов составляют 903 млн. руб. Средние удельные затраты на захоронение — 224,33 руб. на тонну. Средние удельные затраты на транспортировку — 33,43 руб. на тонну. Средние удельные затраты на транспортировку и захоронение — 257,76 руб. на тонну.

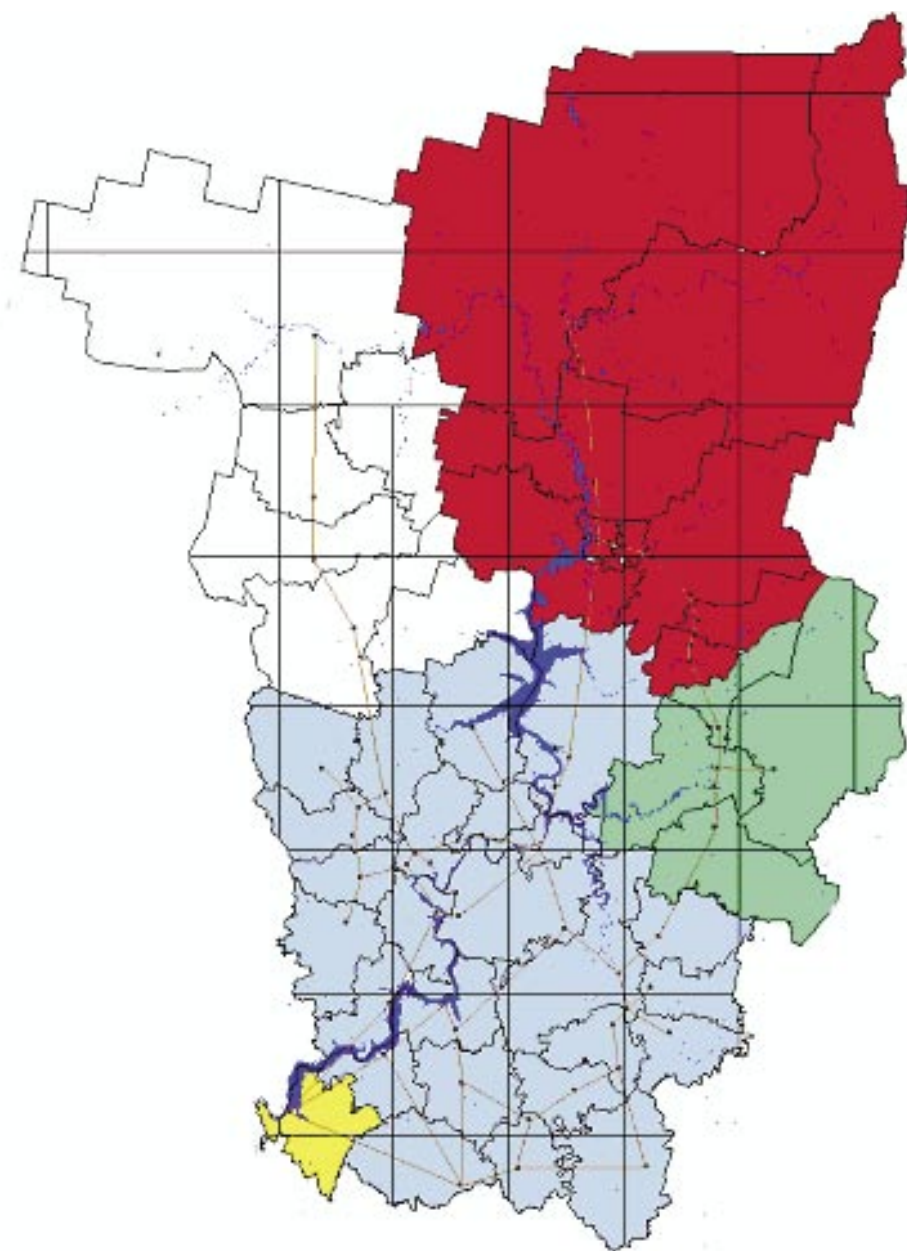
Для сравнения полученных результатов используется схема, при которой каждый населенный пункт имеет собственный полигон. Для нее определены следующие удельные показатели: капитальные затраты на сооружение полигонов — 2594 млн. руб., средние удельные затраты на захоронение — 343,91 руб. на тонну.

Реализация региональной схемы размещения объектов захоронения отходов потребления позволяет получить экономический эффект по капитальным затратам 1691 млн. руб. (65%), по удельным затратам на обезвреживание одной тонны отходов — 86,15 руб. (25%), по территории на строительство полигонов — 83,6 га (50%).

Таблица 3 — Результаты расчетов оптимальной схемы размещения полигонов на территории Пермской области

Вариант расчета	Схема размещения полигонов	Капитальные затраты на сооружение полигонов, млн. руб.	Средние удельные затраты на захоронение, руб./т	Средние удельные затраты на транспортировку, руб./т	Средние удельные затраты, руб./т
1	Каждый населенный пункт имеет свой полигон (45 объектов на территории области)	2594	343,91	—	343,91
2	Оптимальная схема размещения полигонов (4 объекта на территории области)	903	224,33	33,43	257,76

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТЯГА ПАРЫ «БАНДАЖ — ОБОД» С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ



- Зона обслуживания полигона г. Перми.
- Зона обслуживания полигона г. Березники.
- Зона обслуживания полигона г. Чайковского.
- Зона обслуживания полигона г. Чусового.
- Коми-Пермяцкий автономный округ.

Рисунок 4 — Схема зон обслуживания полигонов захоронения ТБО



Александр Петрович Буйносов,
доцент кафедры «Электрическая
тяга», к.т.н, УрГУПС



Константин Алексеевич Стаценко,
аспирант кафедры «Электрическая
тяга», УрГУПС



Николай Иванович Сергеев,
руководитель Уральского
территориального управления
МПС России

Ослабление посадки бандажа на ободе колесного центра является неисправностью, непосредственно угрожающей безопасности движения подвижного состава. Кроме угрозы безопасности движения, это приводит к длительному простоя локомотива во внеплановом ремонте для выкатки колесной пары из-под локомотива с целью перетяжки или замены бандажа.

Колесная пара — один из ответственных элементов механической части локомотива, от технического состояния которого непосредственно зависит безопасность движения. Для обеспечения безопасности движения и минимизации расходов при ремонте необходимо внедрение современных технологий, связанных с разработкой новых способов контроля. Применяемая технология формирования колесных пар на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования предполагает использование соединений с гарантированным натягом в зоне контакта сопрягаемых деталей. Недостаточная прочность таких соединений нередко приводит к опасным бракам в эксплуатационной работе.

Коллегия Министерства путей сообщения Российской Федерации в феврале 2002 г. и в январе 2003 г. поставила задачи разработки и внедрения новых систем технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе показателей фактического состояния и прогнозирования остаточного ресурса узлов и оборудования с использованием современных диа-

гностических устройств и методов неразрушающего контроля.

Для решения указанных задач на кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения разработана методика определения величины натяга бандажа на ободе колесного центра после формирования колесной пары в эксплуатации.

Использовалась зависимость величины и формы ультразвуковых импульсов, отраженных от границы «бандаж — обод» и ее контактного напряжения. Сама возможность применения этого эффекта начиная с 50-х годов XX века признается учеными разных стран. Однако, усложняющие факторы, такие, как овальность, конусность, сложная форма и неодинаковая толщина бандажей, не позволяли решить эту задачу. Только в настоящее время, с развитием современной электронной техники, появилась такая возможность.

Значительную трудность для осуществления контроля прочности посадки по величине и форме импульсов, отраженных от границы «бандаж — обод»,

представляет отклонение от идеальной формы контактных поверхностей. Согласно действующей инструкции МПС России № ЦТ/329, допускается овальность посадочной поверхности не более 0,2 мм и конусность не более 0,1 мм. Для уменьшения эффекта конусности исследовались сигналы, отраженные от середины контактной поверхности бандажа с ободом колесного центра.

При рассмотрении геометрии ультразвукового поля дискового излучателя было установлено, что в ближней зоне волна распространяется без расхождения, протяженность ее определяется по формуле $L_0 = \alpha^2 / \lambda$.

В нашем случае радиус пьезоэлемента α составляет 6 мм. При частоте $\nu = 2,5$ МГц в стали длина волны $\lambda = 2,3$ мм и $L_0 \approx 15$ мм (рисунок 1). Учитывая, что в дальней зоне половинный угол раскрытия θ составляет

$$\theta = \arcsin(0,61 \cdot \lambda / \alpha), \quad (1)$$

т.е. $\theta \approx 14^\circ$, при толщине бандажа $l = 90$ мм получим, что падающая на границу бандаж — обод ультразвуковая волна имеет вид овала с площадью S

$$S \approx [\alpha + (l - L_0) \cdot \lg \theta]^2 \cdot \pi. \quad (2)$$

Представляет интерес оценка погрешности, которая получается, если предположить, что интенсивность ультразвуковой волны падает только вследствие ее расхождения. В этом случае интенсивность

ϑ обратно пропорциональна площади поперечного сечения волны

$$\vartheta_2 / \vartheta_1 = S_1 / S_2. \quad (3)$$

Средние координаты первого Y_{cp1} и второго донного Y_{cp2} сигналов: $Y_{cp1} = 94,4$ мм, $Y_{cp2} = 185,7$ мм. Подставив в формулу (2) $l_1 = 2Y_{cp1}$, $l_2 = 2Y_{cp2}$, получим площадь поперечного сечения S_1 и S_2 УЗК в месте регистрации донных сигналов при условии, что их поле имеет вид усеченного конуса при $S_1 = 7120$ мм² и $S_2 = 26300$ мм². Среднее значение амплитуды первого донного импульса составляет $N_{1cp} = 95,5$ пикселя. Переведем это значение в ДБ.

$$N_{дБ} = 20 \lg(N / N_0). \quad (4)$$

Для дефектоскопа УДЗ-103 $N_0 = 52,6$, тогда $N_{1cp ДБ} = 5,18_{дБ} + D_3$ (D_3 — значение ослабления на экране, $D_3 = 24$ ДБ). Среднее значение второго донного сигнала $N_{2cp} \approx 43,0$ пикселя. Переведем это значение в ДБ.

$$N_{2cp ДБ} = -1,75_{дБ} + D_3, \quad (5)$$

тогда

$$\Delta D = \Delta N = N_{1cp ДБ} - N_{2cp ДБ}, \quad (6)$$

или $\Delta D = 6,93$ ДБ.

Определим фактическое отношение интенсивностей УЗК при регистрации первого и второго донных импульсов. Так как $N = 10 \cdot \lg \vartheta / \vartheta_0$ то

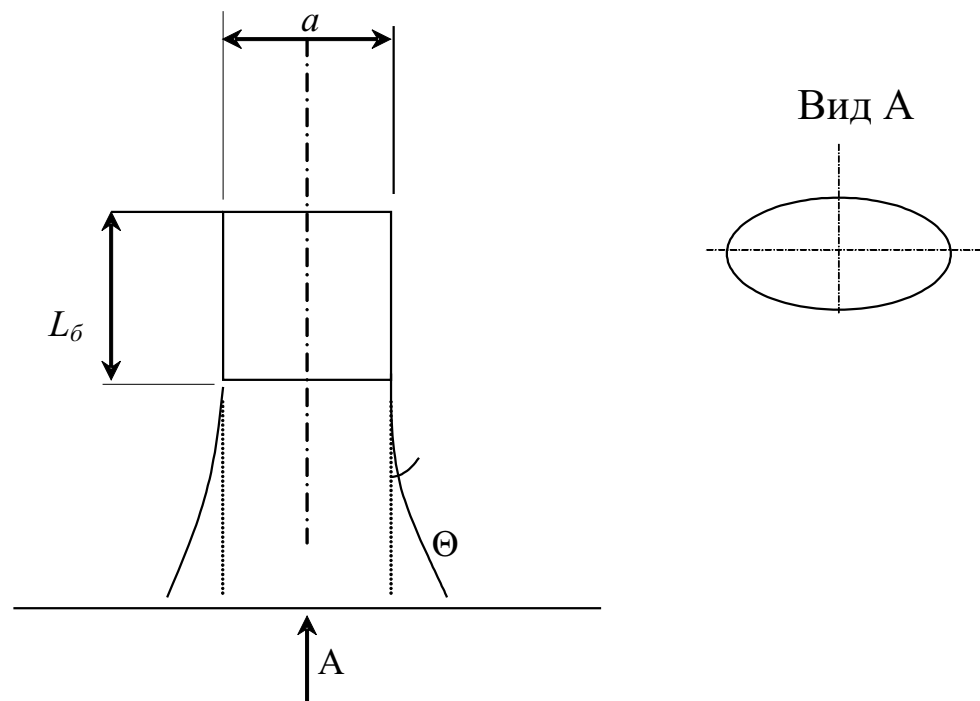


Рисунок 1 — Схема ультразвукового поля, создаваемого пьезоэлементом

$$\vartheta_2 / \vartheta_1 = 10^{\Delta D / 10}. \quad (7)$$

$\vartheta_2 / \vartheta_1 = 0,203$, из [1] теоретическое отношение $(\vartheta_2 / \vartheta_1)_t = 0,271$.

Разница между фактической и теоретической интенсивностями составляет 25%. Это обусловлено поглощением и рассеянием волны в бандаже, упрощением ультразвукового поля при расчетах. Вследствие непараллельности отражающих поверхностей при каждой регистрации сигнала пьезоэлемент (ПЭП) оказывается все дальше отстоящим от центральной оси ультразвукового поля, где интенсивность волны меньше. Кроме того, при каждом отражении от поверхности бандажа происходит частичная трансформация продольной волны в поперечную и поверхностную. Эти волны распространяются с другими скоростями и в других направлениях, что приводит к уменьшению амплитуды главного участка регистрируемого импульса. Наконец, амплитуда и форма донного импульса зависят от коэффициента отражения границы «бандаж — обод» [2].

Из-за сложности распространения ультразвука, информацию о состоянии контакта «бандаж — обод» могут нести только первый и второй донный импульсы. Учитывая это, эмпирически было выбрано оптимальное положение ПЭП на поверхности бандажа так, чтобы амплитуды донных импульсов были максимальны. При всех измерениях ПЭП устанавливался на поверхности катания таким образом, чтобы расстояние между точкой входа центрального луча и боковой гранью бандажа со стороны опорного буртика составляло 63 мм. Это расстояние фиксирова-

лось с помощью поводка, закрепленного на корпусе пьезопреобразователя.

Другой существенной проблемой в применении метода является допускаемая при изготовлении бандажа и колесного центра овальность посадочных поверхностей. По этой причине в отдельных участках контактирующих поверхностей механические напряжения превышают расчетные, а в отдельных участках контактное механическое напряжение может вообще отсутствовать.

Овальность не влияет на распределение напряжений, если направления больших полуосей эллиптических посадочных поверхностей совпадают. Зоны контроля можно было бы точно определить, если бы была известна ориентация этих полуосей, что на практике нереально. Для уменьшения влияния овальности зондирование контактирующих поверхностей производилось в шести местах, равномерно распределенных вдоль окружности бандажа. Схема расположения участков ультразвукового контроля показана на рисунке 2.

Существенно повлиять на величину импульсов могут помехи, связанные с изменением поглощения и рассеяния ультразвука средой [3]. Участки материала с крупнозернистой структурой сильнее рассеивают УЗК, что при большой протяженности исследуемого объекта может привести к значительному ослаблению донных сигналов.

Для установления степени влияния структурных ревербераций в бандажной стали на амплитуду донных импульсов по результатам серии измерений была определена наиболее вероятная средняя раз-

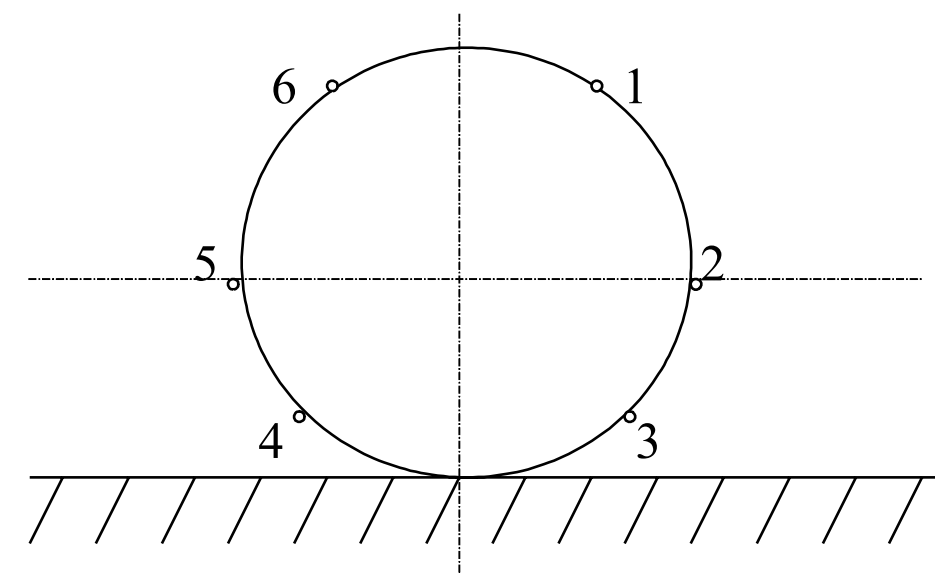


Рисунок 2 — Схема расположения участков ультразвукового контроля

ность амплитуд первого и второго донных импульсов $A_0 = \Delta N_{12} = 52,47$ пикселя. Измерения производились по экрану дефектоскопа при одинаковых показаниях аттенюатора. Разность амплитуд донных сигналов при n -м измерении A_n

$$A_n = N_1^n - N_2^n, \quad (8)$$

где N_1^n — амплитуда первого донного импульса при n -м измерении; N_2^n — амплитуда второго донного импульса при n -м измерении.

Разница между разностью амплитуд при n -ном измерении и средней разностью амплитуд $p_n = A_n - A_0$.

Вероятная погрешность измерений ΔA_{OB}

$$\Delta A_{OB} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \dots + \rho_n^2}{n(n-1)}}. \quad (9)$$

В нашем случае число измерений $n = 51$. Тогда $\Delta A_{OB} = 0,95$ пикселя. Вероятная относительная погрешность γ_{OB}

$$\gamma_{OB} = \frac{\Delta A_{OB}}{A_0} \cdot 100\%, \quad \gamma_{OB} = 1,8\%. \quad (10)$$

Аналогичные вычисления, выполненные по результатам серии измерений, дают $A_0 = 51,57$ пикселей.

Измерения проводились в 2001—2004 гг. на ОАО «Российские железные дороги» — филиал «Екатеринбургский электровозоремонтный завод» (ЕЭРЗ), на котором используются бандаж, отлитые на НТМК. Поскольку измерения проводились в течение длительного времени, то по полученным результатам можно судить о стабильности структуры бандажной стали.

Эксперименты показали, что на амплитуду второго донного импульса в некоторой степени влияет неравномерность прижатия ПЭП к поверхности катания бандаж, в то время как стабильность амплитуды первого донного импульса легко обеспечивается.

Для оценки этого фактора по результатам серии измерений определена наиболее вероятная средняя разность амплитуд зондирующего импульса и первого донного $A_0 = \Delta N_{01} = 57,01$ пикселя при одинаковых показаниях аттенюатора дефектоскопа. Разность амплитуд сигналов при n -н измерении A_n

$$A_n = N_0^n - N_1^n, \quad (11)$$

где N_0^n — амплитуда зондирующего импульса при n -м измерении; N_1^n — амплитуда первого донного импульса при n -м измерении.

Разница между амплитудами при n -ном измерении и средней разностью амплитуд $p_n = A_n - A_0$.

Вероятная погрешность измерений ΔA_{OB}

$$\Delta A_{OB} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \dots + \rho_n^2}{n(n-1)}}. \quad (12)$$

В нашем случае число измерений $n = 161$. Тогда $\Delta A_{OB} = 0,16$. Или $\Delta A_{OB} = 0,033$ ДБ. Относительная вероятная погрешность γ_{OB}

$$\gamma_{OB} = \frac{\Delta A_{OB}}{A_0} \cdot 100\% \tau, \quad \gamma_{OB} = 0,29\%. \quad (13)$$

Это в шесть раз меньше, чем для разности между первым и вторым импульсами.

В процессе производства измерений было установлено, что разность показаний ΔN_{01} между зондирующим и первым донным импульсом меняется в гораздо меньших пределах, чем разность между первым и вторым донными импульсами ΔN_{12} . Поэтому ΔN_{01} была выбрана за индикатор дефектов, которые могут значительно изменить форму донных импульсов.

После анализа количества значений ΔN_{01} по результатам измерений установлена величина порога $\Delta N_{01} < 67$, где 67 — число делений по экрану дефектоскопа, это соответствует $\Delta N_{01} < 9,8$ ДБ; если это условие не выполнялось, то измерение заменялось измерением в другом участке бандаж, отстоящем по окружности примерно на 10 см.

Установлено, что в большинстве случаев «аномальное» ослабление первого донного импульса происходит за счет рассеяния УЗК в районе, прилегающем к поверхности катания. Поэтому если при значении параметра «отсечка», равном 5%, импульсы, прилегающие к зондирующему сигналу, имеют протяженность более 30 мм (1 клеточка экрана), то такое измерение также игнорировалось и заменялось измерением в другом (соседнем) месте.

Для проверки возможности регистрации зависимости величины и формы донных импульсов от контактного давления, исходя из полученных данных проведенных экспериментов, определено среднее значение разности амплитуд ΔN_{01cp} зондирующего и первого донного импульсов для суммы мест 6 и 1 (см. рисунок 2): $\Delta N_{01cp} = \sum \Delta N_{01} / n = 3081/54 = 57,06$ ($n = 54$ — число измерений). Для суммы мест 2 и 5 среднее значение разности амплитуд $\Delta N_{01cp} = 3024/53 = 57,06$, для суммы мест 3 и 4 $\Delta N_{01cp} = 3074/54 = 56,93$. Разброс результатов составляет 0,2%, что свидетельствует о высокой точности измерений.

И.В. Крагельским был дан обзор работ по определению площади касания шероховатых поверхностей в зависимости от контактного давления для некоторых сталей, где показано, что для материалов с высокой твердостью эти площади не превышают нескольких процентов от номинальной площади. В нашем случае перед посадкой бандаж подвергается нагреву, что изменяет состояние поверхности и делает затруднительным теоретическое определение фактической площади контакта. Однако ясно, что пропорционально натягу возрастает контактное давление на границе «бандаж — обод», что ведет к увеличению площади



касания поверхностей, а значит, к уменьшению коэффициента отражения ультразвука и уменьшению интенсивности донного сигнала.

Определим пределы изменения механических напряжений на границе «бандаж — обод». Известно [4], что при толщине бандаж 90 мм и натяге $\Delta D = 1,9$ мм контактные напряжения составляют в среднем $\delta_{\perp} = 32,3$ МПа и изменяются прямо пропорционально натягу, поэтому $\delta_{\perp} = k \cdot \Delta D$, откуда $k = 17$ Па/мм. При $\Delta D = 1,5$ мм $\delta_{\perp} = 25,5$ МПа, а при $\Delta D = 1,7$ мм $\delta_{\perp} = 28,9$ МПа, следовательно, при изменении натяга в допустимых пределах от 1,5 до 1,7 мм контактные напряжения возрастают на 13,3%.

Следующим этапом проведенных исследований был анализ полученных зависимостей соотношения импульсов от величины натяга по результатам измерений в 2000—2004 гг. на ЕЭРЗ. Работа была выполнена при температуре в колесном цехе $t = 15$ °С при одинаковом значении усиления дефектоскопа $\blacktriangleright 3$ при специально созданной настройке «084», основные параметры которой: $\gamma = 2,5$ МГц; $\nu = 5850$ м/с; время ПЭП = 2,3 мкс; длина развертки 284 мм; отсечка 0,5%. Все измерения выполнялись с одним ПЭП № 132.

Для уменьшения эффекта овальности, как указывалось выше, данные снимались в 6-ти участках бандаж равномерно по окружности, после чего однотипные параметры суммировались.

При расчетах учитывалось, что увеличение толщины бандаж на 1 мм вблизи среднего значения уменьшает амплитуду донного импульса на 0,09 ДБ.

Из анализа экспериментальных данных следует, что в хорошей корреляционной зависимости от натяга находится выражение

$$B = \sum \frac{N_0}{N_1} \cdot \sum h_i, \quad (14)$$

где N_0 — амплитуда зондирующего импульса; N_1 — амплитуда первого донного импульса; h_1 — ширина первого донного импульса, пикселей.

Каждая сумма имеет шесть слагаемых по числу мест измерения. Определение зависимости $B = f(\text{натяг})$ осуществлялось с помощью методов регрессионного анализа, который позволяет обработать полученный статистический материал с минимальной потерей информации. Рассматриваемая зависимость была описана линейной функцией вида $B = a + b \cdot (\text{натяг})$ (a , b — коэффициенты аппроксимации, определяемые из статистических данных по методу наименьших квадратов). При оценке надежности коэффициента корреляции убедились, что его абсолютная величина превышает среднюю квадратичную ошибку σ_r , не менее чем в 3 раза, т.е. $r_r / \sigma > 3$.

Таким образом, при увеличении натяга в пределах, установленных [4], т.е. 1,45—1,72 мм, параметр B увеличивается на 9,6%, что существенно и сравнимо с возрастанием контактного напряжения. Анализ фор-

мы импульсов показал, что при изменении натяга заметно изменяется крутизна n_1 ската (заднего фронта) первого донного импульса. Для бандажей под нагрузкой среднее значение отношения N_1/n_1 для мест 1 и 6 вверху бандаж больше на 5%, чем внизу. Следовательно, при увеличении контактного давления крутизна заднего фронта n_1 увеличивается.

Для подтверждения данной закономерности была проведена серия экспериментов при использовании режима работы дефектоскопа УДЗ-103 с двумя периодами в зондирующем импульсе. Исследовалась зависимость параметра C

$$C = \sum \frac{n_1}{0,01 \cdot N_1}, \quad (15)$$

где n_1 — спад величины импульса на трех ступеньках, пикселей.

Значения величины C суммировались для шести измерений у каждого испытуемого бандаж. Эмпирическая зависимость $C = f(\text{натяг})$ была описана линейной функцией вида $C = a + b \cdot \text{натяг}$. Установлено, что при изменении величины натяга в установленных [4] пределах параметр C увеличивается примерно на 19%, однако имеет место значительный разброс результатов. Дальнейшие исследования показали, что при изменении формы зондирующего импульса характер зависимости также изменяется. Тем не менее этот эффект в совокупности с другими признаками может служить критерием для определения натяга бандаж.

В процессе анализа экспериментальных данных было обнаружено, что в режиме работы дефектоскопа с одним периодом в зондирующем импульсе вершина первого донного импульса имеет вид буквы «U» и разность между пиками вершины находится в корреляционной зависимости от натяга.

Аналогично, как и для величин B и C , зависимость $U = f(\text{натяг})$ была описана линейной функцией вида $\sum U = a + b \cdot \text{натяг}$.

Проведена серия измерений параметров поверхностей волны, распространяющейся вдоль окружности опорного буртика до и после посадки бандаж. Опорный буртик практически не испытывает наклепа во время эксплуатации колесной пары и имеет достаточные размеры для того, чтобы получить необходимую точность измерений с помощью штатных приборов.

При толщине контролируемого изделия, равной размерам буртика, для частот $f \geq 400$ кГц скорость поверхностных волн не зависит от изменений этих частот, которые для дефектоскопа УД2-102 могут достигать 10%. При этом измерялось время распространения УЗК вдоль окружности опорного буртика, анализировалась совокупность первых и вторых сквозных сигналов. Поскольку в ограниченном пространстве УЗК трансформируются в волны различного



типа, распространяющиеся с разными скоростями, в память прибора записывался «стоп-кадр» с информацией о всех типах волн, а также сведения о натяге и номер бандажа. Кроме того, указывалась измеренная температура бандажа. В результате каждой серии экспериментов было получено более 100 «стоп-кадров», которые затем анализировались.

Установлено, что расположение импульсов на экране дефектоскопа незначительно, однако зависит от направления излучения УЗК вдоль окружности, что, по-видимому, обусловлено асимметрией звукового поля пьезоэлемента и различным характером отражения волн на неровностях поверхностей. Поэтому в дальнейшем, для определенности, все излучения УЗК производились против часовой стрелки. Фиксированным было и положение излучателя на буртике — у левой кромки клейма.

Очень важным является учет температурного фактора. Из анализа известных для некоторых сталей экспериментальных данных было принято, что при нагревании на 1 °С скорость поверхностных волн уменьшается на 1 м/с. Это значит, например, что при нагревании на 30 °С время прохождения сигнала по опорному буртику возрастает на $\Delta t = 11,1$ мкс. Температура измерялась с точностью до 1 °С в верхней и нижней частях бандажа, за результат бралось среднее значение.

Метод оценки натяга основан на зависимости скорости распространения поверхностных волн (волн Рэлея) от напряженного состояния твердого тела. При увеличении механических напряжений в бандажной стали скорость распространения волн Рэлея уменьшается, что приводит к увеличению времени прохождения сигнала. Кроме того, на время распространения поверхностных волн влияет изменение геометрических размеров бандажа при посадке на обод колеса центра.

В результате анализа набора полученных сигналов для исследования выбраны импульсы, обусловленные поверхностными волнами, поскольку, как сказано выше, их скорость не подвержена изменению при различных значениях частоты. При рассмотрении «стоп-кадров», полученных до и после насадки бандажей, установлена корреляционная зависимость между параметрами сигналов и натягом. Разработана программа обработки полученных данных.

Определим время t распространения волн Рэлея вдоль окружности буртика, фронт которых перпендикулярен плоскости бандажа, при нормальной температуре $\Theta_0 = 20$ °С. Условную длину буртика будем считать $l_0 = 3297$ мм, а скорость УЗК $V_0 = 3032$ м/с. Тогда

$$t_0 = l_0 / V_0 + t_{\text{пэп}} \quad (16)$$

где $t_{\text{пэп}}$ — время распространения УЗК в пьезоэлементе по паспорту, $t_{\text{пэп}} = 45$ мкс.

Следует иметь в виду, что реальное $t_{\text{пэп}}$ несколько меньше указанного, поскольку путь ультразвука в пьезоэлементе при регистрации сквозных сигналов несколько меньше, чем при регистрации отраженных. Из выражения (16) $t_0 = 1132$ мкс. Существенным является учет зависимости скорости V УЗК от температуры. Анализируя данные, известные для некоторых сталей, в расчетах остановимся на величине 1 м/(с·°С). Тогда

$$V = V_0 + 1 \cdot (20 - \Theta), \quad (17)$$

где V — скорость поверхностных волн при температуре Θ .

Определим изменение времени Δt распространения сигнала при температуре Θ по сравнению с временем t_0 . Очевидно, что

$$\Delta t = \frac{l_0(1 + \alpha\theta)}{V} - \frac{l_0}{V_0}, \quad (18)$$

где α — температурный коэффициент линейного расширения для стали, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/°С.

Для облегчения учета температурного фактора в расчетах будем определять разность между временем t регистрации каждого импульса и значением

$$t' = (1088 + \Delta t) \text{ мкс}, \quad (19)$$

где Δt — изменение времени распространения сквозных сигналов при изменении температуры от 20 °С до Θ ; 1088 мкс — экспериментально полученное время, соответствующее началу серии первых сквозных импульсов, созданных поверхностной волной при 20 °С у ненасаженного бандажа.

Кроме температуры, время распространения сигнала в буртике зависит от его размеров и скорости УЗК, а эти два фактора связаны с натягом бандажа. Для ряда сталей установлено, что макро- и микронапряжения снижают скорость ультразвука в них. Следовательно, при увеличении натяга оба фактора увеличивают время распространения сигнала. Поскольку трудно идентифицировать данный импульс при измерениях в разных условиях, анализировался их спектр в интервале $[t'; t' + 65]$ мкс для первого сквозного сигнала.

Функция T_1 (где J_i — интенсивность импульса в момент времени t)

$$T_1 = \frac{\int_{t'}^{t'+65} (t - t_1) J_i dt}{\int_{t'}^{t'+65} J_i dt} \quad (20)$$

характеризует совокупность первых сквозных импульсов. Ее значение не зависит от абсолютной величины интенсивностей импульсов, а определяется только их координатами и относительной величиной. T_1 определяет положение «центра тяжести» интен-



сивностей серии первых сквозных сигналов на оси времени по отношению к точке t' .

Функция $\Delta Z = T_1' - T_1$ не зависит явно от времени прохождения сигнала через пьезоэлемент $t_{\text{пэп}}$ и должна находиться в корреляционной зависимости от натяга. Поскольку подсчет интегралов от интенсивности на участках затруднен, для проверки этой гипотезы заменим интегрирование суммированием

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t - t') J_i}{\sum_{i=1}^n J_i}, \quad (21)$$

где n — число импульсов на данном интервале; t — координата импульса интенсивностью J_i .

По определению $N = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0}$ (J_0 — пороговое

значение интенсивности ультразвуковой волны, $J_0 =$

10—12 Вт/м², N — сила УЗК, ДБ), тогда $J = 10^{(\frac{N}{10} - 12)}$.

Выразив пороговое значение интенсивности через силу УЗК, получим

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t - t') 10^{(\frac{N_i}{10} - 12)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(\frac{N_i}{10} - 12)}}. \quad (22)$$

Амплитуды сигналов измеряются с точностью до 0,1 ДБ либо с помощью дефектоскопа УДЗ-103, имеющего эту дискретность измерения, либо с помощью УД2-102, измеряя амплитуду в пикселях и определяя силу УЗК в ДБ по градуировочной таблице.

Измерения времени регистрации импульсов производились в режиме «Луна. Ручная метка», где погрешность измерения составляет 1,25 мкс (по информации, полученной непосредственно у главного инженера фирмы «Пеленг»). В пределах указанных зон на частоте 400 кГц и усилением 80 ДБ регистрировали 6 или 7 первых сквозных сигнала или 6 вторых. Измерялась амплитуда N и время регистрации

сигнала t , по приведенным выше выражениям рассчитывались параметры T_1 и T_1' . Установлено, что в хорошей корреляционной зависимости с величиной натяга находится функция $\Delta Z = T_1' - T_1$ (T_1 , T_1' — параметры, определяющие положение «центра тяжести» интенсивностей, т. е. статистический момент интенсивностей серии первых сквозных сигналов до и после насадки).

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_0) 10^{(\frac{N_i}{10} - 12)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(\frac{N_i}{10} - 12)}} \text{ и } T_1' = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i' - t_0) 10^{(\frac{N_i'}{10} - 12)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(\frac{N_i'}{10} - 12)}}. \quad (23)$$

В ходе обработки экспериментальных данных выяснилось, что наиболее вероятным является значение $\Delta Z = 7$ мкс, и это существенно превышает погрешность измерений.

Таким образом, показана возможность определения натяга с помощью опорного буртика. Развитие аппаратных средств позволяет для более точного определения ΔZ реализовать разработанное программное обеспечение для дефектоскопа УД2-102. Можно повысить точность измерений, применяя более высокую частоту УЗК, равную 620 кГц, которая имеется, например, у дефектоскопа УДЗ-103.

При определении зависимости ΔZ от величины натяга с помощью методов регрессионного анализа рассматриваемая зависимость для величин B , C и U была описана линейной функцией.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Показана возможность определения натяга бандажа по величине и форме ультразвуковых импульсов, отраженных от поверхности контакта пары «бандаж — обод».
2. Разработана методика оценки количественной величины натяга бандажа на ободе колесного центра при насаженных бандажах.

Литература

1. Грек В.И. Прочность соединения бандажа с центром колес подвижного состава с учетом действия тепловых нагрузок при торможении: Дис. ... канд. техн. наук: 03.07.90; Д-8343-90. — Коломна, 1990. — 191 с.
2. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. — М.: Металлургия, 1985. — 257 с.
3. Зув Л.Б., Семухин Б.С., Бушмелева К.И. Зависимость скорости ультразвука от действующего напряжения при пластическом течении кристалла // Журнал технической физики. — 1999. — №1 2. — С. 100—101.
4. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в условиях эксплуатации: Дисс... канд. техн. наук: 05.22.07. Защищена 04.12.92.; Утв. 05.06.93. — М., 1992. — 214 с.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ



Андрей Викторович Сирин,
зав. кафедрой «Технология
машиностроения», к.т.н., УрГУПС

Подвижной состав работает в условиях переменных циклических нагрузок, и поэтому одним из основных видов отказов являются усталостные разрушения его элементов, которые не только значительно увеличивают затраты на эксплуатацию, но и зачастую могут вызывать нарушения безопасности движения. Таким образом, к числу наиболее важных показателей, характеризующих надежность подвижного состава, относится усталостная долговечность его элементов.

В связи с этим особую актуальность приобретают методы расчета, позволяющие еще на стадии проектирования оценить усталостную долговечность деталей и принять меры для ее повышения.

Оценка усталостной долговечности требует знаний параметров исследуемых деталей, характеризующих их усталостную долговечность (предел выносливости, параметры кривой усталости). Для достоверного определения этих параметров необходимо провести полные усталостные испытания 50—100 натурных образцов. Учитывая размеры, конфигурацию и стоимость натурных деталей, во многих случаях испытания в полном объеме не проводятся. Как правило, проводят испытания 5—10 натурных деталей, выявляют зоны усталостного разрушения, после чего вносят изменения в конструкцию и снова проводят усталостные испытания. Применение указанного метода требует значительных затрат времени и средств, однако не обеспечивает максимальной надежности изделия ввиду недостаточности объема статистической информации.

Существенное сокращение времени и затрат на проведение испытаний и в то же время повышение надежности изделия могут быть достигнуты путем испытания достаточного количества образцов, а затем адаптации полученных результатов на натурные детали.

В настоящее время для переноса результатов испытаний малых образцов на натурные детали наибольшее распространение получила статистическая теория подобия усталостного разрушения Серенсена—Когаева

ва [1, 2]. В ее основу положена статистическая теория прочности «наиболее слабого звена» Вейбулла [3]. В качестве основного критерия подобия рассматривается отношение периметра L опасного сечения или его наиболее напряженной части к относительному градиенту $\bar{G} = \frac{1}{\sigma_{1\max}} \cdot \frac{d\sigma}{dx}$ первого главного напряжения

в этом сечении.

Смысл этого критерия заключается в следующем. Если деталь или образец имеют разные размеры, очертания, вид нагружения, но одинаковое значение критерия подобия $\theta = \frac{L}{\bar{G}}$, то функции распределения их пределов выносливости совпадают.

Многочисленные исследования, сопоставление расчетных и экспериментальных данных подтвердили достаточную точность статистической теории подобия усталостного разрушения Серенсена—Когаева. Методы определения параметров сопротивления усталости натурных деталей, разработанные на основе этой теории, вошли в нормативную и справочную литературу и ГОСТ 25.504 — 82.

Для определения величины периметра опасного сечения и относительного градиента первого главного напряжения требуется аналитическое описание полей напряжений и выбор граничных условий. В связи с этим определение численных значений критерия подобия θ возможно для ограниченного числа конструктивных форм и концентраторов напряжений (рисунок 1). В случае сложных конструктивных форм возникают существенные математические трудности. К тому же при аналитическом определении критерия подобия θ принят ряд допущений, вносящих погрешность при расчете [1]:

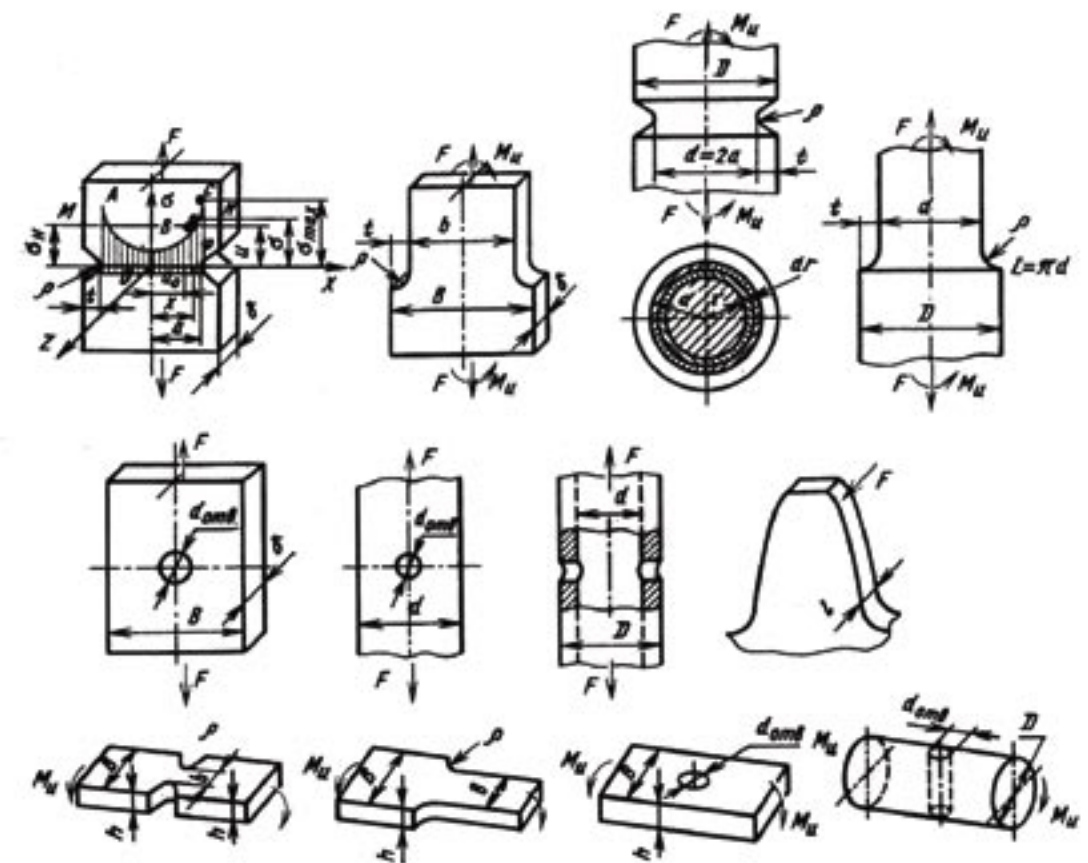


Рисунок 1 — Конструктивные формы и концентраторы напряжений, для которых применима статистическая теория подобия [1]

интеграл по объему заменен интегралом по площади;

не учитывается влияние второго и третьего компонентов главных напряжений (т. е. задача сводится к одноосному напряженному состоянию).

Большинство ответственных деталей подвижного состава имеют сложную пространственную форму и эксплуатируются при многоосном напряженно-деформированном состоянии. Указанные выше допущения, а также существенные математические трудности не позволяют с достаточной точностью использовать статистическую теорию подобия усталостного разрушения для определения характеристик сопротивления усталости подобных деталей.

Для определения характеристик сопротивления усталости деталей сложной формы предлагались различные методы, как расчетные [4, 5], так и основанные на результатах испытаний крупномасштабных моделей [6, 7], однако они не получили широкого распространения в связи с ограниченностью применения.

Стремительное развитие микроэлектроники, а вслед за ним — и вычислительной техники и численных методов анализа, таких, как метод конечных

элементов, ориентированных на использование вычислительных возможностей современных высокопроизводительных компьютеров, позволяет перевести процесс прогнозирования характеристик сопротивления усталости на качественно новый уровень.

В настоящей работе предлагается численный метод определения характеристик сопротивления усталости деталей сложной формы с использованием метода конечных элементов.

Для вывода основных соотношений воспользуемся моделью хрупкого разрушения для случая неоднородного напряженного состояния [8, 9]. Принимая минимальное значение прочности равным нулю, получим выражение для функции распределения вероятности разрушения

$$F(\sigma_{\max}) = 1 - \exp \left\{ - \int_{\sigma_{\max}}^{\infty} \frac{f(x, y, z)}{r_c} \frac{dV}{V_0} \right\}, \quad (1)$$

где V_0 — некоторый единичный объем;
 r_c — характерная прочность структурного элемента;
 α — параметр распределения;

σ_{\max} — разрушающее напряжение в детали;
 $0 \leq f(x, y, z) \leq 1$ — безразмерная функция координат.

Математическое ожидание разрушающего напряжения [8]

$$\bar{\sigma}_{\max} = s_c \cdot \left(\frac{V_0}{V^*} \right)^{1/\alpha} \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (2)$$

где $V^* = \int_V [f(x, y, z)]^\alpha dV$ — приведенный объем.

Отношение математических ожиданий двух образцов различных размеров

$$\frac{\bar{\sigma}_{\max 1}}{\bar{\sigma}_{\max 2}} = \left(\frac{V_2^*}{V_1^*} \right)^{1/\alpha}. \quad (3)$$

Рассматривая $\bar{\sigma}_{\max 1}$ как среднее значение предела выносливости стандартного образца $\bar{\sigma}_{-1}$ на базовом числе циклов, а $\bar{\sigma}_{\max 2}$ как среднее значение предела выносливости натурной детали $\bar{\sigma}_{-1\partial}$, получим

$$\bar{\sigma}_{-1\partial} = \left(\frac{V_o^*}{V_\partial^*} \right)^{1/\alpha} \cdot \bar{\sigma}_{-1}, \quad (4)$$

где V_o^* — приведенный объем стандартного образца.

Значение приведенного объема стандартного образца V_o^* может быть вычислено аналитически или по приведенному ниже алгоритму с помощью метода конечных элементов. Параметр распределения α и предел выносливости стандартного образца $\bar{\sigma}_{-1}$ определяются путем усталостных испытаний образцов.

Таким образом, задача определения предела выносливости натурной детали при известных параметрах сопротивления усталости образцов сводится к определению величины приведенного объема детали V_∂^* .

Функцию распределения напряжений по объему детали получаем путем численного моделирования с помощью метода конечных элементов. Вывод основных соотношений для определения величины объемного интеграла базируется на теории метода конечных элементов [10, 11]. В общем случае для одиночного конечного элемента имеем

$$dV = \det \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \cdot d\xi d\eta d\zeta = [J] \cdot d\xi d\eta d\zeta, \quad (5)$$

где $[J]$ — матрица Якоби (якобиан), связывающая частные производные по локальным координатам ξ, η, ζ с производными по глобальным координатам x, y, z .

Величина объемного интеграла для одиночного конечного элемента находится из выражения

$$V_{k\partial}^* = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [f_{k\partial}(x, y, z)]^\alpha \cdot [J_k] \cdot d\xi d\eta d\zeta. \quad (6)$$

Функция координат для одиночного конечного элемента определяется по формуле

$$[f_{k\partial}(x, y, z)] = \sum_i N_i \cdot \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}}, \quad (7)$$

где N_i — функция формы конечного элемента для i -го узла;

σ_i — значения напряжений в узлах конечного элемента;

σ_{\max} — максимальное напряжение в детали;

i — количество узлов элемента.

Якобиан определяется из следующего выражения:

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \xi} & \frac{\partial N_2}{\partial \xi} & \dots & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \dots & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \zeta} & \frac{\partial N_2}{\partial \zeta} & \dots & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_i \\ y_1 & y_2 & \dots & y_i \\ z_1 & z_2 & \dots & z_i \end{bmatrix}^T = [D] \cdot [C]^T, \quad (8)$$

где $[D]$ — матрица частных производных функций формы по локальным координатам;

$[C]$ — матрица глобальных узловых координат.

Для вычисления значения объемного интеграла для всей детали производится суммирование по всей совокупности конечных элементов.

Окончательное выражение для определения приведенного объема натурной детали выглядит следующим образом:

$$V_\partial^* = \sum_k \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [f_k(x, y, z)]^\alpha \cdot [J_k] \cdot d\xi d\eta d\zeta, \quad (9)$$

где k — количество конечных элементов.

Таким образом, определение характеристик сопротивления натурной детали выполняется в следующей последовательности (рисунок 2):

- проведение усталостных испытаний образцов и определение параметров $\alpha, \bar{\sigma}_{-1}$;
- разработка конечно-элементной модели натурной детали;
- определение функции распределения напряжений;
- определение максимального напряжения в детали σ_{\max} ;
- вычисление по формулам (6)–(9) величины приведенного объема;
- определение среднего значения предела выносливости натурной детали из выражения (4).

Предложенный выше метод позволяет определять значения пределов выносливости натуральных деталей

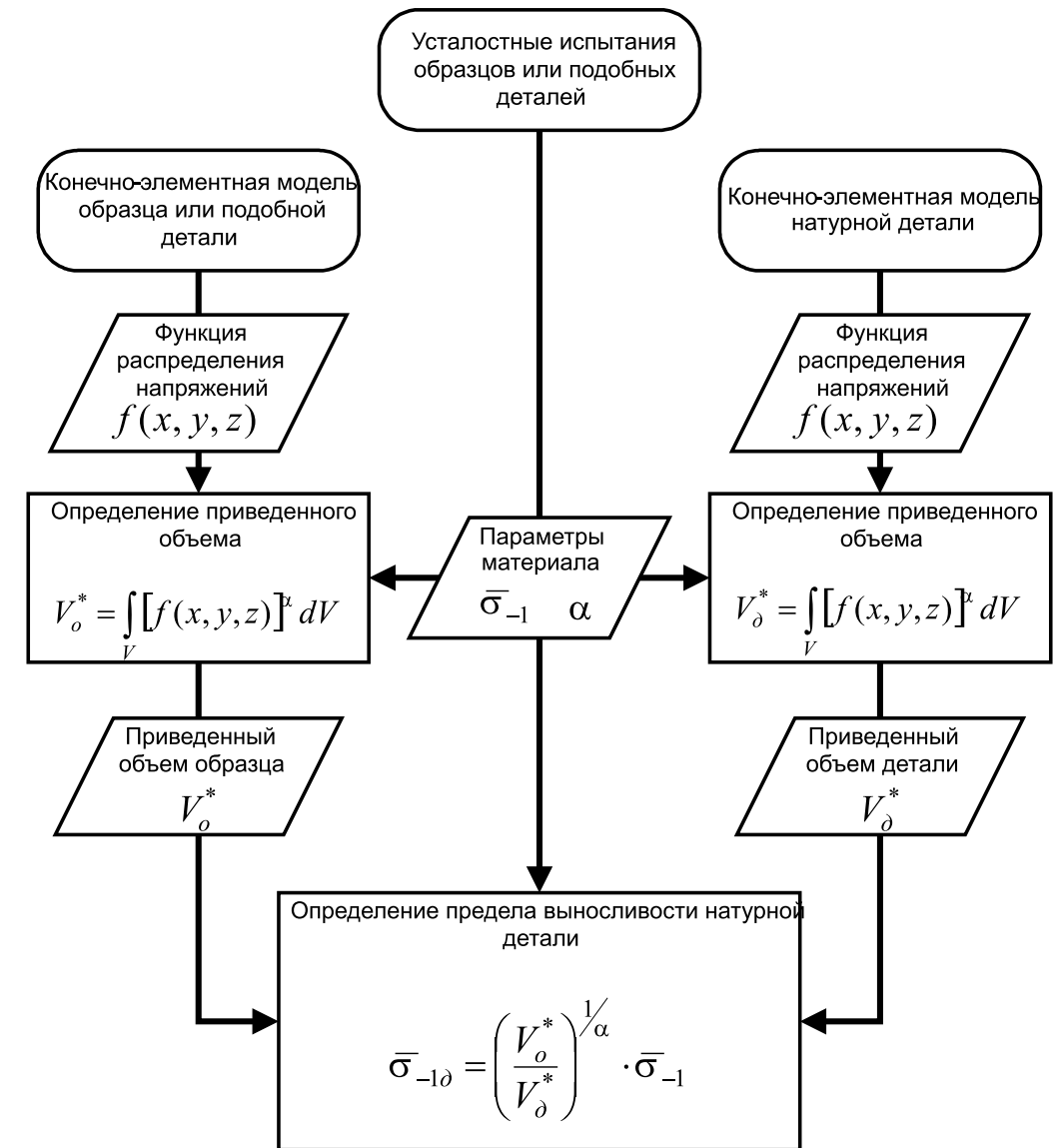


Рисунок 2 — Алгоритм определения характеристик сопротивления усталости

как по результатам испытаний стандартных образцов, так и по результатам испытаний подобных деталей, изготовленных по той же технологии.

Для сравнительной оценки достоверности метода был определен предел выносливости натурной детали [12].

На первом этапе в программном комплексе инженерного анализа ANSYS были разработаны конечно-элементные модели стандартного образца и натурной детали (рисунки 3а, 4а). При разработке конечно-элементной модели стандартного образца использовались условия симметрии и рассматривалась $1/2$ образца. После приложения граничных условий и нагрузок были получены функции распределения напряжений

по объемам стандартного образца и детали (рисунки 3б, 4б).

На втором этапе данные о распределении напряжений передавались через промежуточный формат в прикладную программу, разработанную автором в среде программирования Borland Delphi, для определения величин приведенных объемов.

Расчет по выражению (4) позволяет оценить влияние масштабного фактора и концентрации напряжений на снижение предела выносливости. Для учета влияния технологического и металлургического факторов использовались коэффициент K_F , учитывающий влияние обработки поверхности, и коэффициент K_1 , учитывающий снижение механических свойств мате-

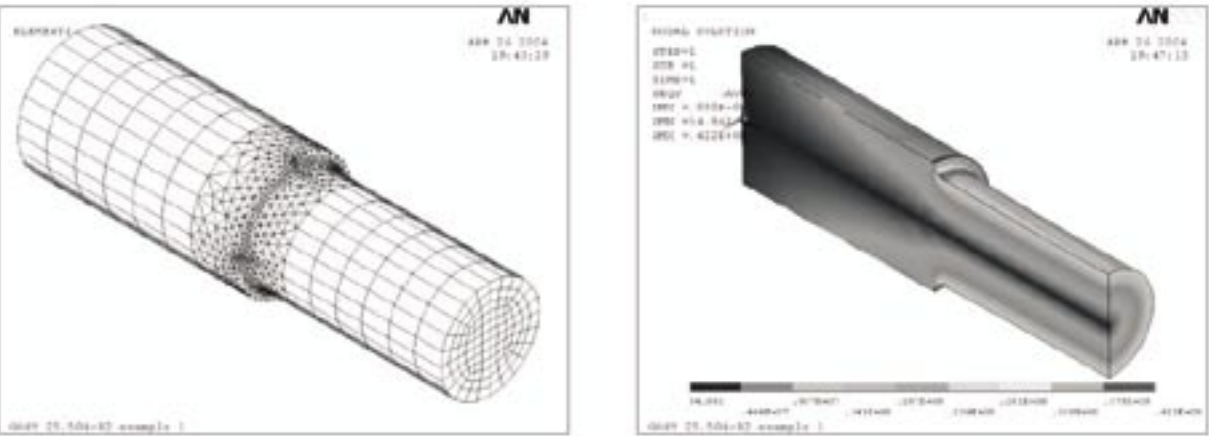


Рисунок 3 — Конечно-элементная модель (а) и напряженный объем (б) натурной детали. (ГОСТ 25.504-82, Пример 1.)

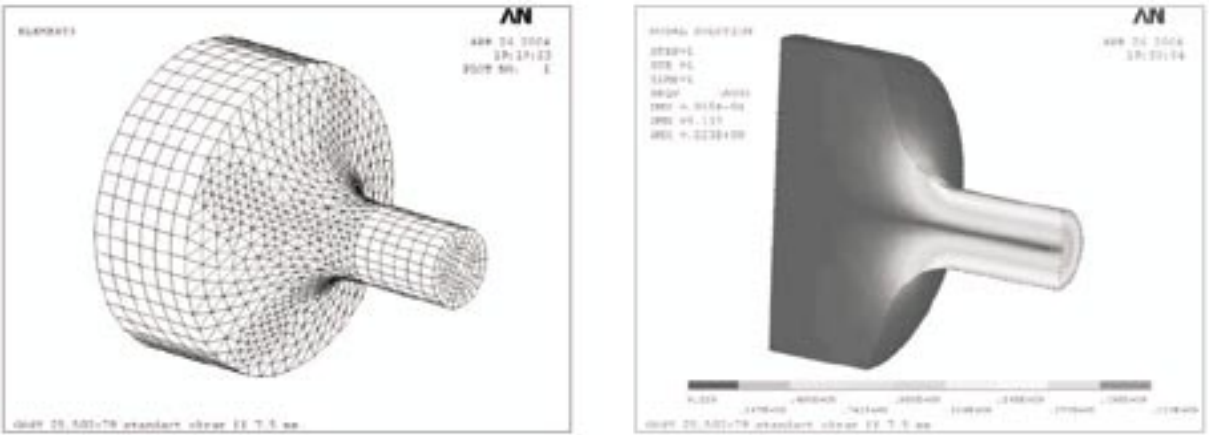


Рисунок 4 — Конечно-элементная модель (а) и напряженный объем (б) стандартного образца (ГОСТ 25.502-79, тип II)

риала с ростом размеров заготовок. В соответствии с ГОСТ 25.504-82 были приняты следующие значения: $K_F = 0,98$, $K_1 = 0,78$.

Предел выносливости детали составил

$$\bar{\sigma}_{-1\sigma} = \left(\frac{V_o^*}{V_d^*} \right)^{1/\alpha} \cdot \bar{\sigma}_{-1} \cdot K_1 \cdot K_F,$$
$$\bar{\sigma}_{-1\sigma} = \left(\frac{6,727 \cdot 10^{-8}}{1,004 \cdot 10^{-5}} \right)^{1/8,5} \cdot 300 \cdot 0,78 \cdot 0,91 = 118,2 \text{ (МПа)}$$

Расчет, приведенный в примере 1 ГОСТ 25.504-82, дает значение предела выносливости 117 МПа. Расхождение составляет около 1%.

Следовательно, результаты расчета по предлагаемой методике хорошо согласуются с аналитическим решением.

Предлагаемый выше метод позволяет оценить характеристики сопротивления усталости натуральных деталей крупных размеров и сложной формы по результатам испытаний малых образцов, для которых применение статистической теории подобия [1] затруднительно, а то и совсем невозможно.

Литература

1. Когаев В.П. Расчет деталей машин на прочность при напряжениях, переменных во времени. — М.: Машиностроение, 1977. — 130 с.
2. ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. — М.: Издательство стандартов, 1982.
3. Weibull W.A. A statistical theory of strength of materials // Proc. Royal Swedish Institute for Engineering Research. Stockholm. — 1939. — № 151. — P. 45.
4. Приходько А. П. Метод расчета параметров кривых усталости деталей сложной формы // Современные методы расчета вагонов на прочность, надежность и устойчивость: Сб. науч. тр. — М.: Транспорт, 1986. — С.113–121.
5. Сурков А.И. Обобщенный критерий подобия усталостного разрушения // Вестник машиностроения. — 1987. — № 7. — С. 28—30.
6. Коновалов Л.В., Вандышев В.П. Метод крупномасштабного моделирования для оценки пределов выносливости натуральных деталей // Проблемы прочности. — 1982. — № 3. — С. 48—53.
7. Коновалов Л.В., Когаев В.П., Вандышев В.П. Статистическая оценка ресурса крупномасштабных деталей сложной формы // Проблемы прочности. — 1978. — № 11. — С. 12—18.
8. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312 с.
9. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.
10. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов / Пер. с англ. А.С. Алексеева и др.; Под ред. А.Ф. Смирнова. — М.: Стройиздат, 1982. — 448 с.
11. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. — 392 с.
12. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. — М.: Издательство стандартов, 1986.

Министерство связи Российской Федерации

Ф С П - 1

АБОНЕМЕНТ на **32439**
(индекс издания)

Транспорт Урала

Количество комплектов

На 2005 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому

Линия отреза

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА **32439**
(индекс издания)

П В место ли тер

Транспорт Урала

На

Стоимость подписки

руб. коп.

Количество комплектов

На 2005 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

город село область район улица дом корпус квартира Фамилия И. О.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ
 ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ УСТРОЙСТВ
 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



Александр Петрович
 Сухогозов,
 зав. кафедрой
 «Теоретические основы
 электротехники»,
 профессор, к.т.н., УрГУПС



Игорь Александрович
 Пятецкий,
 начальник Дорожной
 электротехнической
 лаборатории Свердловской
 железной дороги



Алексей Александрович
 Косяков,
 инженер кафедры
 «Теоретические основы
 электротехники», УрГУПС



Александр Андреевич Бунзя,
 стажер-исследователь
 кафедры «Теоретические
 основы электротехники»,
 УрГУПС

В настоящее время имеется ряд предложений по усовершенствованию системы контроля изоляции устройств электроснабжения. Необходимость подобных изменений для устройств электроснабжения железных дорог можно выяснить путем анализа статистических данных отказов. Такая статистика имеется в Дорожной электротехнической лаборатории Свердловской железной дороги (рисунок 1).

Как можно отметить, основными проблемами устройств электроснабжения остаются отказ (пробой) изоляции (22% отказов) и отключение по невыясненной причине (38% отказов). На практике отключение по невыясненной причине часто является также отказом изоляции, который не удалось распознать, или так называемым перемежающимся отказом. Примерами перемежающегося отказа являются перекрытие изоляции, вызванное временным уменьшением электрической прочности, наброс проводников (первого или второго рода) на токоведущие части.

В то же время та же статистика отмечает недостаточное количество случаев выявления дефектной изоляции в процессе периодических испытаний. По данным статистики, в ходе периодических испытаний выявляется только треть устройств электроснабжения с дефектной изоляцией.

Таким образом, в настоящее время имеется насущная проблема совершенствования системы диагностики устройств электроснабжения, требующая как введения новых методов контроля, так и изменения системы диагностики изоляции.

Одной из наиболее совершенных методик является контроль частичных разрядов в изоляции. Данный метод диагностики изоляции применяется для контроля состояния высоковольтного оборудования некоторых подстанций энергосистем, как правило, для контроля состояния изоляции высоковольтных вводов трансформаторов 500 кВ [1]. Результаты опыта эксплуатации данного метода контроля изоляции показывают его высокую эффективность и достоверность при выявлении опасных дефектов изоляции, но в то же время данный метод диагностики не применяется для контроля изоляции устройств электроснабжения железных дорог, что можно объяснить сложностью и высокой стоимостью предложенных методов контроля частичных разрядов.

Частичный разряд в изоляции представляет собой ионизацию части межэлектродного пространства, которая обладает пониженной электрической прочностью (рисунок 2). Для твердой изоляции такими включениями могут быть пузырьки газов, капельки воды, изломы и другие механические пов-

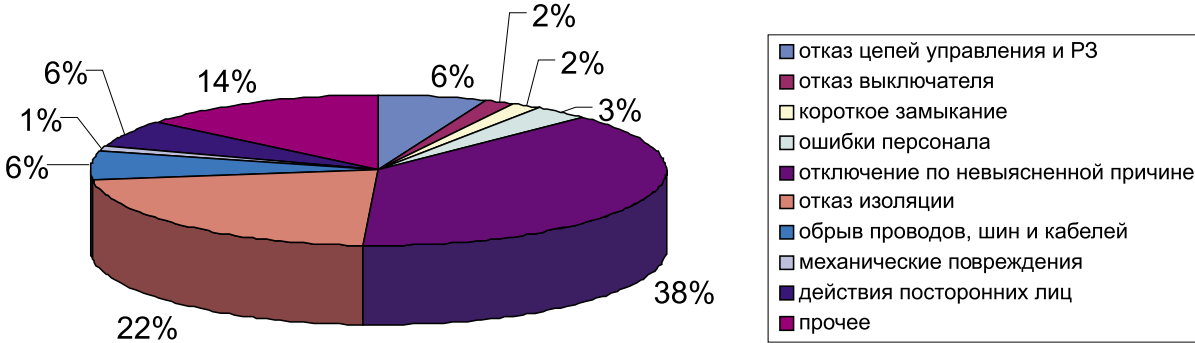


Рисунок 1 — Статистические данные отказов устройств тяговых подстанций Свердловской железной дороги за период 1994—2004 гг.

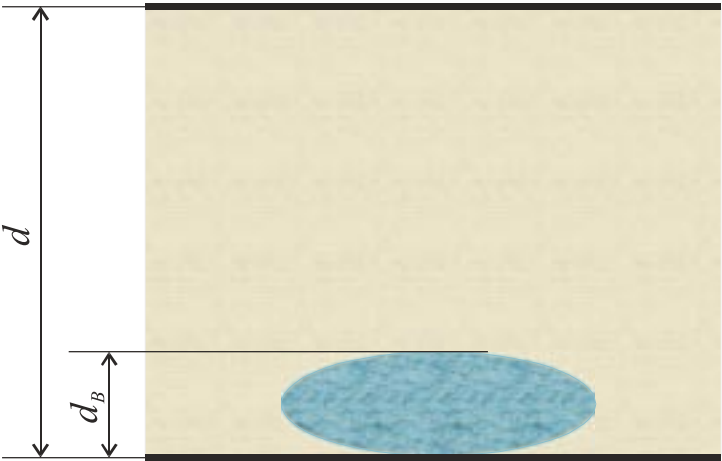


Рисунок 2 — Схема диэлектрика с включением (d — межэлектродное пространство, заполненное диэлектриком; d_B — диаметр включения в направлении электрического поля)

реждения изоляции. Частичные разряды необходимо изучать также и потому, что процесс частичной ионизации обладает высокой эрозионной способностью и достаточно высокий уровень частичных разрядов формирует особый вид пробоя изоляции — ионизационный [2].

Схему (см. рисунок 2) можно представить в виде эквивалентной электрической схемы замещения (рисунок 3), включающей емкость включения C_B последовательно соединенную с ней емкость неповрежденной части твердой изоляции C_T , силовые линии поля которой проходят через включение, емкость C_0 остальной части диэлектрика. Если при приложении переменного напряжения к диэлектрику напряжение на включении станет равным начальному напряжению ионизации $U_{B.B.}$, произойдет частичный разряд емкости включения. На схеме замещения это показано включением параллельно

емкости C_B искрового промежутка с разрядным напряжением $U_{B.B.}$.

Напряжение на объекте при возникновении разряда определится как

$$U_{XB} = \frac{C_T + C_B}{C_T} \cdot U_{B.B.} \quad (1)$$

Частичный разряд — это в большинстве случаев искровой разряд емкости включения C_B . Поскольку индуктивность в цепи разряда пренебрежимо мала, можно принять, что разряд емкости происходит через сопротивление r_B , эквивалентное усредненному значению сопротивления канала разряда. При этом напряжение на включении уменьшается на ΔU_B и протекает ток разряда

$$i_B = \frac{\Delta U_B}{r_B} \cdot e^{-\frac{1}{r_B \cdot C_{B.ЭК}} \cdot t} \quad (2)$$

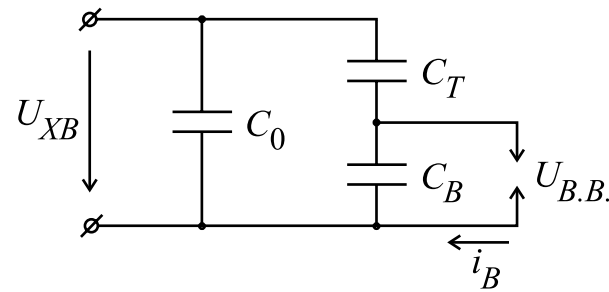


Рисунок 3 — Схема замещения для исследования процесса частичных разрядов в изоляции

где

$$C_{B.ЭК} = C_B + \frac{C_T \cdot C_0}{C_T + C_0} \quad (3)$$

За время протекания тока частичного разряда нейтрализуется заряд включения

$$q_B = \Delta U_B \cdot C_{B.ЭК} \quad (4)$$

Ввиду кратковременности процесса частичного разряда по сравнению с постоянной времени сети можно считать, что во время разряда источник энергии в восполнении заряда на объекте не участвует. Тогда при частичном разряде из-за нейтрализации заряда q_B между емкостью C_B и остальной емкостью C_0 объекта произойдет перераспределение зарядов, которое вызовет падение напряжения ΔU на объекте. Следовательно,

$$\Delta U = \Delta U_B \cdot \frac{C_T}{C_0 + C_T} \quad (5)$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned} \Delta U_B &= \frac{q_B}{C_{B.ЭК}} = \\ &= q_B \cdot \frac{C_T + C_0}{C_B \cdot C_T + C_B \cdot C_0 + C_T \cdot C_0}, \end{aligned} \quad (6)$$

а из рисунка 3 эквивалентная емкость

$$\begin{aligned} C_X &= C_0 + \frac{C_T \cdot C_B}{C_T + C_B} = \\ &= \frac{C_B \cdot C_T + C_B \cdot C_0 + C_T \cdot C_0}{C_T + C_B}, \end{aligned} \quad (7)$$

получим следующее выражение:

$$\Delta U \cdot C_X = q_B \cdot \frac{C_T}{C_T + C_B} = q. \quad (8)$$

Интенсивность частичных разрядов определяется одной или несколькими количественными характеристиками, связанными с единичным импульсом

частичного разряда либо с их совокупностью. Кроме того, интенсивность частичных разрядов можно определить, используя неэлектрические методы — химический анализ газов и масла, акустический метод и др.

Заряд q_B , в действительности нейтрализуемый при частичном разряде, так же, как и падение напряжения ΔU_B на включении, не может быть измерен непосредственно. Внешним проявлением частичного разряда при электрических методах измерения является падение напряжения ΔU на объекте. Однако, поскольку ΔU зависит от емкости объекта, эта характеристика неудобна. Поэтому обычно измеряют заряд $q = \Delta U_B \cdot C_X$, который называют кажущимся зарядом частичного разряда.

Кажущийся заряд частичного разряда — абсолютное значение заряда, который, будучи мгновенно введен между выводами объекта, вызовет такое же кратковременное изменение напряжения между его выводами, как и частичный разряд в объекте. Кажущийся заряд частичного разряда является достаточно удобной количественной характеристикой, ибо дает возможность получения сопоставимых характеристик частичных разрядов на разных объектах.

Обычно емкость включения C_B много больше емкости неповрежденной части изоляции C_T , включенной последовательно с дефектом. При этом $C_X \approx C_0 + C_T$ и

$$\Delta U \approx \Delta U_B \cdot \frac{C_T}{C_X}; \quad (9)$$

$$q = q_B \cdot \frac{C_T}{C_B}. \quad (10)$$

При частичном разряде искрой шунтируется емкость включения, т.е. общая емкость объекта изменяется на величину ΔC_X . При достаточно большой постоянной времени внешней схемы в процессе разряда приток энергии от источника питания отсутствует, поэтому заряд объекта до и после разряда одинаков:

$$C_X \cdot U_X = (C_X + \Delta C_X) \cdot (U_X - \Delta U), \quad (11)$$

откуда после преобразований с учетом (8) и малости произведения $\Delta U \cdot \Delta C_X$ следует, что

$$\Delta C_X \cdot U_X \approx \Delta U \cdot C_X = q. \quad (12)$$

Таким образом, для контроля изоляции устройств электроснабжения железных дорог следует использовать кажущийся заряд частичных разрядов. При этом на практике наибольший интерес представляет его максимальная величина, поскольку такой разряд обладает наибольшей эрозионной способностью и должен служить выбраковочным критерием при оценке качества изоляции. Необходимо отметить, что для исследования частичных разрядов могут применяться и другие характеристики [3].

В настоящее время в литературе не отмечены результаты исследования максимального кажущегося заряда частичных разрядов в устройствах электроснабжения железных дорог. Следовательно, возникла необходимость изучения таких характеристик изоляции с целью установления выбраковочных критериев, разработки методики исследования и оценки применимости данного метода контроля изоляции.

Исследования проводились на основе стандартов [3, 4] в лабораториях Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) и Дорожной электротехнической лаборатории (ДЭЛ) Свердловской железной дороги. Объектами испытаний служили трансформаторы напряжения типов ОМ-0,4/6, ОМ-1,25/6, ОМ-1,25/10 и ОЛ-1,25/10, силовые трансформаторы типов ТМ-63/6, ТМ-63/10, ТМ-180/6, а также опорные изоляторы с номинальным напряжением 6 кВ и ошиновка распреустройства 6 кВ.

Испытания проводились следующим образом (рисунок 4). Параллельно шинам высокого напряжения высоковольтной испытательной установки ВИУ последовательно подключались соединительные конденсаторы C_{II} , датчик частичных разрядов Z_{II} и заземление. Параллельно датчику частичных разрядов Z_{II} подключалось регистрирующее устройство РУ — осциллограф. Перед проведением испытаний очередного типа объектов исследования схема градуировалась с помощью генератора прямоугольных напряжений G и

градуировочного конденсатора C_0 импульсами амплитудой 50 В и частотой следования 2 мс.

Высокое напряжение подавалось с шагом 2,5 кВ до 32 или 42 кВ при испытании устройств с номинальным напряжением 6 или 10 кВ соответственно, на каждой ступени производилась выдержка времени длительностью 1 мин, в течение которой по показаниям осциллографа отсчитывался максимальный импульс частичных разрядов.

В ходе лабораторных испытаний в УрГУПС изоляция оборудования подвергалась следующим воздействиям (кроме оценки начального состояния):

- 1) запылению поверхности высоковольтных вводов полупроводящей пылью;
- 2) поверхностному увлажнению;
- 3) запылению и увлажнению поверхности изоляции;
- 4) изменению относительной влажности воздуха, окружающего объект испытаний.

Основной целью подобных воздействий являлось выявление закономерностей изменения амплитудных характеристик частичных разрядов, например, на поверхности или внутри трансформаторов. Исследования в ДЭЛ проводились в ходе периодических высоковольтных испытаний. Результаты исследования частичных разрядов в изоляции различных устройств электроснабжения железных дорог приведены в литературе [5—10]. На рисунках 5—11 изображены выборочные результаты испытаний, позволяющие оценить применимость метода контроля за состоянием изоляции устройств электроснабжения по характеристикам частичных разрядов и выработать выбраковочные критерии для практического применения данного способа диагностики изоляции.

Испытания некоторых объектов приходилось прекращать при напряжении ниже 30 кВ вследствие наличия видимых и слышимых интенсивных частичных разрядов, при этом уровень максимального кажущегося заряда частичных разрядов значительно превышал уровень 100 нКл.

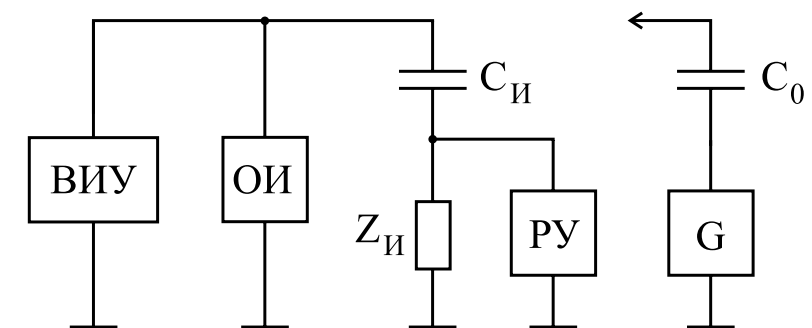


Рисунок 4 — Принципиальная схема испытательного стенда

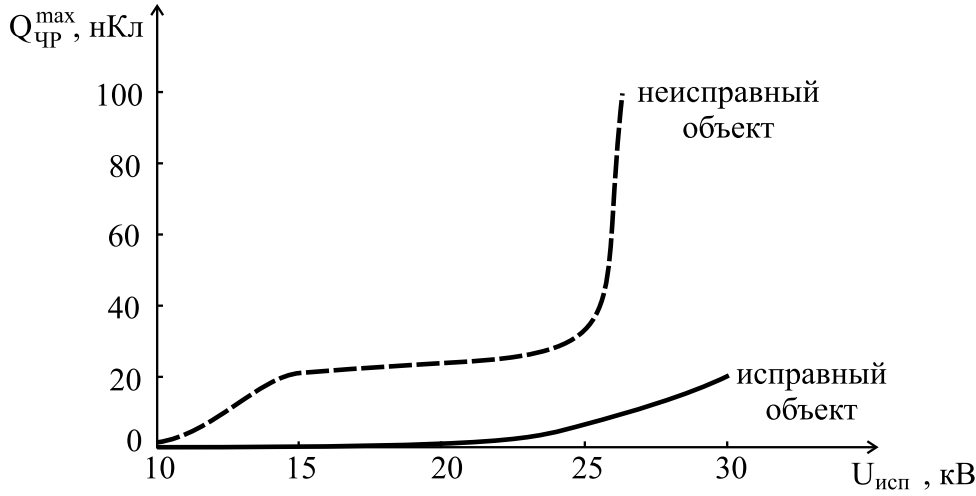


Рисунок 5 — Характеристики частичных разрядов в исправном и неисправном объекте на примере трансформаторов напряжения ОМ-1,25/6

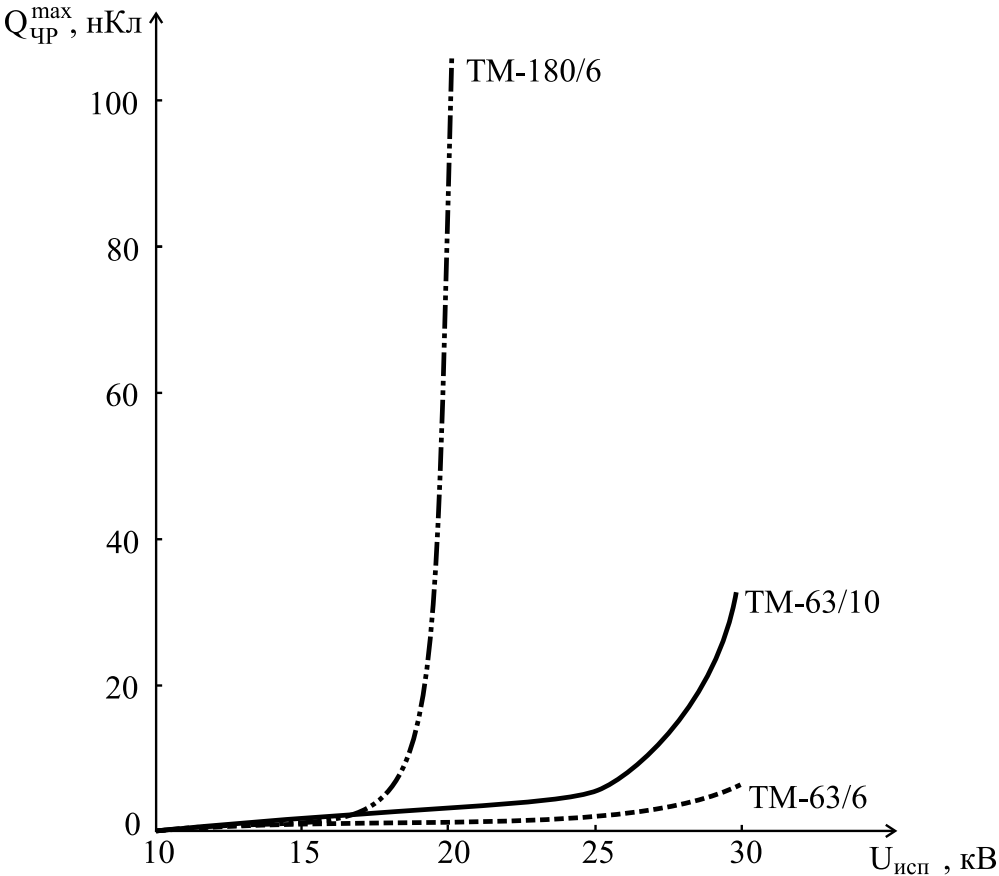


Рисунок 6 — Типичные амплитудные характеристики частичных разрядов в различных устройствах электропитания

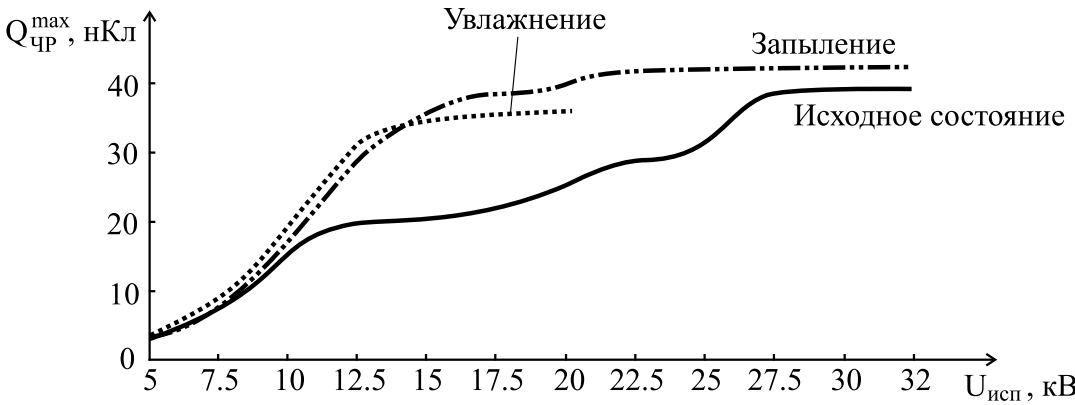


Рисунок 7 — Характеристики частичных разрядов в изоляции трансформатора напряжения ОМ-0,4/6 при различных эксплуатационных воздействиях

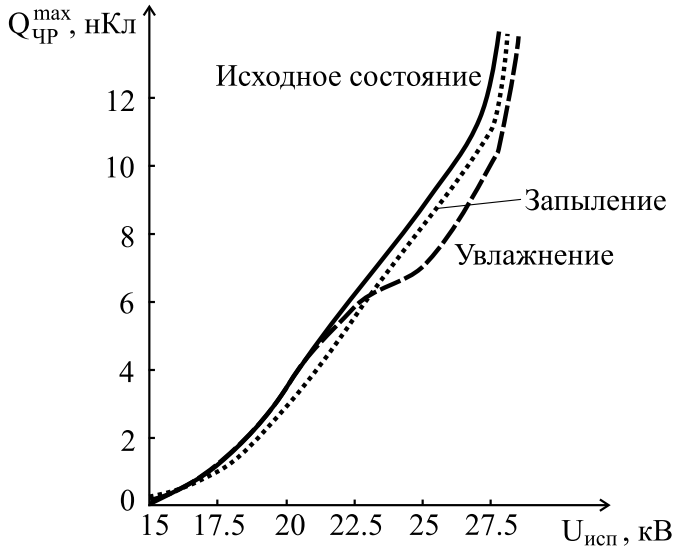


Рисунок 8 — Характеристики частичных разрядов в опорных изоляторах при различных эксплуатационных воздействиях

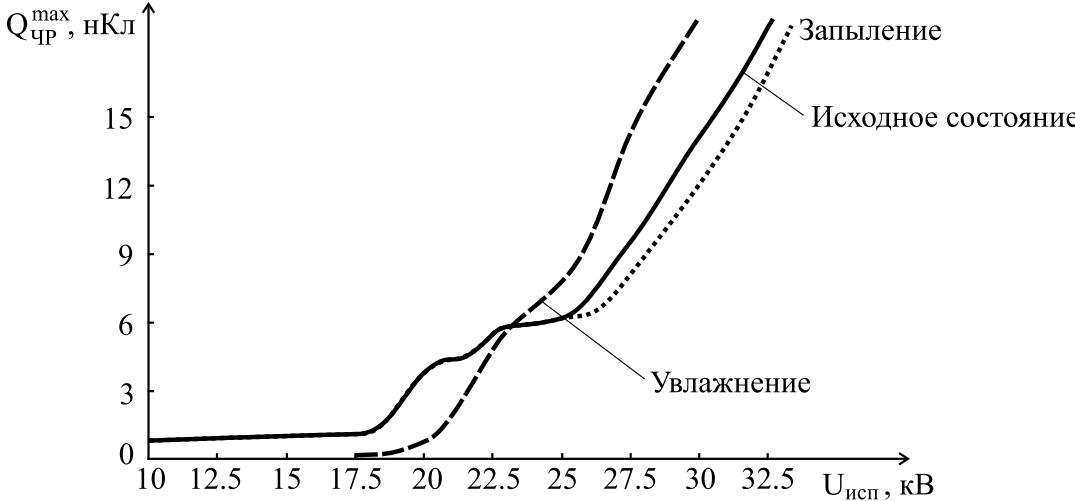


Рисунок 9 — Характеристики частичных разрядов в ошиновке распределительного устройства 6 кВ при различных эксплуатационных воздействиях

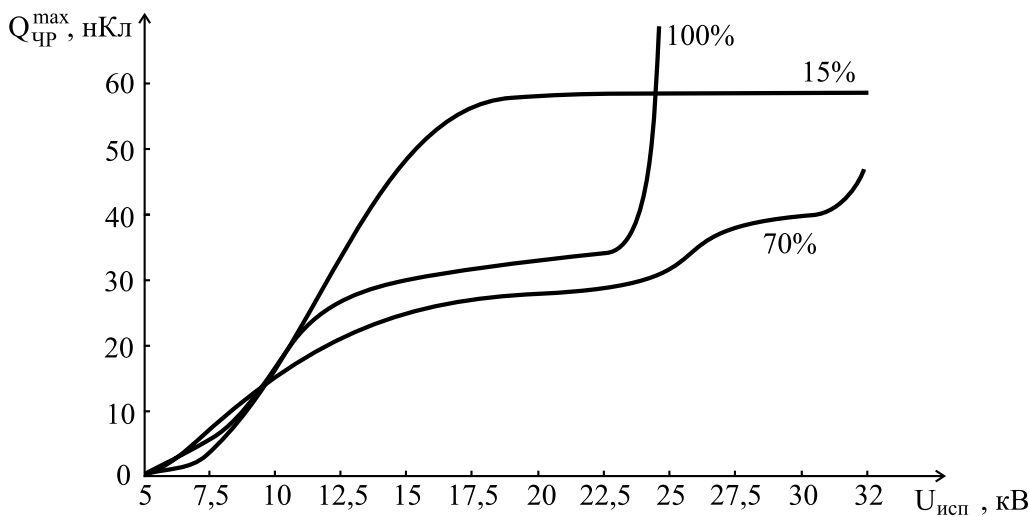


Рисунок 10 — Характеристики частичных разрядов в изоляции трансформатора напряжения ОМ-0,4/6 при различных уровнях относительной влажности воздуха

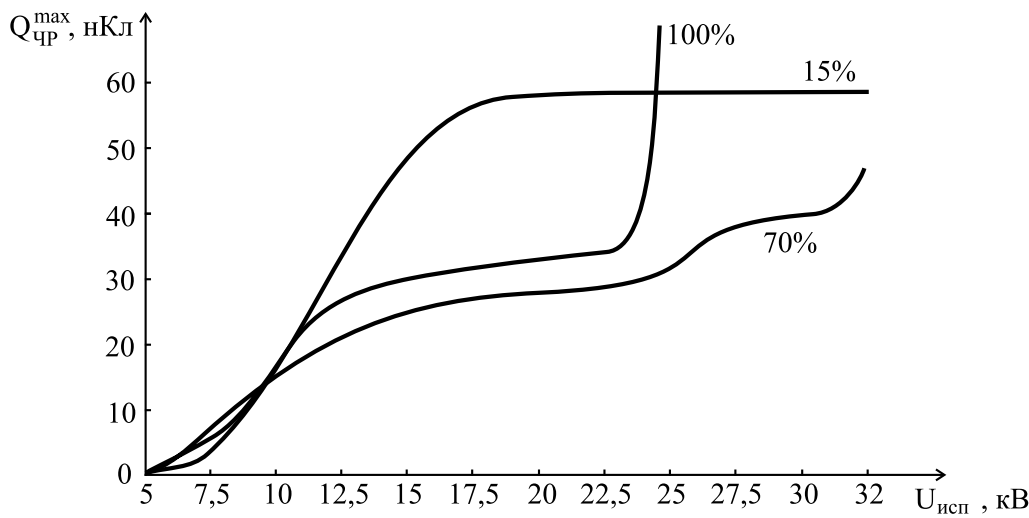


Рисунок 11 — Зависимости максимального кажущегося заряда частичных разрядов в изоляции трансформатора напряжения ОМ-0,4/6 от относительной влажности воздуха при различных уровнях испытательного напряжения

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы.

1. Уровень частичных разрядов во всех устройствах электроснабжения при повышении испытательного напряжения возрастает, при этом для объектов испытаний одного типа характеристики частичных разрядов могут значительно варьироваться, что свидетельствует о соответствующем состоянии изоляции.

2. Для дефектной изоляции характерно резкое нарастание уровня частичных разрядов, при этом

максимальный кажущийся заряд частичных разрядов превышает 100 нКл.

3. Наименьший уровень максимального кажущегося заряда частичных разрядов отмечается при исходном (неповрежденном) состоянии изоляции. В то же время при наличии небольшого количества поверхностных загрязнений или влаги отмечается уменьшение амплитуды частичных разрядов, что можно объяснить шунтированием поверхностных неоднородностей фарфора или пластика частицами пыли



или капельками воды. При этом большое количество загрязнений вызывает рост амплитуды частичных разрядов, что объясняется повышением неоднородности электрического поля на поверхности изоляции.

4. Уровень частичных разрядов минимален при относительной влажности воздуха 60—70% и увеличивается при увлажнении или осушении воздуха. Данное явление можно объяснить тем, что изоляция исследованных устройств электроснабжения проектировалась для эксплуатации при данном уровне относительной влажности воздуха. При уменьшении относительной влажности воздуха поры изоляции высушиваются и раскрываются, образуя области изоляции с пониженной электрической прочностью, которые и подвержены ионизации. При увеличении относительной влажности воздуха вплоть до 100% уровень частичных разрядов также возрастает, что вызвано конденсацией капелек пара на изоляции и увеличением неоднородности электрического поля.

5. При проведении исследований частичных разрядов в условиях эксплуатации следует придерживаться следующих рекомендаций.

5.1. Если целью испытаний является выбраковка дефектной изоляции, то выбраковочным критерием следует считать уровень частичных разрядов более 100 нКл при напряжении меньше нормативного испытательного.

5.2. Возможно применение одного устройства контроля частичных разрядов для исследования различных объектов, что объясняется универсальностью исследуемого параметра — максимального кажущегося заряда частичных разрядов. Данное устройство можно использовать как при периодических высоковольтных испытаниях, так и при эксплуатации в условиях номинального напряжения. В последнем случае такое устройство должно быть автоматическим.

5.3. Допустима градуировка одного объекта испытаний при групповых испытаниях, если емкость объектов испытаний различается незначительно.

Проведенные испытания подтверждают эффективность методики контроля состояния изоляции устройств электроснабжения железных дорог по характеристикам частичных разрядов, особенно по величине максимального кажущегося заряда частичных разрядов, поскольку такая характеристика проявляет чувствительность к различным видам дефектообразования. В эксплуатации при номинальном напряжении при постоянном контроле амплитуды частичных разрядов возможно исключение периодических испытаний изоляции. В процессе эксплуатации и при нормированных периодических высоковольтных испытаниях можно измерять и другие характеристики частичных разрядов, но важнейшей следует считать максимальный кажущийся заряд частичных разрядов.

Литература

1. Лавров В.Ю. Контроль характеристик электромагнитного излучения маслонаполненного высоковольтного оборудования // Вторая научно-техническая конференция молодых специалистов электроэнергетики: Сб. науч. трудов. — М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. — С. 163—167.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 304 с.
3. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов. — М.: Издательство стандартов, 1983. — 22 с.
4. ГОСТ 21023-75. Трансформаторы силовые. Методы измерений характеристик частичных разрядов при испытаниях напряжением промышленной частоты. — М.: Издательство стандартов, 1997. — 18 с.
5. Косяков А.А. Исследование частичных разрядов в изоляции трансформаторов напряжения // Молодые ученые — транспорту: Сб. науч. трудов / УрГУПС. — Екатеринбург, 2003. — С. 15—23.
6. Косяков А.А. Характеристика эксплуатационных воздействий на электрическую изоляцию устройств электроснабжения железных дорог // Актуальные проблемы современной науки: Сб. науч. трудов. — Самара: СамГТУ. — 2004. — Часть 22. — С. 23—26.
7. Косяков А.А. Исследование частичных разрядов в ошиновке распределительного устройства 6 кВ // Актуальные проблемы современной науки: Сб. науч. трудов, части 12—16 / СамГТУ. — Самара, 2003. — С. 53—56.
8. Сухогозов А.П., Косяков А.А. Частичные разряды в изоляции трансформаторов напряжения // Сб. науч. трудов / НЦ ЭНАС. — М., 2003. — С. 168—171.
9. Сухогозов А.П., Косяков А.А., Бунзя А.А. Влияние влажности воздуха на амплитудные характеристики частичных разрядов в изоляции трансформаторов напряжения // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Сб. науч. трудов, том 1 / УрГУПС. — Екатеринбург. — 2003. — С. 276—287.
10. Сухогозов А.П., Косяков А.А. Исследование частичных разрядов в опорных изоляторах // Молодежь Сибири — науке России: Сб. науч. трудов / СИБУП, КРО НС «Интеграция». — Красноярск. — 2003. — Часть 2. — С. 254—255.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЙ КУЗОВ КРЫТОГО ВАГОНА С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ СВОЙСТВАМИ



Борис Петрович Пасынков, профессор кафедры «Строительные конструкции», к.т.н., УрГУПС

Рассматривается новое техническое решение предварительно напряженного двухъярусного кузова пассажирского или грузового вагона с антирезонансными свойствами. Конструкция кузова особенно эффективна для длинномерных пассажирских и грузовых вагонов, эксплуатируемых на скоростных магистралях.

В результате предварительно напряженного конструкций кузова получается конструктивно-нелинейная

динамическая система, которая не настраивается на резонанс. Это свойство кузова существенно повышает надежность, долговечность и комфортабельность вагонов нового поколения. Преднапряжение кузова позволяет более широко и эффективно использовать для вагонов низкоомодульные конструкционные материалы: пластмассы, композиты, легкие сплавы и пористые заполнители.

По предварительным оценкам, новое техническое решение кузова позволит снизить материалоемкость и массоемкость вагона на 30...60%, трудоемкость изготовления — в 1,4—2 раза по сравнению с базовым решением и перейти на преимущественное использование неметаллических материалов.

Технические приемы обеспечения антирезонансных свойств конструкций могут быть разными. Они должны быть связаны с приданием конструкции нелинейной амплитудно-частотной характеристики и увеличением демпфирующих свойств (внутреннего трения), что достигается использованием многослойных стенок конструкций, соединением их посредством прижатия друг к другу, при колебаниях которых проявляются силы сухого трения, поглощающие энергию колебаний [1]. Нелинейная характеристика создается за счет предварительного напряжения пространственных конструкций кузова вагона.

Одномерное и двухмерное плоскостное предварительное напряжение достаточно широко используется в различных строительных конструкциях с целью снижения материалоемкости и повышения жесткости последних [2]. Вместе с тем одномерное преднапря-

жение в плоскостных конструкциях дает антирезонансный эффект, используется как активное средство сейсмозащиты в строительстве зданий и сооружений [3].

Концепция формирования конструктивно-нелинейных систем с включающимися связями для транспорта доложена и одобрена на международном симпозиуме «Шум и вибрация на транспорте», а также на Международной конференции по борьбе с шумом и вибрацией в 1992—1993 гг. [4, 5].

К настоящему времени разработано принципиально новое, подтвержденное патентом [6] техническое решение преднапряженного пространственного блока многоцелевого назначения замкнуто-складчатой формы поперечного сечения из панелей ребристо-вафельной конструкции. На базе этого блока разработана новая конструктивная система «Уралец» быстро возводимых зданий и сооружений повышенной заводской готовности и комплектной поставки. На основе выполненных исследований и научных разработок в 1994 г. получен патент [7] на предварительно напряженный кузов крытого вагона.

Исследуем на аналитических моделях динамические характеристики и свойства предварительно напряженной конструкции двухъярусного пассажирского вагона (рисунок 1) с поперечными дискретными стяжками (напрягающими элементами), расположенными в трех уровнях: в покрытии (крыше) — на уровне верхних продольных обвязок; в верхнем перекрытии — на уровне средних обвязок, и в нижнем перекрытии — на уровне нижних продольных обвязок. Шаг преднапрягающих элементов вдоль кузова равен расстоянию между замкнутыми рамками — шпангоутами, обеспечивающими необходимую жесткость кузова в поперечной плоскости. Динамически эквивалентная расчетная модель двухъярусного преднапряженного кузова в вертикальной плоскости представлена в виде дискретной системы с точечными массами, сосредото-

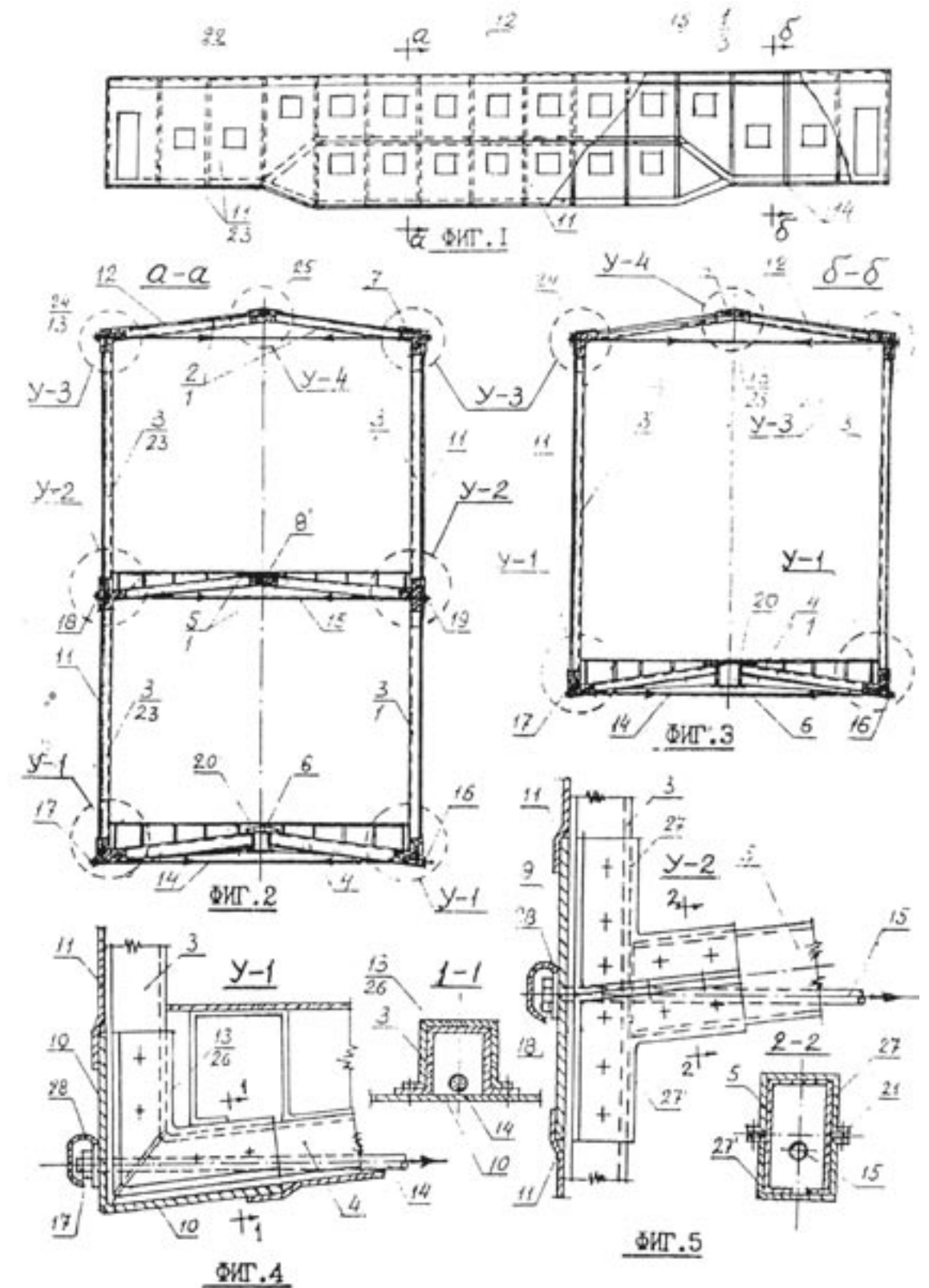


Рисунок 1 — Предварительно напряженный кузов крытого вагона

точными в узлах поперечных рамок — шпангоутов (рисунок 2).

На основе частотных характеристик нового вагона по основным измерителям колебаний рассчитываются статистические характеристики измерителей колебаний вагона и синтезируются основные параметры колебательной системы двухэтажного вагона методами современной статистической теории управления по критерию минимума случайных колебаний полов двухэтажного вагона. При этом введены следующие ограничения: по условиям комфортности пассажиров (укачивание), по крену вагона на кривых и на стрелках, по осадке и клевкам при разгоне (или рывках) и торможении вагона. Так, предложено сохранить условия эксплуатации существующих вагонов по мощности спектра случайных колебаний на низких частотах и по величине клевков и осадок, а также по безопасности движения. Перерегулирование при воздействии на вагон инерционных сил уменьшается из-за снижения резонансного пика амплитудной частотной характеристики вагона, что используется при выборе основных параметров в одном из вариантов подвески полов вагона.

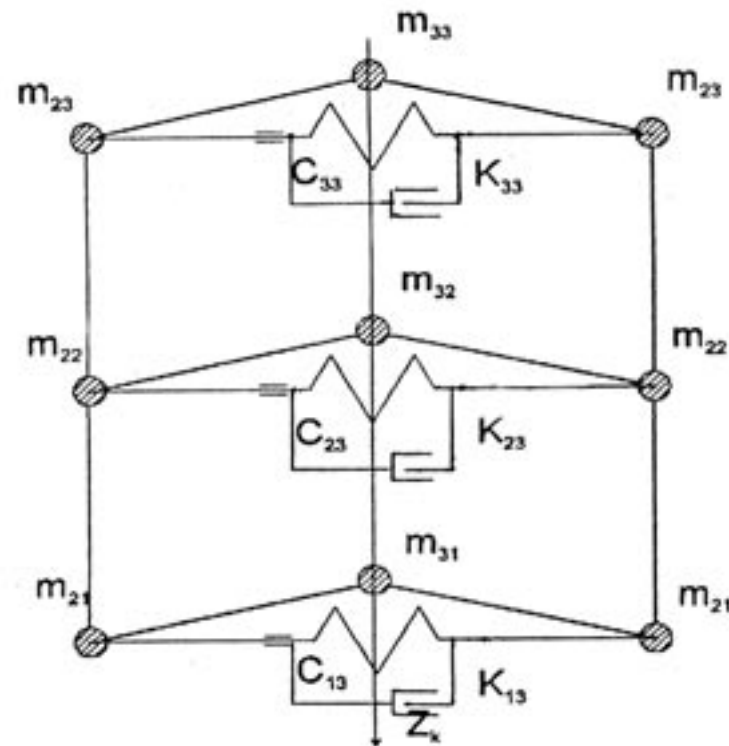


Рисунок 2 — Динамически эквивалентная расчетная модель перенапряженного кузова двухэтажного вагона в вертикальной плоскости:

m_{31}, m_{32}, m_{33} — приведенные массы, подрессоренные за счет предварительного напряжения стяжек, соответственно от нижнего и верхнего перекрытий полов и крыши кузова; m_{21}, m_{22}, m_{23} — приведенные неподрессоренные массы соответственно от перекрытий (полов), крыши и стен кузова вагона

Как известно, основная мощность спектра возмущений от пути сосредоточена около резонансной частоты существующих средств подвижного состава, поэтому увеличение парциальной частоты приводит к снижению мощности возмущений на пол нового вагона. Однако отмечен факт, что наличие дополнительного подрессорирования в механизме преднапряжения позволяет увеличить виброзащиту полов вагона путем целенаправленного выбора параметров преднапряжения (жесткости и демпфирующих свойств, а также сил сухого трения). Предлагается синтезировать основные параметры колебательной системы двухэтажного вагона по критерию минимума случайных колебаний полов двухэтажного вагона при ограничениях по условиям комфортности пассажиров и безопасности движения:

1. Укачивание. Обеспечивается задаваемой при синтезе «памятью» вагона как динамической системы. Математическое понятие «память» определяет время, в течение которого заканчиваются все процессы в системе после окончания действия возмущения. Кроме того, колебания системы в диапазоне частот, определяемых памятью, значительно снижаются за счет повышения собственной частоты жесткой части кузова вагона. Память задается таким образом, чтобы сохранился существующий коэффициент передачи для спектра полезных воздействий: вход и движение по кривой, разгон и торможение, изменение высоты полотна над уровнем моря. Уменьшением памяти управляемость вагона можно улучшать ценой меньшей фильтрации случайных возмущений.

2. Максимальный угол крена вагона на кривых и на стрелках, осадка и клевки при разгоне (или рывках) и торможении вагона обеспечиваются сохранением коэффициентов ошибок для полиномиального разложения длительно действующих воздействий при движении по кривой, при разгоне и торможении.

3. Заданная из условия безопасности движения вероятность выхода гребня на головку рельса обеспечивается интегральным ограничением колебаний колесной пары для каждой скорости движения соответствующим ограничением дисперсии перемещения колеса, обеспечивающим заданную вероятность опасного перемещения.

Подробно методика синтеза изложена в трудах профессора Н.П. Дергунова [8, 9].

Применение предложенного критерия в линейной зоне механизма преднапряжения гарантирует отсутствие резонанса всего вагона при сохранении указанных эксплуатационных свойств вагона и позволяет в процессе синтеза определять зону линейности, которая, как оказывается, равна указанной выше гарантированной зоне перемещений колеса с заданной надежностью. Таким образом реализуется антирезонансное свойство применительно к двухэтажному вагону.

При выбранной зоне для расчета статистических характеристик можно использовать частотные характеристики вагона. Практически необходимая точность может быть достигнута при одномассовой расчетной схеме для существующего вагона [10] и двухмассовой — для вагона с преднапряжением.

Минимизация случайных колебаний пола вагона в линейной зоне механизма преднапряжения гарантирует отсутствие резонанса всего вагона при сохранении указанных эксплуатационных и динамических свойств вагона и минимизирует зону линейности, которую предложено выбирать равной зоне гарантии с заданной надежностью.

Математическое описание двухъярусного вагона с преднапряжением на каждом этаже кузова получим на основе типовых схем для расчета колебаний симметричного вагона (рисунки 3 и 4).

Обозначения на рисунках:

$k_n(x), c_n(x)$ — параметрические возмущения от полотна железной дороги и рельсов в окрестности стыка, а также на любом другом участке пути, характеризующие неравномерность вязкостных и упругих свойств пути вдоль полотна железной дороги;

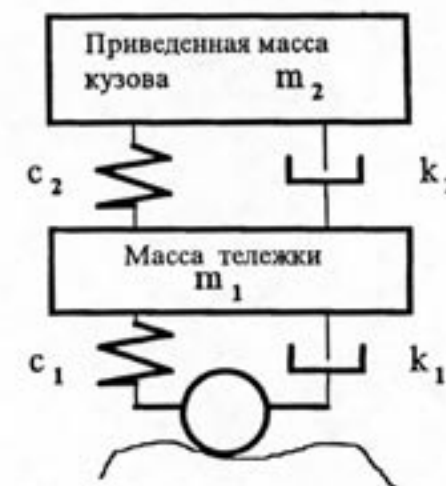


Рисунок 3 — Существующая схема виброзащиты пассажирского вагона. Кинематические возмущения

c_1, c_2, k_1, k_2 — соответственно жесткость и вязкость подвесок первой и второй ступеней подрессорирования.

Кинематическое возмущение возникает от неровностей рельсов и верхнего строения пути, от неровностей и сколов на колесах. Для исследования обычно принимают типичную форму кинематического возмущения — синусоидальную. Рассматривается также стандартное возмущение — ступенчатое. Таким образом, при уточнении параметров подвески нового вагона следует рассматривать этот практический спектр детерминированных возмущений, принятый при исследовании динамических характеристик вагонов. Однако главным критерием при оценке динамических характеристик вагона является дисперсия случайных колебаний пола кузова вагона.

На рисунке 5 изображены предлагаемые расчетные схемы двухъярусного пассажирского вагона. Здесь m_{21}, m_{22}, m_{23} — соответственно массы полов первого и второго этажей, а также масса крыши вагона; m_{31}, m_{32}, m_{33} — массы на этажах и крыше вагона, подрессоренные за счет предварительного напряжения. Элементы подрессорирования включают устройства, обеспечивающие упругость, вязкость и трение, которые необходимо определить в процессе исследования и проектирования. На данном этапе исследования трение не учитывается, т. к. это не изменяет основных рассуждений. Трение следует учесть на этапе уточнения динамических и конструктивных характеристик вагона. Распределение масс кузова на первом этапе

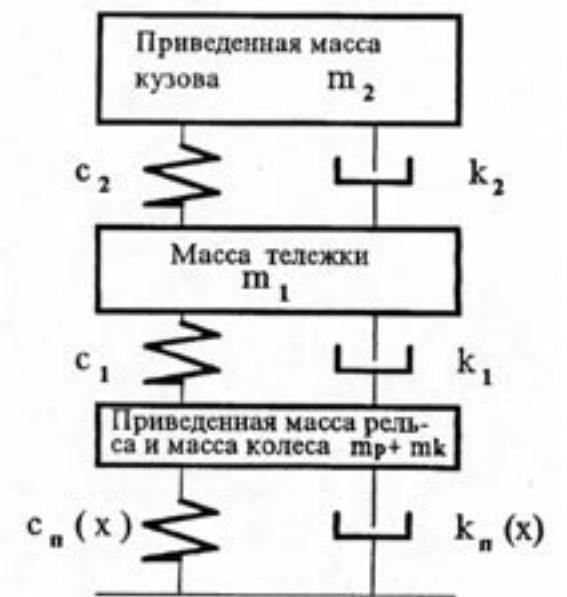


Рисунок 4 — Существующая схема виброзащиты пассажирского вагона. Параметрические возмущения

проектирования не варьируется и принято связанным следующими соотношениями:

$$m_{21} + m_{22} + m_{23} = m_{31} + m_{32} + m_{33} = 1/2 m_2;$$
$$m_{21} = m_{22} = m_{23}; m_{31} = m_{32} = m_{33}.$$

Расчет случайных колебаний вагона произведен с помощью частотных характеристик вагона и случайных возмущений от пути, имеющих определенную спектральную плотность мощности. Используем предлагаемый для таких целей авторами монографии [10] путь со случайной неровностью, представленной на рисунке 6 графиком спектральной плотности возмущения $S_n(\omega)$, соответствующей движению вагона со скоростью 25 м/с по стыковому пути с рельсовыми звеньями длиной 12,5 м.

В процессе синтеза параметров поддрессоривания выделенных элементов кузова вагона определяются конкретные характеристики жесткости и вязкости в подвеске полов вагона. Зона по прогибу механизма поддрессоривания принята равной уровню, который превышает прогиб механизма поддрессоривания полов вагона при случайных возмущениях от пути при выбранном режиме движения вагона с вероятностью не более 0,003. В этом случае практически гарантируется отсутствие режима колебаний, свойственного существующим вагонам. Этот режим колебаний заключается в том, что из-за большой колебательности кузова (пик амплитудной характеристики существующих вагонов равен 2,0) происходит накопление возмущений на

резонансной частоте вагона при движении по пути со случайными неровностями.

В соответствии с указанными выше соотношениями масса кузова, опирающаяся на подвеску вагона второго яруса (рессорный комплект между кузовом и тележкой), уменьшается в два раза, однако общая масса вагона сохраняется прежней. Поэтому парциальная частота этой части вагона увеличивается. С повышением частоты относительно резонансной частоты вагона снижается мощность спектральной плотности возмущений от пути, которая формируется от движения по нему подвижного состава железных дорог. Основные средства подвижного состава имеют собственную круговую частоту первого тона в диапазоне от 8 до 151 сек. Частотная характеристика существующего вагона $A(\omega)$ определяется из уравнения

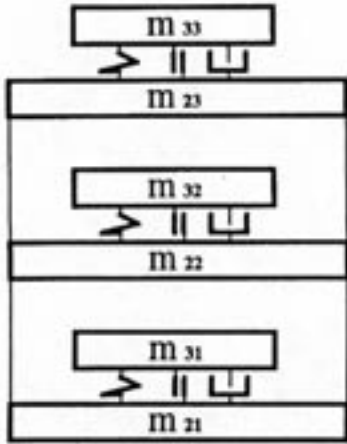
$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 \dot{x}_2 + c_2 x_2 = k_2 \dot{q} + c_2 q$$

и имеет вид, изображенный на рисунке 6. Там же приведена частотная характеристика от пути для пола $A^*(\omega)$ одного из этажей вагона с преднапряженной конструкцией, которая соответствует системе уравнений:

$$\begin{cases} m_3 \ddot{x}_3 + k_3 \dot{x}_3 + c_3 x_3 - (k_3 \dot{x}_2 + c_3 x_2) = 0; \\ -(k_3 x_3 + c_3 \dot{x}_3) + [m_2 \ddot{x}_2 + (k_2 + k_3) \dot{x}_2 + (c_2 + c_3) \dot{x}_2] = k_2 \dot{q} + c_2 q, \end{cases}$$

где c_3 — жесткость преднапряжения;

В поперечной плоскости



В продольной плоскости

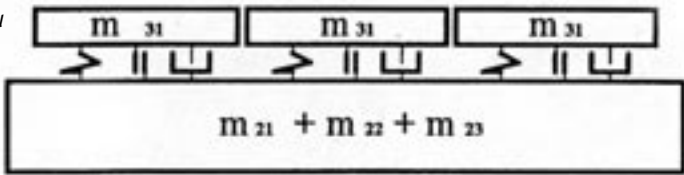


Рисунок 3 — Расчетные схемы двухъярусного пассажирского вагона

k_3 — коэффициент скоростного демпфирования механизма преднапряжения.

При выборе параметров поддрессоривания пола кузова каждого этажа вагона выполнялось условие сохранения полосы пропускания вагона, т.е. динамические характеристики вагона при маневрах (крен вагона на кривых, осадка при разгоне, клевки при торможении) не ухудшились. В связи с исключением резонансного пика вагона качество процессов при маневрах улучшается. Моделирование этих процессов в данной работе не приводится.

Расчет конструктивных параметров механизма преднапряжения определяется изложенной выше методикой синтеза частотной характеристики нового вагона.

Для существующего пассажирского вагона рессорный комплект второй ступени (между кузовом и тележкой) имеет характеристики $C_{2\text{сущ}} = 400 \text{ т/м}$; $m_{2\text{сущ}} = 8,0 \text{ тс}^2/\text{м}$.

Далее расчет проводится на основе одномассовой модели. Внешние возмущения для нее, а также динамические и статические требования к ней определяются принятой методикой синтеза.

Одномассовой модели, имеющей массу всего пола m_n , жесткость механизма преднапряжения C_n и коэффициент скоростного демпфирования k_n , соответствует частотная характеристика от перемещения жесткой части кузова $x_{ж}$ до перемещения поддрессоренного пола x_n :

$$\frac{x_{n(p)}}{x_{ж(p)}} = \frac{1}{C_n (T_n^2 p^2 + 2\xi T_n p + 1)},$$

где $T_n = (m_n / C_n)^{1,2}$; $\xi = k_n / 2C_n T_n$.
В соответствии с рисунком 5 и принятыми соотношениями $m_n = m_{2\text{сущ}}/6$, необходимо определить C_n и k_n .

Условия синтеза:

1. $\xi = 0,6$ (резонансный пик не превышает 40%).
2. Крен пола относительно жесткой части кузова при маневрах не должен превышать величину перерегулирования существующего вагона после начала входа в кривую. Перерегулирование — это тот резерв, который можно использовать. Перерегулирование существующего вагона при ступенчатом воздействии бокового ускорения составляет обычно 100%, поэтому

$$m_{2\text{сущ}}/C_{2\text{сущ}} = m_n/C_n.$$

Для $m_n = m_{2\text{сущ}}/6$ получим:

$$C_n = C_{2\text{сущ}}/6; T_n = T_{2\text{сущ}} = 0,141 \text{ с},$$

$$K_n = 2C_n T_n = 8—13 \text{ тс/м}.$$

Как видно из рисунка 6, новый вагон в окрестности резонансной частоты существующего вагона и пика мощности спектра возмущений имеет значительное снижение амплитудной характеристики. В результате дисперсия колебаний полов обоих этажей вагона ($\sigma^2 = 18,7 \text{ мм}^2$, $\sigma = 4,3 \text{ мм}$) снижена по отношению к дисперсии колебаний пола существующего вагона ($\sigma^2 = 58 \text{ мм}^2$, $\sigma = 7,6 \text{ мм}$) в 3,1 раза.

Прогиб подвески полов кузова нового вагона с вероятностью 99,7% не превысит 20 мм.

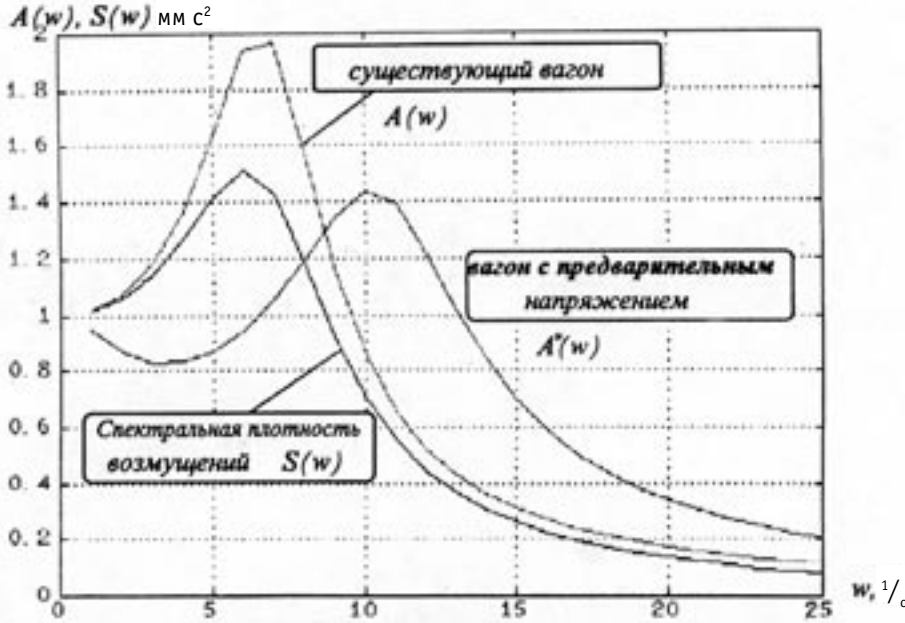


Рисунок 6 — Спектральная плотность возмущений и АЧХ существующего и двухэтажного вагонов

Прогиб рассчитан в соответствии с частотной характеристикой, изображенной на рисунке 6 и имеющей квадрат модуля

$$A^2(\omega) = D/B,$$

где $D = \omega^4 m_3^2 (C_2^2 + k^2 \omega^3)$;

$$B = \{C_2 C_3 - [m_3 (C_2 + C_3) + k_2 k_3 + C_3 m_3] \omega^2 + m_3 m_2 \omega^4\} + \\ + \{ (k_3 c_2 + c_3 k_2) \omega - [m_3 (k_2 + k_3) + k_3 m_2] \omega^3 \}^2.$$

Здесь для сокращения записи принято $m_3 = m_{31}$. Таким образом была получена зона линейности преднапряжения.

Следует отметить, что числовые характеристики случайных колебаний получены для одного вида спектральной плотности. Уточненный расчет необходимо проводить для конкретных средств, режимов движения и участков пути, особенно если предусматривается скоростное движение поездов. При этом каждый раз необходимо уточнять моделированием системы динамические процессы с учетом трения в механизме преднапряжения, а также на основе спектральных экспертиз процессов по другим критериям качества вагона, которые в последующем можно включить либо в общий критерий, либо провести с этими критериями многокритериальную оптимизацию.

Расчетная схема кузова двухэтажного вагона, изображенная на рисунке 5 (вид сбоку вагона), разработана по следующим правилам: модель вагона в поперечной плоскости аналогична модели в

продольной плоскости и представляет собой «велосипед», т.е. полы двухэтажного вагона относительно жесткого корпуса имеют степень свободы в поперечной плоскости (по крену) и в продольной плоскости. Именно поэтому для сохранения динамических углов крена на кривых и углов пикирования (клевков) при рывках вагона был использован запас точности, возникающий из-за уменьшения перерегулирования кузова при ступенчатом воздействии.

Преимущества нового технического решения предварительно напряженного двухъярусного кузова пассажирского или грузового вагона:

- повышается надежность, долговечность и комфортабельность вагонов в эксплуатации (особенно на скоростных магистралях);

- снижается трудоемкость изготовления и ремонта вагонов;

- появляется возможность использовать для вагонов низкомодульные конструкционные материалы: пластмассы, композиты, легкие сплавы и пористые наполнители;

- дисперсия колебаний полов обеих этажей вагона ($\sigma^2 = 18,7 \text{ мм}^2$, $\sigma = 4,3 \text{ мм}$) снижается по отношению к дисперсии колебаний пола существующего вагона ($\sigma^2 = 58 \text{ мм}^2$, $\sigma = 7,6 \text{ мм}$) в 3,1 раза;

- по предварительным оценкам новое техническое решение кузова позволит снизить материалоемкость и массоемкость вагона на 30—60%, трудоемкость изготовления — в 1,4—2 раза по сравнению с базовым решением.

Литература

1. Пановко Я.Г., Гольцев Д.И., Страхов Г.А. О силах трения при малых смещениях // Журнал прикладной механики и технической физики. — 1961. — №2.

2. Сперанский Б.А. Решетчатые металлические предварительно напряженные конструкции. — М.: СИ, 1970. — 326 с.

3. Пуховский А.Б. Предварительно напряженные металлические сейсмостойкие конструкции: Обзор. — М.: ВНИИС, 1983. — 72 с.

4. Пасынков Б.П.. Пространственный блок сооружения многоцелевого назначения с антирезонансными свойствами: Тезисы докладов // Международный симпозиум «Шум и вибрация на транспорте». — СПб., 1992. — С. 163—164.

5. Пасынков Б.П. Новая конструкция кузова крытого вагона с антирезонансными свойствами: Тезисы докладов // Международная конференция по борьбе с шумом и вибрацией. -СПб., 1993.

6. Пасынков Б.П. Пространственный блок сооружения: Патент 9640828 Р.Ф. / Действует с 8 октября 1993 г.

7. Пасынков Б.П. Кузов крытого вагона. Патент 1654071 Р.Ф. / Действует с 8 октября 1993 г.

8. Дергунов Н.П., Силуков Ю.Д. Расчет подвески машин на основе ее представления в виде системы автоматического управления с заданными динамическими и статическими свойствами и случайным сигналом на входе // Автомобильная промышленность. — 1981. — №9. — С.15—21.

9. Дергунов Н.П., Силуков Ю.Д. Оптимальная подвеска машин с заданными динамическими свойствами // Изв. вузов. Машиностроение. — 1981. — № 4.

10. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагонов. — М., 1991. — 143 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА ОХВАТА ЗВЕЗДОЧКИ ГУСЕНИЦЕЙ ТРАКТОРА

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

За последнее время в дорожном и промышленном строительстве начали применяться тракторы с треугольным обводом гусеницы. Такие, как, например, «Катерпиллер», «Камацу». Подобная модель трактора создана и в России. Это трактор «НАТИ—95». Применение тракторов с таким гусеничным движителем имеет ряд существенных преимуществ. Так как их ведущий мост поднят довольно высоко над дорогой и подвесен, то благодаря этому его детали, и в первую очередь подшипники и шестерни, не испытывают сильных динамических нагрузок, как у обычного трактора. В результате этого долговечность моста значительно увеличивается. Снижается износ ведущей звездочки, так как она находится высоко и на нее попадает меньше грязи. Передние и задние направляющие колеса становятся опорными, что увеличивает площадь контакта с почвой, снижает удельное давление на грунт и повышает проходимость трактора.

Однако у таких движителей имеются и значительные недостатки. К ним относится прежде всего сложность обеспечения достаточного угла охвата ведущей звездочки гусеницей. Для этого мост трактора приходится поднимать довольно высоко и увеличивать силу натяжения гусеницы. А это приводит к увеличению ее износа. Кроме того, повышается центр тяжести машины и ухудшается ее устойчивость на косогорах. Для снижения центра тяжести и облегчения компоновки в УГЛТУ в 2002 году была предложена конструкция гусеничного движителя [1]. Его ведущая звездочка находится примерно посередине под гусеницей, на одном уровне с передним и задним направляющими колесами, а для обеспечения необходимого угла охвата ведущей звездочки гусеницей сверху устанавливается вторая звездочка. Для нормальной работы гусеничного движителя предложена и специальная гусеница [2], у которой снаружи в середине башмаков имеется паз в грунтозацепах для обкатывания верхней нажимной звездочки. Снизить положение ведущего моста, сохранив при этом необходимый угол охвата ведущей звездочки гусеницей, можно при помощи специального устройства, предложенного в УГЛТУ, схема которого представлена на рисунке 1 [3].

Устройство содержит нажимные катки 1 и 3 или звездочки, рычаги 5 и 9, траверсу 6, установленную свободно на рукаве 7 полуоси звездочки 2. Устройство работает следующим образом. При неподвижно стоящем тракторе натяжение ветвей гусеницы 4 спра-

ва и слева от ведущей звездочки одинаково. Траверса 6 с рычагами 5 и 9 занимает нейтральное положение, обеспечивая увеличенный угол охвата звездочки 2 гусеницей 4.

При движении трактора вперед (см. рисунок 1а) сильно натягивается правая ветвь гусеницы, поворачивает траверсу 6, поднимая нажимной каток 3 вверх. При этом левый каток 1 опускается вниз. Угол охвата звездочки не уменьшается. При движении трактора назад сильно натягивается левая ветвь гусеницы (рисунок 1б). Траверса 6 поворачивается в другую сторону, каток 3 нажимает на гусеницу, и угол охвата снова не изменяется. Так как устройство обеспечивает увеличенный угол охвата звездочки гусеницей, то можно снизить центр тяжести моста, уменьшить натяжение гусеницы и ее износ.

При рассмотрении работы предложенного устройства и сил, действующих в нем, в статье приняты следующие допущения: рассматриваются только силы, влияющие конкретно на работу данного механизма — натяжение гусеницы, усилия, прижимающие катки к гусенице, и силы, действующие на траверсу.

Силы инерции, трения в шарнирах гусеницы и трение гусеницы о звездочку не рассчитываются, так как с применением данного устройства они почти не изменяются; кроме того, их расчет хорошо освещен в специальной литературе [4]. На наш взгляд, принятые допущения незначительно скажутся на точности расчетов, тем более что тракторы — машины тихоходные.

При движении трактора вперед (рисунок 2б) задняя ветвь гусеницы под действием момента на звездочке стремится вытянуться в прямую линию. Но этому препятствует натяжение гусеницы T_1 , которое через траверсу и каток 3 (рисунок 1а) прогибает гусеницу на угол $\frac{\varphi}{2}$ и создает равнодействующую силу R_2 (см. рисунок 2), а та — силу P_{φ} , которая стремится повернуть траверсу 6 (рисунок 1) и два рычага 5 и 9 против часовой стрелки. Предварительное натяжение пружины амортизатора натяжного устройства гусеницы определяется из формулы

$$P_H = 2T_1 = \varphi G = G \sin \alpha,$$

где T_1 — натяжение гусеницы;
 φ — коэффициент сцепления гусеницы с почвой;
 G — масса трактора;

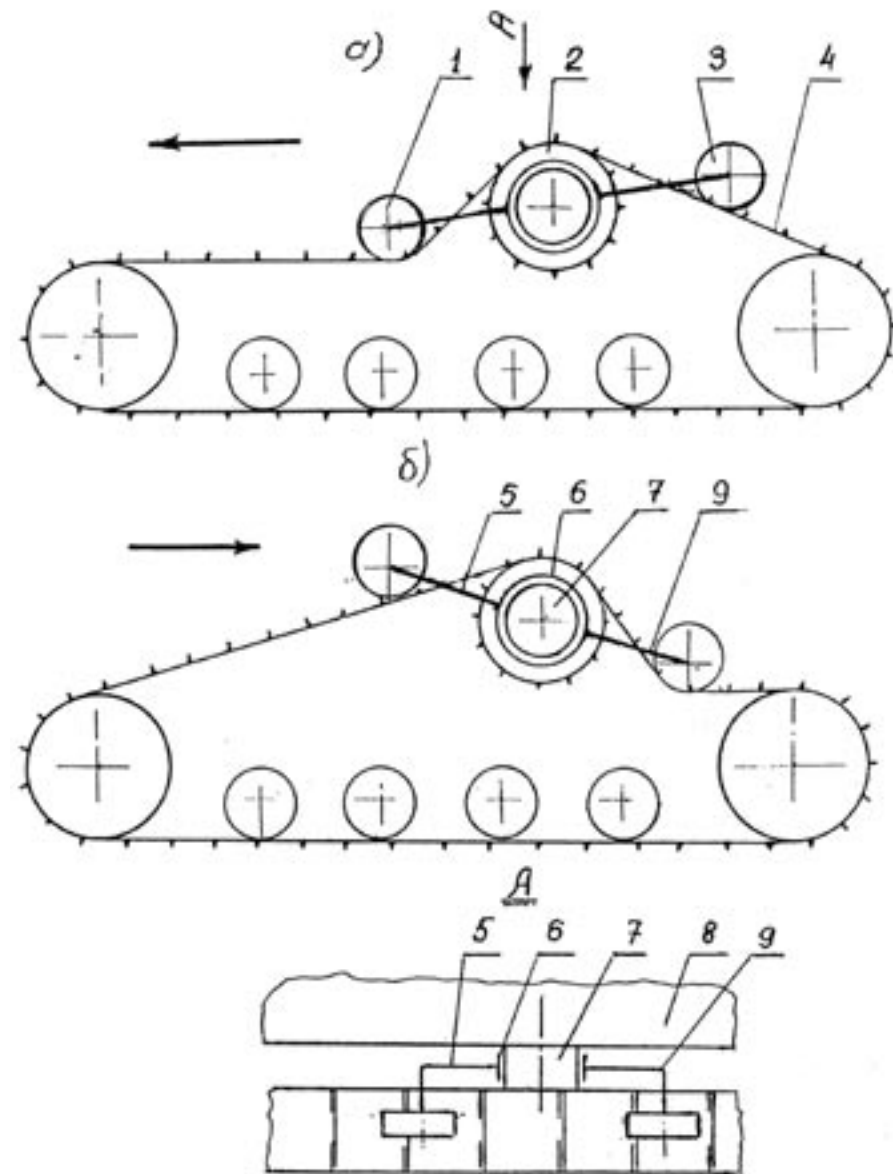


Рисунок 1 — Схема устройства для увеличения угла охвата звездочки гусеницей трактора

α — угол наклона, на котором должен стоять заторможенный трактор, $\alpha \geq 350$.

Тогда натяжение одной гусеницы $T_1 = P_H/2$,

сила $R_1 = 2T_1 \sin \frac{\alpha_1}{2}$,

сила R_1 создает силу R_3 :

$R_3 = R_1 \cos \gamma_1$;

сила R_2 определится как

$R_2 = 2T_2 \sin \frac{\varphi_1}{2}$,

где T_2 — натяжение задней ветви гусеницы;

$\frac{\varphi_1}{2}$ — угол, на который прогибается гусеница.

Тогда $P_2 = R_2 \cos \psi_1$, она создает момент $M_2 = P_2 l_2$; от действия этого момента создается сила P_1 , и при равенстве плеч $l_1 = l_2 P_1 = P_2$. Так как $P_1 > R_3$, то возникает результирующая сила K_1 . $K_1 = P_1 - R_3$, которая и прижимает каток к гусенице, обеспечивая необходимый угол охвата звездочки.

При движении трактора задним ходом (см. рисунок 2в) увеличивается натяжение левой ветви гусеницы T_3 и ослабляется натяжение правой ветви. Сила R_4 возрастает: $R_4 = 2T_3 \sin \frac{\varphi_1}{2}$, она создает силу $P_3 = R_4 \cos \gamma_2$

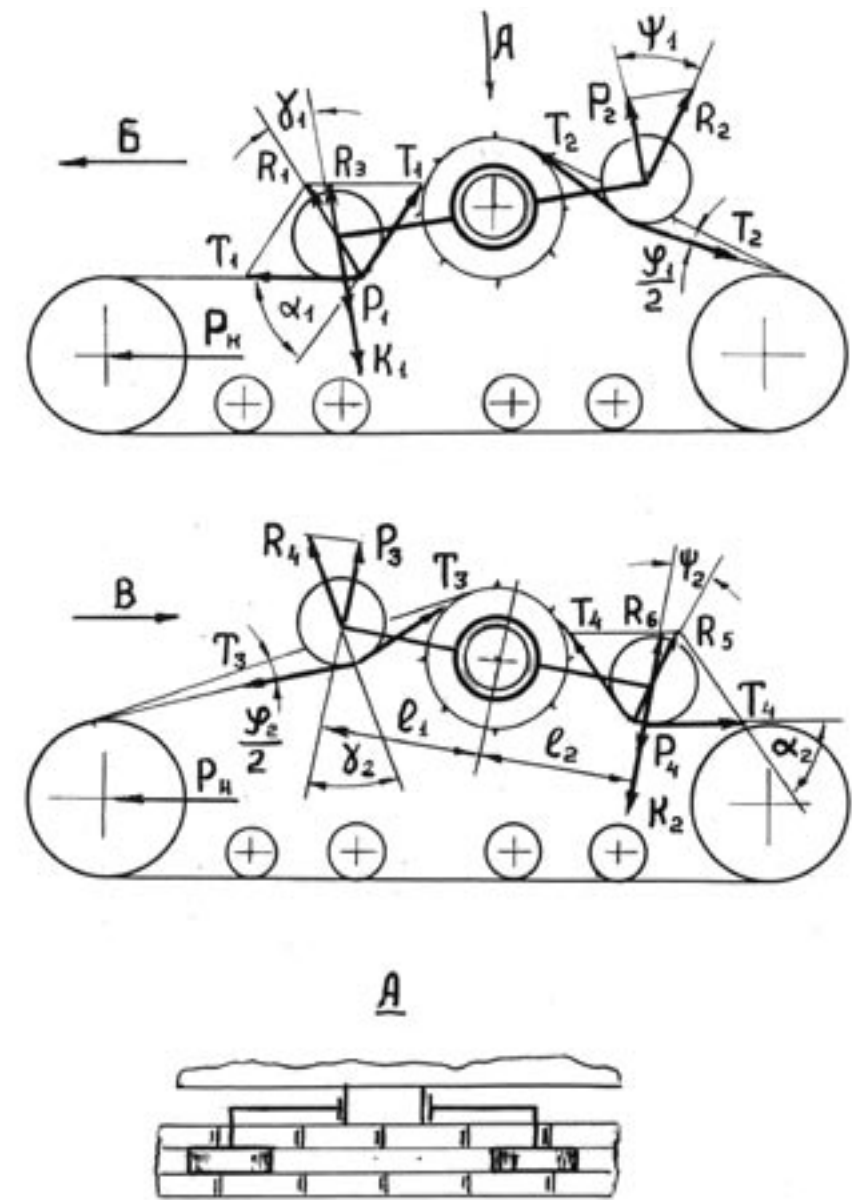


Рисунок 2 — Схема сил, действующих в устройстве

и момент $M_1 = P_3 l_1$, который, в свою очередь, создает силу P_4 .

В правой части гусеницы создается сила R_5

$R_5 = 2T_4 \sin \frac{\alpha_1}{2}$; $R_6 = R_5 \cos \psi_2$.

Но так как $P_4 > R_6$, то создается результирующая сила K_2 .

$K_2 = P_4 - R_6$, которая и прижимает правый каток к гусенице, обеспечивая неизменным угол охвата звездочки.

Выводы:

1. Предложенное устройство обеспечивает постоянный угол охвата звездочки гусеницей независимо от направления движения трактора.

2. Поворот траверсы происходит за счет разности величины сил, действующих на катки от передней и задней ветви гусеницы.

3. Устройство обеспечивает увеличенный угол охвата ведущей звездочки гусеницей по сравнению с обычным треугольным обводом гусеницы примерно на 10° - 20° .



Литература

1. А.с. 21573 РФ. Гусеничный движитель / Ю.Д. Силуков, А.М. Боровских, С.И. Булдаков; Заявл. 13.08.2001; опубл. 27.01.2002.
2. А.с. 26783 РФ. Гусеничная цепь / А.М. Боровских, А.П. Панычев; Заявл. 29.04.2002; опубл. 20.12.2002.
3. Пат. 33924 РФ. Устройство для увеличения угла охвата звездочки гусеницей. / А.М. Боровских; Заявл. 03.06.2003; опубл. 20.11.2003.
4. Анилович В.Я., Водолаженко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. — М.: Машиностроение, 1976. — 456 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО БЕЗОПАСНОГО
РАССТОЯНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ
НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ



Николай Николаевич Черемных, зав. кафедрой начертательной геометрии и машиностроительного черчения, д.т.н., профессор, УГЛУ



Борис Николаевич Карев, ст. преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», УГЛУ



Борис Андреевич Сидоров, зав. каф. «Автомобильный транспорт», к.т.н., доцент, УГЛУ

Рассматривается вопрос определения минимально безопасного расстояния для автомобилей, не оснащенных АВС, когда впереди движущийся автомобиль экстренно тормозит (юзом), а автомобиль, следующий сзади, догоняет его, двигаясь с максимальным ускорением. Такая ситуация достаточно часто складывается на регулируемых перекрестках, когда автомобили трогаются при включении зеленого света светофора.

1. МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

За начальный момент времени $t_0 = 0$ принимаем момент обнаружения водителем автомобиля A_1 момента начала торможения автомобиля A_2 . Считаем, что автомобиль A_1 двигался до начального момента времени с постоянным максимальным ускорением W_1 . В начальный момент времени $t_0 = 0$ скорости автомобилей были связаны неравенством

$$V_1^0 > V_2^0 > 0. \tag{1.1}$$

С момента времени $t_0 = 0$ водитель автомобиля A_2 начинает торможение с постоянным замедлением j_2 с целью снижения скорости своего автомобиля с величины V_2^0 до величины V_2^1 , т. е.

$$V_2^0 \geq V_2^1 > 0. \tag{1.2}$$

Водитель автомобиля A_1 , находящегося в начальный момент времени $t_0 = 0$ на расстоянии S_0 от автомобиля A_2 , с целью избежать столкновения с автомобилем A_2 начинает торможение с постоянным максимальным замедлением j_1 с запаздыванием по времени на величину T , определенную равенством

$$T = t_p + t_2 + t_3, \tag{1.3}$$

где: t_p — время реакции водителя автомобиля A_1 ;
 t_2 — время запаздывания тормозного привода;
 t_3 — время нарастания замедления.

В качестве модели движения автомобиля A_1 будем рассматривать решение системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{V}_2(t) = a_2(t); \\ \dot{S}_2(t) = V_2(t) \end{cases} \tag{1.4}$$

(в системе (1.4) \dot{V}_2 и \dot{S}_2 означают производные по времени) с начальными условиями:

$$\begin{cases} V_2(0) = V_2^0; \\ S_2(0) = 0. \end{cases} \quad (1.5)$$

Закон изменения ускорения $a_1(t)$ автомобиля A_1 может быть записан в виде

$$a_2(t) = \begin{cases} W_2, & 0 \leq t \leq t_p; \\ -\alpha t + \beta, & t_p < t \leq T; \\ -j_2, & T < t \leq t_{ocm}^{(1)}. \end{cases} \quad (1.6)$$

где

$$\alpha = \frac{W_2 + j_2}{T - t_p}; \quad \beta = \frac{T W_2 + t_p j_2}{T - t_p}. \quad (1.7)$$

Решение системы (1.4) с начальными условиями (1.5) с учетом равенств (1.6), (1.7) имеет вид:

$$V_2(t) = \begin{cases} V_2^0 + W_2 t, & 0 \leq t \leq t_p; \\ V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 + \beta t - \frac{\alpha}{2} t^2, & t_p < t \leq T; \\ V_2^0 + \frac{\alpha}{2} [T^2 - t_p^2] - j_2 t, & T < t \leq t_{ocm}^{(2)}; \end{cases} \quad (1.8)$$

$$S_2(t) = \begin{cases} V_2^0 t + \frac{W_2}{2} t^2, & 0 \leq t \leq t_p; \\ \frac{\alpha}{6} t_p^3 + \left[V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t + \frac{\beta}{2} t^2 - \frac{\alpha}{6} t^3, & t_p < t \leq T; \\ -\frac{\alpha}{6} (T^3 - t_p^3) + \left[V_2^0 + \frac{\alpha}{2} (T^2 - t_p^2) \right] t - \frac{j_2}{2} t^2, & T < t \leq t_{ocm}^{(2)}. \end{cases} \quad (1.9)$$

Из равенств (1.6), (1.8), (1.9) видно, что скорость автомобиля A_1 достигает своего максимального значения при

$$t = \frac{\beta}{\alpha} \in (t_p, T)$$

и равна

$$\max_{t \in [t_p, T]} V_1(t) = V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 + \frac{\beta^2}{2\alpha} = V_2^0 + \frac{W_2}{2} \left(\frac{\beta}{\alpha} + t_p \right) > 0. \quad (1.10)$$

Время движения автомобиля A_1 до полной остановки $t_{ocm}^{(2)}$ определяется из условия

$$V_1(t) = 0. \quad (1.11)$$

Из равенств (1.8) следует, что моменты времени, при которых выполняется равенство (1.11), могут быть найдены из уравнений:

$$t^2 - \frac{2\beta}{\alpha} t - \left(\frac{2V_1^0}{\alpha} - t_p \right) = 0; \quad (1.12)$$

$$V_2^0 + \frac{\alpha}{2} [T^2 - t_p^2] - j_2 t = 0. \quad (1.13)$$

Рассмотрим уравнение (1.12). В силу неравенства (1.10) уравнение имеет два действительных корня, которые имеют вид

$$t_{1,2} = \frac{\beta}{\alpha} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{\alpha^2} + \left(\frac{2V_1^0}{\alpha} - t_p^2 \right)}.$$

Отбросив посторонний корень, получим, что корнем уравнения (1.12) на полуинтервале $(t_p, T]$ может быть корень

$$t_{locm}^{(2)} = \frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\frac{\beta^2}{\alpha^2} + \left(\frac{2V_1^0}{\alpha} - t_p^2 \right)}. \quad (1.14)$$

Если выполняется неравенство

$$\frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\frac{\beta^2}{\alpha^2} + \left(\frac{2V_1^0}{\alpha} - t_p^2 \right)} \leq T, \quad (1.15)$$

то автомобиль A_1 может остановиться на промежутке времени $(t_p, T]$ при $t = t_{ocm}^{(2)}$ определенном формулой (1.14).

Если неравенство (1.14) не выполняется, т. е. выполняется неравенство

$$\frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\frac{\beta^2}{\alpha^2} + \left(\frac{2V_2^0}{\alpha} - t_p^2 \right)} > T, \quad (1.16)$$

автомобиль A_1 может остановиться только при $t_{ocm}^{(2)}$, которое является решением уравнения (1.13) и определяется равенством

$$t_{2ocm}^{(2)} = \frac{1}{j_2} \left[V_2^0 + \frac{\alpha}{2} (T^2 - t_p^2) \right]. \quad (1.17)$$

В качестве модели движения автомобиля A_2 будем рассматривать равенства:

$$V_1(t) = \begin{cases} V_1^0 - j_1 t, & 0 \leq t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ V_1^1, & t > t_{ch}^{(1)}; \end{cases} \quad (1.18)$$

$$S_1(t) - S^0 = \begin{cases} V_1^0 t - \frac{j_1}{2} t^2, & 0 \leq t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ V_1^1 t + \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}, & t > t_{ch}^{(1)}. \end{cases} \quad (1.19)$$

где j_2 замедление автомобиля A_2 , выбранное водителем автомобиля для снижения скорости от величины V_2^0 до величины V_2^1 ;

$t_{ch}^{(2)}$ — время, за которое скорость автомобиля A_2 снизится от величины V_2^0 до величины V_2^1 .

В выражениях (1.18), (1.19) величина $t_{ch}^{(2)}$ находится из условия $V_2(t) = V_2^1 = 0$ и определяется равенством

$$t_{ch}^{(1)} = \frac{V_1^0 - V_1^1}{j_1} > 0. \quad (1.20)$$

2. НАХОЖДЕНИЕ МИНИМАЛЬНО БЕЗОПАСНОГО РАССТОЯНИЯ В СЛУЧАЕ, КОГДА ВЫПОЛНЯЕТСЯ НЕРАВЕНСТВО (1.15)

Для нахождения минимально безопасного расстояния в некоторых частных случаях будем пользоваться методикой, предложенной в [1].

Введем обозначения, которые потребуются в дальнейшем:

$$\begin{aligned} \Delta V(t) &= V_1(t) - V_2(t), \\ \Delta S(t) &= S_1(t) - S_2(t), \\ s(t) &= \Delta S(t) - S^0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

В рассматриваемом случае время остановки автомобиля A_1 определяется равенством (1.13).

А) Пусть выполняются неравенства

$$0 < t_{ch}^{(1)} \leq t_p < t_{locm}^{(2)} \leq T. \quad (2.2)$$

В этом случае функции $\Delta V(t)$ и $\Delta S(t)$ будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta V(t) &= \\ &= \begin{cases} -(V_2^0 - V_1^0) - (j_1 + W_2)t, & 0 \leq t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ -(V_2^0 - V_1^1) - W_2 t, & t_{ch}^{(1)} < t \leq t_p; \\ -\left(V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right) - \beta t + \frac{\alpha}{2} t^2, & t_p < t \leq t_{locm}^{(2)}; \end{cases} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} s(t) &= \\ &= \begin{cases} -\left[V_2^0 - V_1^0 \right] t - \frac{j_1 + W_2}{2} t^2, & 0 \leq t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_2} - \left[V_2^0 - V_1^1 \right] t - \frac{W_2}{2} t^2, & t_{ch}^{(1)} < t \leq t_p; \\ \left[\frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1} - \frac{\alpha}{6} t_p^3 \right] - \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t - \frac{\beta}{2} t^2 + \frac{\alpha}{6} t^3, & t_p < t \leq t_{locm}^{(2)}. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Из равенств (2.3) видно, что на промежутке времени $[0, t_p]$ функция $s(t)$ строго монотонно убывает, безопасных моментов касания нет.

Рассмотрим промежуток времени $(t_p, t_{locm}^{(1)})$. Точками, подозрительными на безопасные моменты касания, будут точки

$$t_{1,2} = \frac{\beta}{\alpha} \pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_1^0 - V_2^1 - \frac{\alpha}{2} t^2 \right]}. \quad (2.5)$$

Отбрасывая посторонний корень, получим точку, подозрительную на безопасный момент касания,

$$t_{\delta\kappa} = \frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_1^0 - V_2^1 - \frac{\alpha}{2} t^2 \right]}. \quad (2.6)$$

Очевидно, что $t_{\kappa} < t_{locm}^{(2)}$, следовательно, точка t_{κ} есть безопасный момент касания (графики изменения функций $\Delta a(t)$, $s(t)$ и $\Delta V(t)$ изображены на рисунке 2.1).

Минимально безопасное расстояние S_{min}^0 в этом случае будет определяться равенством

$$\begin{aligned} S_{min}^0 &= \frac{\beta}{2} t_{\delta\kappa}^2 + \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{\delta\kappa} + \frac{\alpha}{6} (t_p^3 - t_{\delta\kappa}^3) - \\ &\quad - \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

В) Пусть выполняются неравенства

$$0 < t_p < t_{ch}^{(1)} \leq t_{locm}^{(2)} \leq T. \quad (2.8)$$

В этом случае функции $\Delta V(t)$ и $\Delta S(t)$ будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta V(t) &= \\ &= \begin{cases} -(V_2^0 - V_1^0) - (j_1 + W_2)t, & 0 \leq t \leq t_p; \\ -\left(V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right) - (\beta + j_1)t + \frac{\alpha}{2} t^2, & t_p < t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ -\left(V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right) - \beta t + \frac{\alpha}{2} t^2, & t_{ch}^{(1)} < t \leq t_{locm}^{(2)}; \end{cases} \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} s(t) &= \\ &= \begin{cases} -(V_2^0 - V_1^0)t - \frac{(j_1 + W_2)}{2} t^2, & 0 \leq t \leq t_p; \\ -\frac{\alpha}{6} t_p^3 - \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t - \frac{(j_1 + \beta)}{2} t^2 + \frac{\alpha}{6} t^3, & t_p < t \leq t_{ch}^{(1)}; \\ \left[\frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1} - \frac{\alpha}{6} t_p^3 \right] - \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t - \frac{\beta}{2} t^2 + \frac{\alpha}{6} t^3, & t_{ch}^{(1)} < t \leq t_{locm}^{(2)}. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.10)$$

На отрезке времени $[0, t_p]$ функция $s(t)$ строго монотонно убывает, точек касания нет.

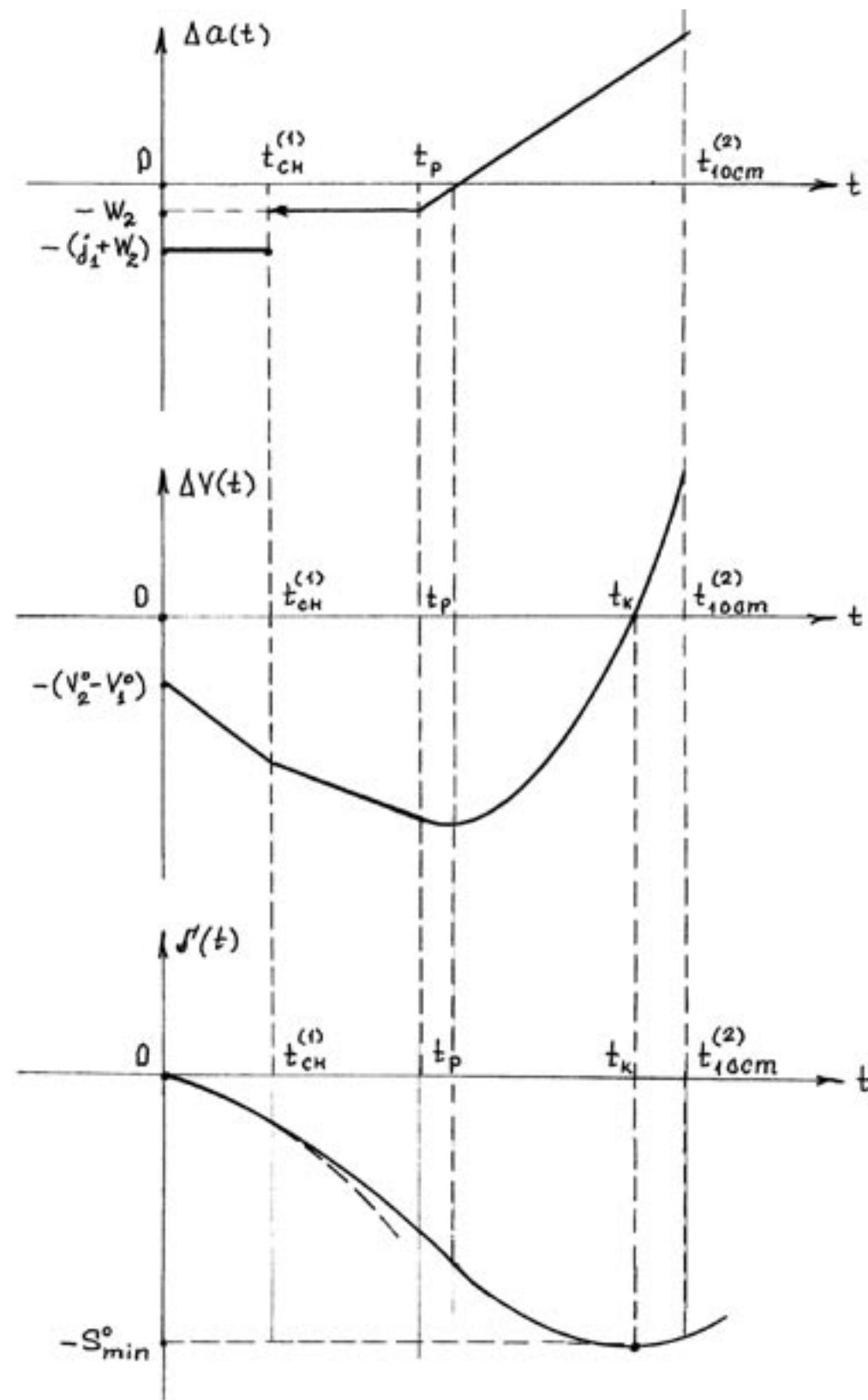


Рисунок 2.1

На полуинтервале $(t_p, t_{сн}^{(1)})$ точки, подозрительные на безопасный момент касания, определяются равенством

$$t_{11,12} = \frac{\beta + j_1}{\alpha} \pm \sqrt{\left[\frac{\beta + j_1}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]}.$$

Точка $t_{12'}$ определенная равенством

$$t_{12} = \frac{\beta + j_1}{\alpha} - \sqrt{\left[\frac{\beta + j_1}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]},$$

не является безопасным моментом касания, так как не принадлежит полуинтервалу $(t_p, t_{сн}^{(2)})$.

Точка $t_{11'}$ определенная равенством

$$t_{11} = \frac{\beta + j_2}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta + j_2}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_1^0 - V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]}, \quad (2.11)$$

может быть безопасным моментом касания.

Б1) Пусть выполняется неравенство

$$\frac{\beta + j_2}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta + j_2}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_1^0 - V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]} \leq t_{сн}^{(2)}. \quad (2.12)$$

В этом случае точка $t_{11'}$, определенная равенством (2.11), является безопасным моментом касания, то есть $t_{11} = t_{сн}$ (графики изменения функций $\Delta a(t)$, $s(t)$ и $\Delta V(t)$ изображены на рисунке 2.2), и, следовательно, минимально безопасное расстояние будет определяться равенством

$$S_{\min}^0 = \frac{\beta + j_1}{2} t_{\delta k}^2 + \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{\delta k} + \frac{\alpha}{6} (t_p^3 - t_{\delta k}^3). \quad (2.13)$$

Б2) Пусть выполняется неравенство

$$\frac{\beta + j_1}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta + j_1}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]} > t_{сн}^{(1)}. \quad (2.14)$$

В этом случае точка $t_{11'}$, определенная равенством (2.11), не является безопасным моментом касания на полуинтервале $(t_p, t_{сн}^{(1)})$, а функция $s(t)$ строго монотонно убывает, принимая отрицательные значения.

Следующей точкой, подозрительной на безопасный момент касания на полуинтервале $(t_{сн}^{(1)}, t_{огсм}^{(2)})$, будет точка

$$t_{21} = \frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]}. \quad (2.15)$$

Б2.1) Пусть выполняется неравенство

$$t_{сн}^{(2)} < \frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]} \leq t_{огсм}^{(2)}, \quad (2.16)$$

тогда точка $t_{21'}$, определенная равенством (2.15), является безопасным моментом касания (графики изменения функций $s(t)$ и $\Delta V(t)$ изображены на рисунке 2.3), следовательно, минимально-безопасное расстояние S_{\min}^0 будет определяться равенством

$$S_{\min}^0 = \frac{\beta}{2} t_{\delta k}^2 + \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{\delta k} + \frac{\alpha}{6} (t_p^3 - t_{\delta k}^3) - \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}, \quad (2.17)$$

где $t_{\delta k} = t_{21}$.

Если неравенство (2.16) не выполняется, то выполняется неравенство

$$\frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]} > t_{огсм}^{(2)}. \quad (2.18)$$

Б2.2) Пусть выполняется неравенство (2.18). Тогда функция $s(t)$ строго монотонно убывает на всем отрезке $[0, t_{огсм}^{(1)}]$, следовательно, наименьшего значения функция $s(t)$ достигает при $t = t_{огсм}^{(1)}$ (графики изменения функций $\Delta a(t)$, $s(t)$ и $\Delta V(t)$ изображены на рисунке 2.4), а значит, S_{\min}^0 определяется равенством

$$S_{\min}^0 = \frac{\beta}{2} (t_{огсм}^{(1)})^2 + \left[V_1^0 - V_2^0 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{огсм}^{(1)} + \frac{\alpha}{6} \left[t_p^3 - (t_{огсм}^{(1)})^3 \right] - \frac{(V_2^0 - V_2^1)^2}{2j_2}. \quad (2.19)$$

Полученные результаты можно записать в виде таблицы 1.

Полученные результаты дают возможность при расследовании ДТП в рассматриваемом случае ответить на вопрос, имел ли водитель автомобиля A_2 техническую возможность избежать столкновения.

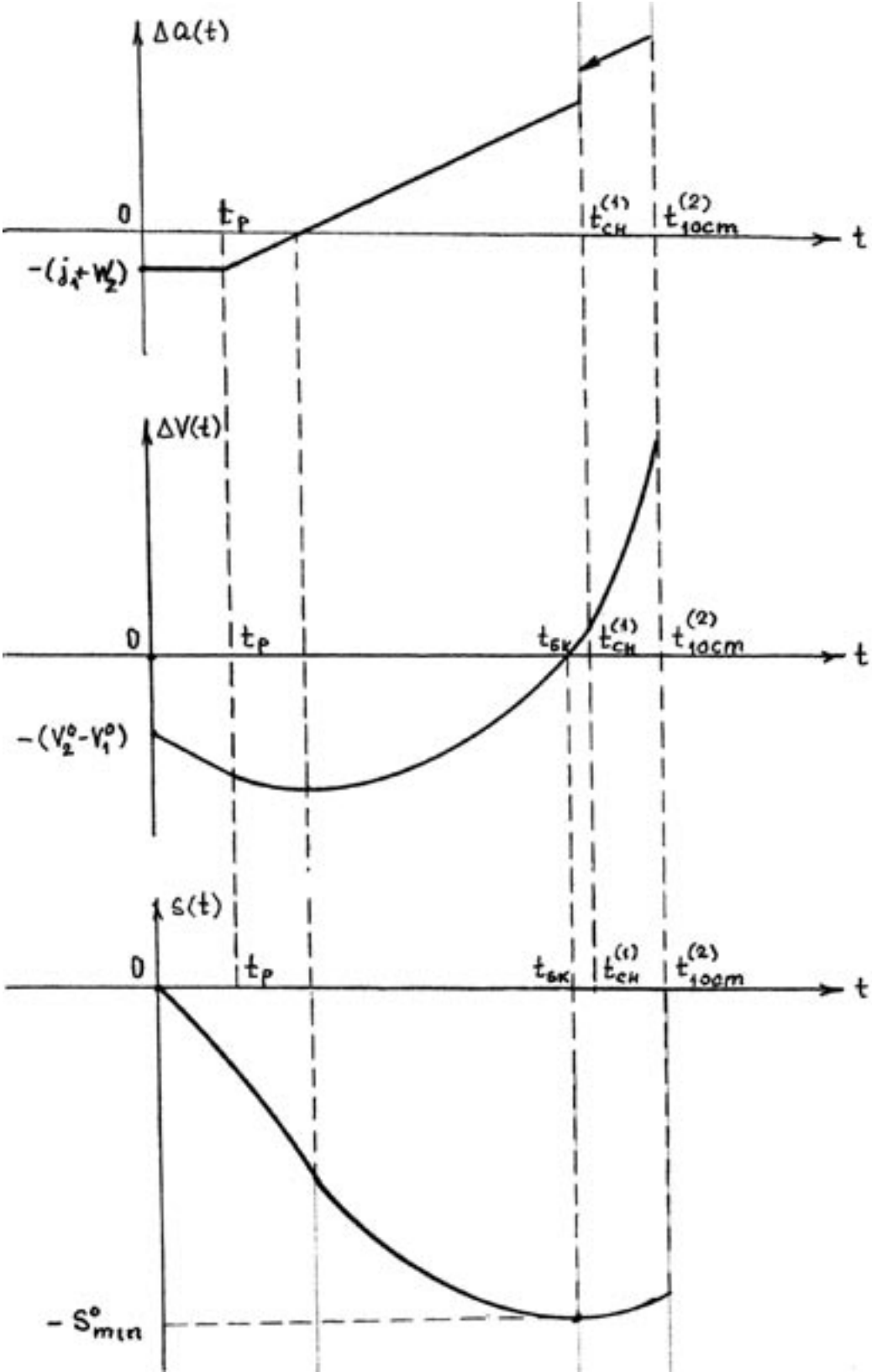


Рисунок 2.2

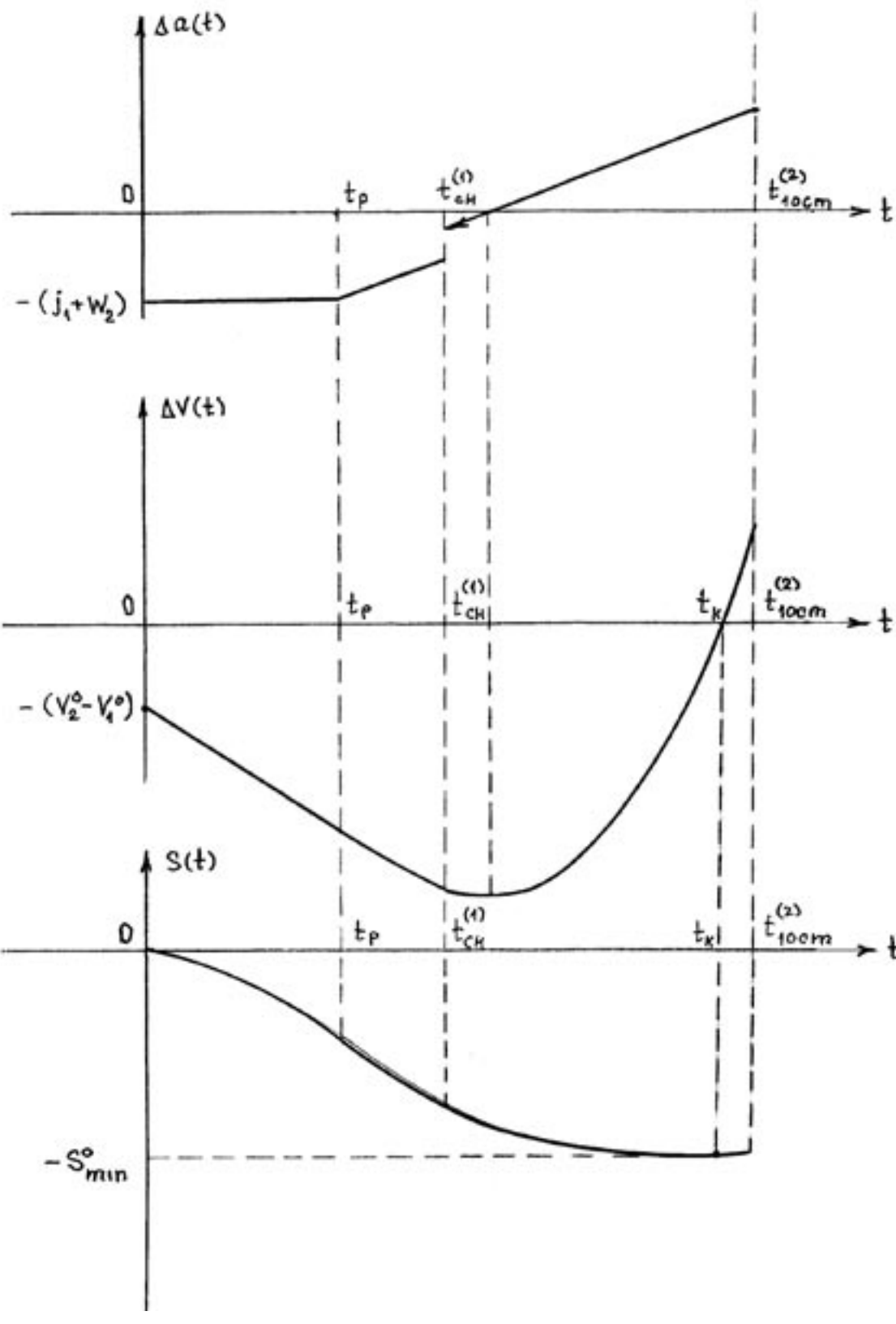


Рисунок 2.3



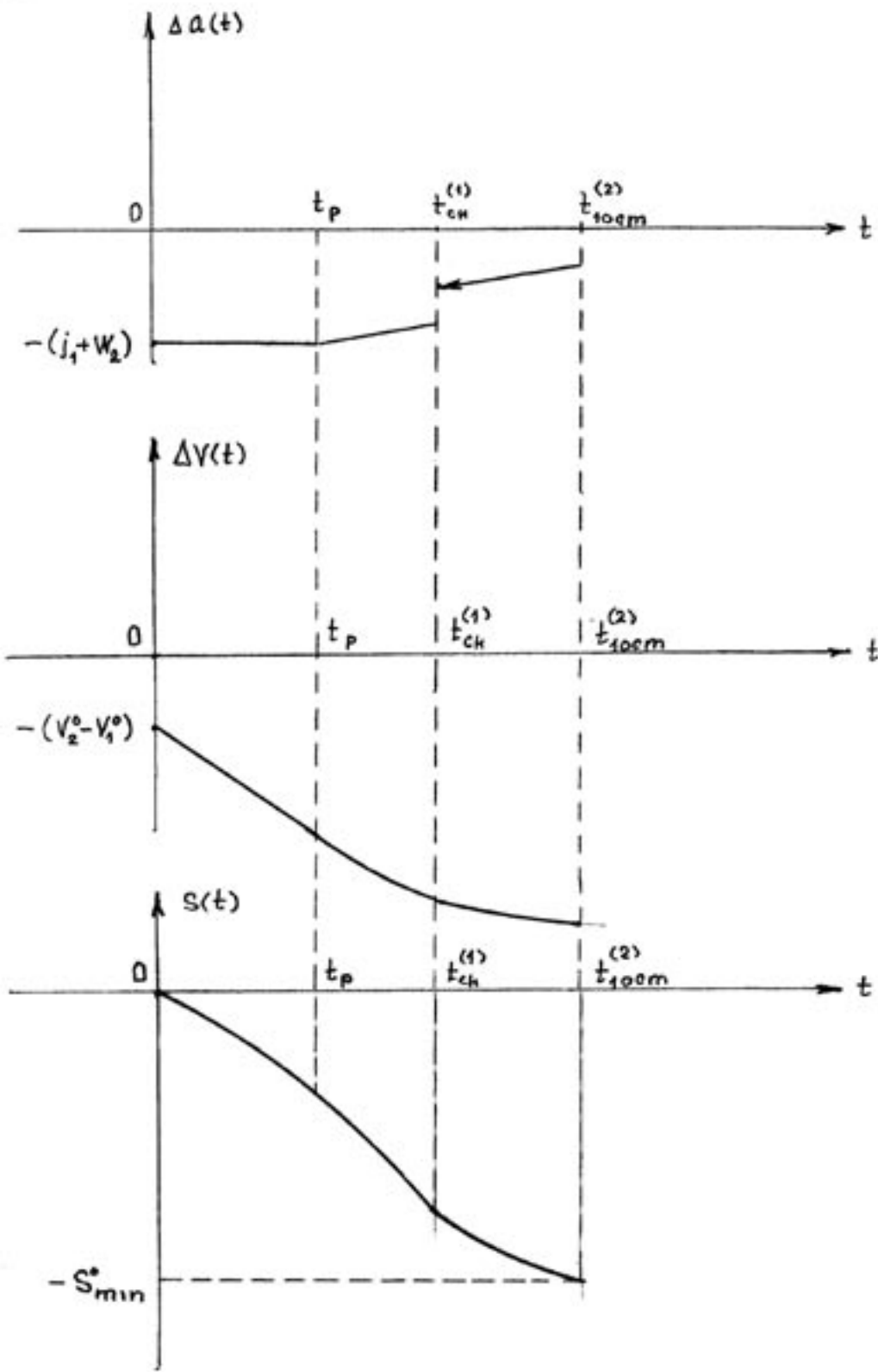


Рисунок 2.4



Таблица 1

$0 < t_{ch}^{(1)} \leq t_p$ $t_p < t_{10cm}^{(2)} \leq T$	$S_{min}^0 = \frac{\beta}{2} (t_{\delta k})^2 + \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] \cdot t_{\delta k} + \frac{\alpha}{6} [t_p^3 - t_{\delta k}^3] - \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}$		
$0 < t_p < t_{ch}^{(1)}$ $t_{ch}^{(1)} \leq t_{10cm}^{(2)} \leq T$	$M \leq t_{ch}^{(1)}$	$S_{min}^0 = \frac{\beta + j_1}{2} t_{\delta k}^2 + \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{\delta k} + \frac{\alpha}{6} (t_p^3 - t_{\delta k}^3)$	
	$M > t_{ch}^{(1)}$	$t_{ch}^{(1)} < M_1 \leq t_{10cm}^{(2)}$	$S_{min}^0 = \frac{\beta}{2} t_{\delta k}^2 + \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] t_{\delta k} + \frac{\alpha}{6} (t_p^3 - t_{\delta k}^3) - \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}$
		$M_1 > t_{10cm}^{(2)}$	$S_{min}^0 = \frac{\beta}{2} (t_{10cm}^{(2)})^2 + \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right] \cdot t_{10cm}^{(2)} + \frac{\alpha}{6} [t_p^3 - (t_{10cm}^{(2)})^3] - \frac{(V_1^0 - V_1^1)^2}{2j_1}$

Примечание

$$M = \frac{\beta + j_1}{\alpha} + \sqrt{\left[\frac{\beta + j_1}{\alpha} \right]^2 + \frac{2}{\alpha} \left[V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right]}; M_1 = \frac{\beta}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 + \frac{2}{\alpha} \left(V_2^0 - V_1^1 - \frac{\alpha}{2} t_p^2 \right)}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Карев Б.Н., Сидоров Б.А. Анализ возможностей столкновения автомобилей, движущихся в попутном направлении: Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов Уральского государственного лесотехнического университета, апрель 2004 г. — Екатеринбург: УГЛУ, 2004.

СБОРНИК ДОКЛАДОВ



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И
ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДВИЖНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В сборнике представлены результаты работы научно-методической конференции ученых, преподавателей, сотрудников высших учебных заведений, работников учреждений и предприятий Москвы, Воронежа, Волжска, Екатеринбурга, Ижевска, Чайковского и других.

Материалы, вошедшие в сборник, дают представление о наиболее важных и перспективных направлениях работы высших учебных заведений, организаций, предприятий и регионов.

АНТИГОЛОЛЕДНОЕ ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ

Рассматривается устройство асфальтобетонного покрытия с антигололедными свойствами.

Зимний период является наиболее ответственным при эксплуатации автомобильной дороги, когда короткий световой день и низкие температуры значительно осложняют работу по содержанию дорожных покрытий.

К самым негативным явлениям в зимнее время относится гололед, при котором происходит до 80% дорожно-транспортных происшествий (в США, России, Скандинавских странах). Поэтому борьбе с зимней скользкостью на дорогах уделяется серьезное внимание.

Обычно борьбу с гололедом ведут, когда уже образовался слой льда на дороге. Для этого в основном используют химические или фрикционные материалы. Однако россыпь фрикционных материалов увеличивает сцепление колес автомобилей со слоем льда на сравнительно короткий период, так как россыпь сдувается с покрытия ветром и завихрениями воздуха от проезжающего транспорта. Наблюдениями установлено, что после проезда сорока автомобилей песчано-соляной смеси на покрытии не остается. Необходимо снова, несколько раз в день, обрабатывать скользкое покрытие фрикционной смесью.

Кроме того, применение песчано-соляной смеси экологически небезопасно, так как песок с добавками хлоридов натрия и кальция сдувается с покрытия и накапливается в придорожной полосе, что пагубно влияет на природу.

Рассмотрим, как ведется борьба с гололедом в Екатеринбурге и Свердловской области.

Широко применяемая в Екатеринбурге и Свердловской области песчано-соляная смесь малоэффективна, так как она не уничтожает гололед. Обледенелое покрытие приходится обрабатывать смесью несколько раз в день, а это ведет к существенному ее расходу. Весной на улицах города от использования песчано-соляной смеси образуется сплошное месиво грязи, которая забивает канализационные колодцы.

Ежегодно зимой на проезжую часть улиц Екатеринбурга высыпается 30000 т песчано-соляной смеси, а на дороги Свердловской области — 700000 т. На каждый метр дороги приходится до 30 кг смеси. Практически все существующие противогололедные реагенты со-

держат в своем составе соль, которая вызывает коррозию металлических частей автомобилей, мостов, дорожных знаков, ограждений и пагубно влияет на придорожную растительность. Кроме того, соль, проникая в землю в придорожной полосе, может разноситься грунтовыми водами на большие расстояния, загрязняя реки и озера, т. е. питьевые источники.

Назрела необходимость в разработке принципиально нового, более эффективного подхода в борьбе с гололедом: не ждать, когда образуется слой льда на дороге, а летом создавать противогололедный слой на дорожном покрытии, который бы зимой не допускал образования ледяной корки.

Исследования по созданию антигололедного слоя асфальта в летнее время ведутся на кафедре транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета начиная с 2001 г. [1]. За эти годы разработан, создан и освоен промышленностью антигололедный кремнеорганический модификатор, который не содержит в своем составе соль и не оказывает коррозионного действия на металлы. Только одно отсутствие в модификаторе соли дает большой экономический эффект. Например, в Германии ущерб от применения солей составляет в год: от коррозии мостов — 650 млн. марок; от коррозии грузовых автомобилей — 2600 млн. марок [2].

К достоинству кремнеорганического модификатора относится то, что он может работать, в отличие от существующих, при низких температурах — минус 15-20 °С. Это важно для условий Урала, Севера и Сибири.

С целью определения эффективности предлагаемого модификатора были выполнены лабораторные



Юрий Дмитриевич Силуков, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный дорожник России, д.т.н., УГЛТУ

исследования. Для этого был сконструирован и изготовлен стенд, который позволяет измерять силу сцепления льда (адгезию) с асфальтобетонным покрытием.

Испытания проводились следующим образом. В цилиндрическую чашу укладывался предварительно разогретый до 120 °С асфальт. На него наливался антигололедный модификатор. В результате слой асфальта пропитывался реагентом. Затем асфальт уплотнялся на прессе до 400 кг/см², после чего на цилиндрическую чашу устанавливалось металлическое кольцо, в которое наливалась вода на поверхность асфальта. Далее заготовка помещалась в морозильную камеру, где на асфальте намораживался слой льда при определенной отрицательной температуре. Температура изменялась от минус 3 °С до минус 20 °С. Затем образец устанавливался на стенде, где к нему прикладывалось горизонтальное усилие, величина которого фиксировалась при срыве слоя льда с асфальтобетонного покрытия.

В результате выполненных экспериментов было установлено, что разрушающее усилие при сдвиге льда по асфальтобетонному покрытию без применения химического реагента может достигать большой величины. Так, при температуре -20 °С усилие сдвига образца льда по покрытию доходит до 900 кг, а при температуре -7 °С снижается до 600 кг. Следовательно, температура окружающего воздуха влияет

на кристаллизацию льда. Чем ниже температура, тем сильнее сцепление слоя льда (гололеда) с покрытием. Это следует учитывать во время борьбы с гололедом и увеличивать концентрацию и расход хлоридов и противогололедных смесей при поверхностной обработке скользких участков дороги при низких температурах.

Проведенные исследования по введению антигололедной добавки в верхний слой асфальтобетона или в слой износа во время устройства покрытия (летом) дали положительные результаты. Сущность заключается в том, что модификатор не позволяет образовываться центрам кристаллизации льда, т. е. лед на дороге или вообще не образуется, или появляется непрочная корка льда. В этом случае сцепление колес автомобиля с покрытием существенно увеличивается, тормозной путь автомобиля уменьшается.

Уменьшается и разрушающее усилие при сдвиге слоя льда по покрытию.

Так, при количестве антигололедной добавки 5% и температуре окружающего воздуха -10 °С усилие сдвига льда с асфальтом снижается, лед разрушается колесами автомобилей и отбрасывается в стороны с дорожного покрытия.

В настоящее время лабораторные исследования продолжаются, разрабатывается технология устройства антигололедного покрытия на дорогах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силуков Ю.Д. Эксплуатация автомобильных дорог. — Екатеринбург, 2002. — 228 с.
2. Bischoff R. Splitt. Sand and Salze. //KOSMOS. — 1984. — № 12. — Р. 60—64.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРВОСОРТНЫХ РЕЛЬСОВ

Показатель	Страны			
	США, Канада, Бразилия	ЮАР	Россия (ГОСТ Р 51685)	Швеция
Предел текучести, МПа, не менее	758	640	800	640
Временное сопротивление растяжению, МПа, не менее	1172	1080	1180	1080
Относительное удлинение, %, не менее	10	9	8	9
Твердость на поверхности, НВ	340—390	340	341—401	320—360

В таблице представлены механические свойства стали первосортных рельсов, применяемых на железных дорогах стран 1ННА. Эти рельсы имеют предел текучести порядка 640—805 МПа, временное сопротивление разрыву 1080—1180 МПа. Стандартные (нетермообработанные) рельсы из углеродистой стали имеют более низкие механические свойства: предел текучести около 480 МПа, временное сопротивление разрыву около 960 МПа.

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса/ Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландгрен, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002.— 408 с.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ, ВЫЗВАННЫХ УСТАЛОСТНЫМ
РАЗРУШЕНИЕМ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МАШИН,
ВЫРАБОТАВШИХ НОРМАТИВНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ



Андрей Петрович Котельников,
заведующий лабораториями
кафедры мехатроники, К.т.н.,
УрГУПС

Предлагается развивать методы оценки накопления усталостных повреждений, основанные на использовании датчиков деформаций интегрального типа.

Нагружение деталей машин, под которым понимается процесс изменения деформаций или перемещений исследуемой области элемента конструкции, может быть доступен для измерения, например, с помощью тензометрии. В то же время

процесс накопления повреждений, происходящий в элементе конструкции под воздействием процесса нагружения, является практически ненаблюдаемым. Поэтому, по мнению многих исследователей, необходимо развивать методы оценки накопления усталостных повреждений, основанные на использовании различного рода датчиков.

Работа машин чаще всего связана с воздействием на их детали циклически меняющихся во времени нагрузок. При этом в металлоконструкциях происходят необратимые механические изменения, называемые усталостными повреждениями, которые накапливаются и приводят к возникновению микроскопических трещин. Дальнейшее развитие трещин приводит к усталостной поломке деталей и, в лучшем случае, к потере работоспособности машины, а в худшем — к катастрофе.

К настоящему времени не существует теории усталости (она нуждается в насыщении экспериментальными фактами), которая позволяла бы производить расчеты, основанные на физических гипотезах, для прогнозирования ресурса деталей и металлоконструкций машин. Для развития таких гипотез требуются обширные экспериментальные исследования. Классический подход к решению задачи определения числа циклов до разрушения детали основан на использовании кривой Веллера — кривой усталости материала, из которого изготовлена деталь.

Если параметры цикла нагружения неизменны во времени (стационарный процесс), тогда достаточно

знать амплитуду напряжений. В случае нестационарного нагружения (подавляющее большинство деталей и металлоконструкций машин в силу своего назначения и физической необходимости работают в данном режиме) решить эту задачу представляется возможным, если известна закономерность изменения параметров режима нагружения детали. Но, как правило, для диагностируемых деталей нет данных по фактическому числу циклов нагружения и по величине напряжений за весь срок эксплуатации. В лучшем случае иногда известна лишь наработка металлоконструкции в часах. Поэтому идеология применения тех или иных датчиков усталостных повреждений должна заключаться в том, чтобы за время работы диагностируемых металлоконструкций с установленными на них датчиками определить по реакции датчиков эквивалентное по повреждающему воздействию напряжение и эквивалентное число циклов нагружения каждого диагностируемого участка металлоконструкции. При этом необходимо учитывать, что время для проведения диагностических работ, как правило, весьма ограничено по производственным и другим причинам.

Целесообразно отметить ключевые позиции построения эффективной методики диагностирования объекта с точки зрения его назначения, уровня ответственности, эксплуатационных условий, применяемых средств и т.д., что и послужило заключением данной статьи. Особого внимания заслуживают детали и металлоконструкции машин со сравнительно большими размерами сечений.

В таких деталях в большей степени проявляется негативное влияние неоднородности механических свойств металла и структурных дефектов и возрастает вероятность развития усталостных трещин. К тому же с увеличением размеров сечений снижается положительный эффект возможного упрочняющего воздействия от обработки.

К числу таких деталей относятся, например, детали рамы автомобиля, надрессорные балки вагонов, детали насосных установок для нефтедобывающей промышленности и другие несущие элементы металлоконструкций машин. Металлоконструкция машины

в общем случае представляет собой систему деталей разных размеров и форм. Детали могут быть изготовлены из различного материала, иметь разную термическую и механическую обработку. Все это и множество других факторов формирует индивидуальные свойства и особенности металлоконструкций машин. При работе машин динамические процессы вызывают распределение нагрузок, зачастую отличающееся от теоретически предполагаемого распределения. Даже при известных спектрах внешних нагрузок индивидуальные особенности конструкций могут оказывать существенное влияние на возникающие спектры деформаций, которые представляют опасность с точки зрения усталостных поломок и которые трудно учесть расчетом без систематического изучения.

Большие запасы прочности, закладываемые при проектировании несущих элементов металлоконструкций транспортных машин, обеспечивают их эксплуатацию в течение достаточно длительного, фактически превышающего нормативный срок времени. Своевременное выявление тех транспортных машин, усталостные повреждения металлоконструкций которых близки к предельным значениям и, как следствие, имеют малый остаточный ресурс, является актуальной задачей, имеющей чрезвычайно важное практическое значение.

Поскольку у каждой металлоконструкции всегда имеются индивидуальные особенности (как по техническому состоянию, так и по условиям эксплуатации), влияющие на характеристики процесса накопления усталостных повреждений, то для получения объективных данных оценки вероятности усталостного разрушения каждой исследуемой металлоконструкции требуется индивидуальный подход. Как правило, не производится систематическое изучение спектров эксплуатационных нагрузок, поэтому необходимы новые методы и технические средства, позволяющие определить число циклов до разрушения металлоконструкций при действии случайных напряжений, близких к пределу выносливости.

Расчетные методики определения вероятностных оценок не позволяют получить решение данной задачи, так как для их реализации необходимо иметь полную совокупность исходных данных, включающую фактическое число циклов нагружения исследуемых мест металлоконструкций, величины реально действующих напряжений и историю их изменения в ходе эксплуатации за весь период работы машины. Практически собрать подобную информацию в реальных условиях работы машин не представляется возможным. Следует отметить, что даже при известных спектрах изменения внешней нагрузки индивидуальные особенности и свойства конструкции могут оказывать влияние на возникающие и представляющие с точки зрения усталостных поломок опасность спектры деформаций, которые трудно (и пока не представляется возможным)

рассчитать. Также невозможно на сегодняшний день учесть расчетом и множество других факторов — влияние окружающей среды, нарушение исходного состояния основного металла при ремонтных работах и т. д. Ограниченные возможности расчетных методик могут быть компенсированы эмпирическими данными о накоплении усталостных повреждений в металлоконструкциях машин, полученными путем проведения экспериментально-исследовательских работ по специальным методикам и с использованием специальных средств.

Среди существующего множества способов экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния металлоконструкций с точки зрения получения данных об усталости объектов наибольший интерес представляют способы, использующие датчики усталостных повреждений [1—3]. Наиболее эффективным специальным средством решения задачи прогнозирования усталостного разрушения металлоконструкций машин, обладающих длительным периодом наработки, являются датчики деформаций интегрального типа (ДДИТ).

Такие датчики изготавливаются из металлической фольги (медной, алюминиевой, никелевой, серебряной) толщиной 10—40 мкм по специальной технологии, включающей термомеханические операции [4]. Наибольшее распространение получили датчики, изготавливаемые из медной и алюминиевой фольги. Результатом соответствующих технологических операций является получение металлических пленок с заданными упругопластическими характеристиками. В материале таких пленок даже при малых по величине циклических деформациях происходят необратимые смещения слоев зерен, благоприятно ориентированных для движения дислокаций. При увеличении числа циклов деформирования или амплитуды деформаций дислокации «выходят» наружу, образуя видимый внешний эффект — дислокационные линии и полосы скольжений, воспринимаемые при осмотре под микроскопом с прямым освещением как «темные пятна». После установки датчик принимает форму поверхности элемента конструкции (галтель вала, впадины зуба). В качестве реакции ДДИТ на уровень деформаций при циклическом нагружении используют не только внешний эффект («темные пятна» на поверхности), но и внутренний эффект — изменение структуры материала датчика [4, 5]. Так, анализ микротвердости датчика [6] показал, что по мере возрастания амплитуды деформаций при фиксированном числе циклов нагружения или при увеличении числа циклов при постоянной амплитуде деформирования материал датчика вначале упрочняется, а затем разупрочняется.

Перед началом стадии разупрочнения на поверхности датчика возникают первые «темные пятна». Процесс разупрочнения характеризуется увеличением числа «темных пятен» и разрыхлением структуры

материала датчика. Отчетливо наблюдать структурные изменения, происходящие в датчике и предшествующие появлению внешнего эффекта, а также количественно оценивать структурные изменения позволяет метод химического травления [4, 5]. Травление датчиков из медной гальванической фольги осуществляют последовательно двумя реагентами: водным раствором аммиака и соляно-кислым раствором хлорного железа. Тарировочные зависимости, связывающие число циклов деформирования и амплитуду напряжения, построенные по критерию возникновения первых зерен измененной структуры датчика, а также напряжения и относительную площадь измененной структуры при фиксированном числе циклов нагружения датчика используют при решении задач оценки распределения напряжений в деталях машин [4, 5, 7]. Установлено [4, 5], что ориентация зерен измененной структуры датчика определяется видом напряженно-деформированного состояния исследуемой детали. Так, при построении тарировочных зависимостей в условиях чистого изгиба образца зерна измененной структуры датчика располагаются примерно под углом 45° к продольной оси образца, а при циклическом закручивании образца — под углом 90°. Ориентация «темных пятен» качественно подобна ориентации зерен измененной структуры.

ДДИТ относятся к индикаторам усталости, изменяющим физические параметры с ростом степени усталостного повреждения [8]. Отличительные свойства ДДИТ, обеспечившие решение многочисленных задач экспериментальной оценки работоспособности и ресурса различных изделий машиностроения, характеризуются следующим:

- информативностью реакции датчиков («темные пятна» на поверхности или структурные изменения материала), позволяющей определять степень нагруженности исследуемого места металлоконструкции;
- возможностью определения вида воспринимаемой нагрузки (кручение, изгиб) по ориентации на поверхности датчика «темных пятен» или по ориентации зерен измененной структуры материала датчика;
- возможностью установки датчиков на участки деталей со сложной геометрией (впадины зубьев колес, галтели осей и т. д.) и последующим снятием датчиков для оценки их реакции в лабораторных условиях;
- отсутствием электропроводов и других коммутационных устройств регистрации реакции датчиков, позволяющим использовать их в реальных условиях эксплуатации объекта без какого-либо конструктивного вмешательства;
- возможностью использования датчиков с управляемой чувствительностью к амплитуде циклических деформаций.

Особого внимания заслуживает информация насущения поверхности датчиков реакцией. Осущест-

вить количественную обработку реакции на ДДИТ в любой момент ее регистрации позволяют современные аппаратные средства цифровой фотометрии и программное сопровождение для ЭВМ. При разработке методов диагностики усталости металлоконструкции транспортных машин необходимо не только иметь возможность регистрации показаний датчиков в любой момент времени, но и учитывать, что амплитуда циклических деформаций в исследуемых местах металлоконструкции из-за больших запасов прочности может оказаться весьма малой. Данное обстоятельство требует применения либо датчиков максимальной чувствительности, либо поиска путей ее увеличения, поскольку при использовании известных технологий изготовления датчики при вышеотмеченных амплитудах циклического деформирования имеют достаточно продолжительный инкубационный период до появления реакции. Для этого разработаны [9] два новых способа восстановления напряжений по показаниям ДДИТ. В основу первого способа положена идея повышения чувствительности ДДИТ путем их предварительной наработки [10]. Развитие этой идеи в патенте [11] позволило разработать принципиально новый вид датчиков деформаций интегрального типа — с заданной и дифференцированной чувствительностью к амплитуде деформаций, реакция на которых может быть зафиксирована в любой момент прерывания испытаний.

Для использования этого вида ДДИТ выполнен комплекс экспериментальных и теоретических работ по созданию метода их тарирования и математическому описанию тарировочных зависимостей, необходимого при решении задачи прогнозирования ресурса. Если бы анализируемые конструкции в процессе эксплуатации подвергались циклическому воздействию постоянной по величине амплитуды нагрузки, то описанные выше датчики обеспечили бы получение данных о действующих на исследуемых поверхностях амплитудах циклических напряжений. Однако в условиях эксплуатации деформации металлоконструкций машин являются, как правило, случайными с неизвестными априори законами распределения. В связи с этим возникает задача определения эквивалентных напряжений и эквивалентных чисел циклов нагружения. Результаты решения этой задачи по информации с ДДИТ [8, 12] свидетельствуют, что здесь удастся восстановить эквивалентные по повреждающему воздействию напряжения, знание которых повышает точность прогнозных оценок ресурса. Из-за необходимости определения при решении рассмотренной задачи как эквивалентного напряжения, так и эквивалентного числа циклов разработан [9] второй способ тарирования ДДИТ, который так же, как и вышеотмеченный, позволяет фиксировать реакцию на датчике на любом этапе эксплуатации транспортной машины. При разработке второго способа определения на-

пряжений использована информация с поверхности ДДИТ, полученная с помощью цифровой фотоаппаратуры и подвергнутая специальной математической обработке [9].

Суть математического описания тарировочной зависимости для ДДИТ, построенной по моменту возникновения на нем реакции в виде первых «темных пятен», заключается в следующем. В основу положена кривая усталости, являющаяся решением дифференциального уравнения накопления усталостных повреждений в материале по гипотезе Гатса. В математической форме гипотеза Гатса описывается зависимостью отрицательного приращения несущей способности материала с каждым циклом нагружения ($d\sigma_n/dn$) от некоторой функции поврежденности:

$$(d\sigma_n/dn) = - K\Pi(\sigma), \quad (1)$$

где K — коэффициент пропорциональности; $\Pi(\sigma)$ — функция поврежденности.

В работе [13] для стальных выражение кривой выносливости в результате решения дифференциального уравнения (1) получено в следующей форме:

$$N = K [1/(\sigma - \sigma_{R0}) - \sigma_B/\sigma (\sigma_B - \sigma_{R0})], \quad (2)$$

где N — число циклов нагружения; σ_{R0} — предел выносливости материала в исходном состоянии, МПа; σ_B — аналог предела прочности материала, МПа; K — коэффициент пропорциональности.

В качестве примера на рисунке 1 показана кривая усталости для материала Ст 3, полученная в результате обработки [9] данных усталостных испытаний образцов.

В работе [12] для описания данных тарирования ДДИТ по критерию первых «темных пятен» предложено использовать более общий вид зависимости, нежели (7), путем введения в нее меры повреждения Π_d и замены в формуле (7) аналога прочности материала

исследуемой стали (σ_B) на аналог предела прочности материала датчика (σ_{bd}). В качестве меры повреждения принято отношение [12]

$$\Pi_d = \sigma_{Rj} / \sigma_{R0}, \quad (3)$$

где σ_{Rj} — предел выносливости материала, получившего предварительную наработку; σ_{R0} — предел выносливости материала в исходном состоянии.

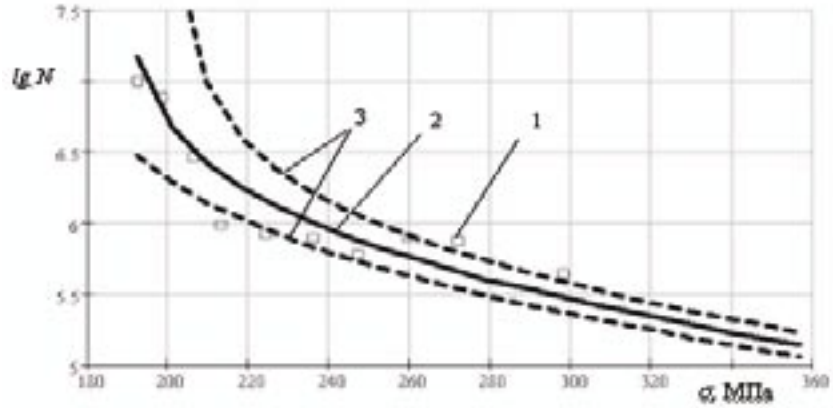
В результате полуэмпирическая зависимость, описывающая данные тарирования, получена в виде [12]

$$N_d = K_d [1/(\sigma_d - \sigma_{R0} \Pi_d) - \sigma_{bd}/\sigma_d (\sigma_{bd} - \sigma_{R0} \Pi_d)], \quad (4)$$

где N_d — число циклов деформирования датчика до возникновения на его поверхности первых «темных пятен»; σ_d — действующее в месте реакции на ДДИТ напряжение на тарировочном образце; K_d — коэффициент пропорциональности.

Физический смысл выражения (3) заключается в том, что при тарировании ДДИТ определяется функциональная связь, соответствующая постоянной ($\Pi_d = \text{const}$) величине поврежденности материала, фиксируемой датчиком. На основе полученной тарировочной зависимости (3) устанавливается величина поврежденности датчика в той его части, где имеется реакция, и закон изменения поврежденности в той части датчика, где реакция еще отсутствует.

В результате тарировочных испытаний плоских образцов, изготовленных из материала Ст 3, геометрические параметры которых полностью соответствуют образцам, использованным при испытаниях на выносливость [9], получены числа циклов деформирования датчиков при различных уровнях напряжений до появления первых «темных пятен». В результате обработки данных тарировочных испытаний установлены следующие значения параметров тарировочной зависимости (3) по критерию появления первых «темных пятен»: $K_d = 33,09 \cdot 10^6$; $\Pi_d = 0,110$; $\sigma_{bd} = 332,0$ МПа. Графическая интерпретация этой тарировочной за-



1 — экспериментальные данные
2 — кривая усталости
3 — положения кривой для минимального и максимального значения величины предела выносливости, которые получены на этапе итерационного уточнения [9]

Рисунок 1 — Кривая усталости для Ст 3

висимости с граничными положениями показана на рисунке 2. Полученный из выражения (13) закон изменения поврежденности ДДИТ (Π_{da}) в той части датчика, где реакция еще отсутствует, представлен на рисунке 3.

Методика использования датчиков с переменной чувствительностью, на поверхности которых имеется граница первых «темных пятен», состоит в следующем. На исследуемом месте детали (металлоконструкции) с помощью клея Циакрин-ЭО закрепляют датчик. Деталь подвергают циклическому деформированию в течение известного числа циклов N_d , после чего фиксируют смещение границы (x_d) реакции на датчике

(первых «темных пятен») относительно исходного положения. Действующее в месте закрепления датчика напряжение (σ_d) определяется из решения трансцендентного относительно σ_d уравнения

$$\Pi_{da}(x_d) + \Pi_{dt} = \Pi_d, \quad (5)$$

где $\Pi_{da}(x_d)$ — поврежденность датчика в сечении с координатой x_d (рисунок 3); Π_{dt} — поврежденность материала датчика в результате предварительной нагрузки; Π_d — параметр тарировочной зависимости (4).

Для решения задачи количественной оценки напряжений по цифровым фотоснимкам поверхности

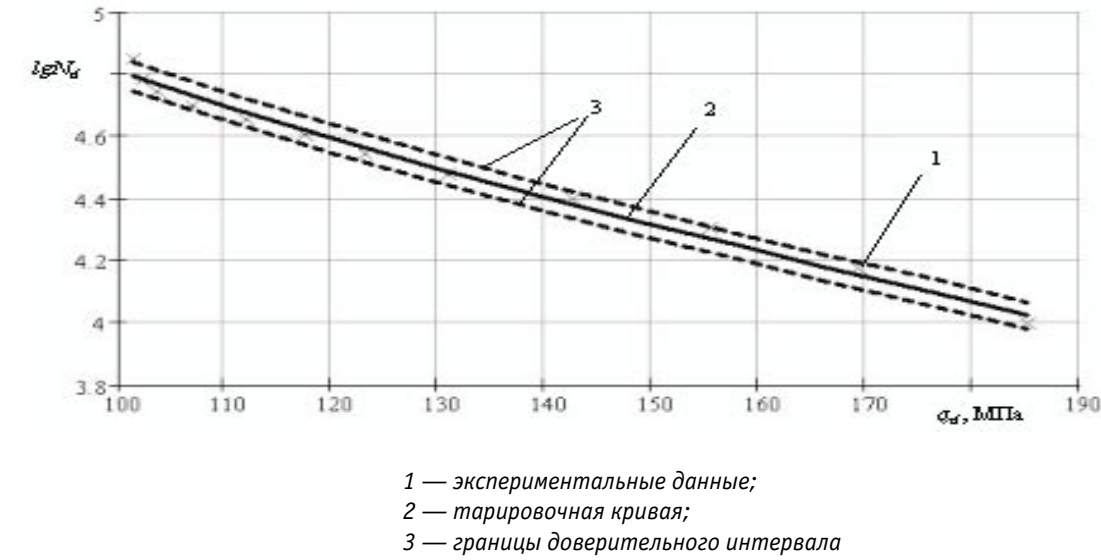


Рисунок 2 — Тарировочная кривая по критерию первых «темных пятен» с граничными положениями

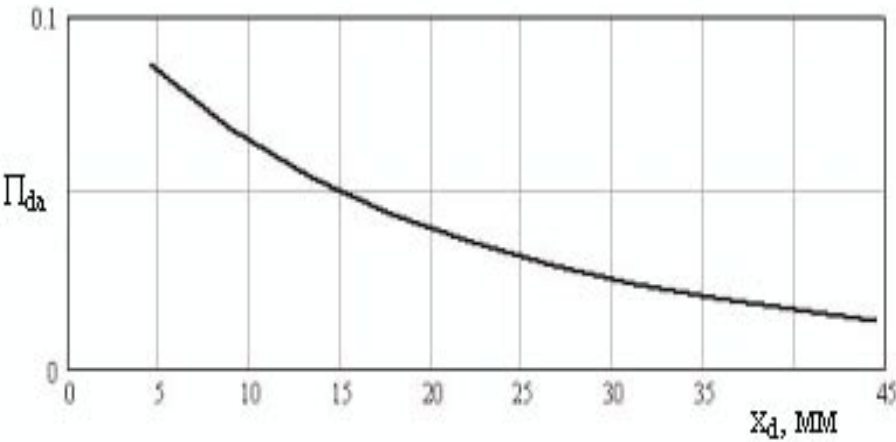


Рисунок 3 — Изменение поврежденности Π_{da} датчика по длине x_d тарировочного образца

ДДИТ на исследуемую поверхность конструкции закрепляем датчик и после работы конструкции при постоянной амплитуде деформаций в течение N_d числа циклов нагружения осуществляем фотографирование поверхности датчика. Далее определяют в результате обработки цифрового изображения величину относительной площади насыщения поверхности реакцией в виде линий и полос скольжения дислокаций — δ_d . Для реализации нового способа применения ДДИТ при определении амплитуды циклического напряжения получена тарировочная зависимость, связывающая амплитуду напряжения (σ_d), число циклов деформирования (N_d) и относительную площадь «темных пятен» (δ_d) в следующей форме:

$$\delta_d(\sigma_d, N_d) = 1,77 \cdot 10^{-6} (\sigma_d - 150) 3,4 N_d / 5 \cdot 10^4. \quad (6)$$

Иллюстрация линий, аппроксимирующих экспериментальные данные, показана на рисунке 4.

Подставляя полученные значения N_d и δ_d в следующую формулу (6) и разрешая ее относительно σ_d устанавливают искомую величину напряжения

$$\sigma_d = [5 \cdot 10^4 \delta_d / (1,77 \cdot 10^{-6} N_d)]^{0,294} + 150. \quad (7)$$

Несмотря на то, что аппроксимирующая зависимость (6) является регрессионной, физический смысл накопления повреждений в ней не заложен, тем не менее использование этой зависимости в установленных диапазонах изменения величин N_d и σ_d позволяет решать задачу определения напряжений по показаниям ДДИТ в исследуемых местах конструкции, изготовленной из материала Ст 3 [9]. Если металлоконструкция

выполнена из другой стали, то тарировочные кривые получают заново.

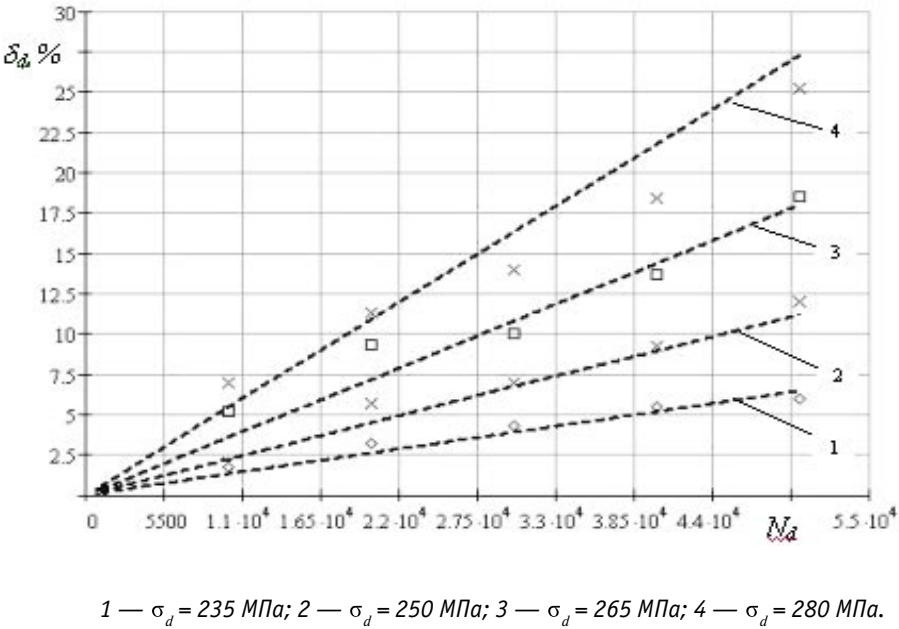
Резюмируя приведенные в статье соображения и выполнив анализ существующих на сегодняшний день разработок по диагностике усталости металлоконструкций машин с использованием специальных технических средств, можно сформулировать следующие требования к разработке эффективных методик предупреждения техногенных катастроф по причине усталостного разрушения металлоконструкций машин.

Во-первых, для повышения достоверности определения остаточного ресурса металлоконструкций транспортных машин, учитывая их высокую ответственность, требуется путем проведения усталостных испытаний образцов получить уточненные данные по усталостной прочности материала на основании развития физических гипотез.

Во-вторых, учитывая малую величину амплитуды циклических деформаций, возникающих в исследуемых металлоконструкциях из-за больших запасов прочности, закладываемых на этапе проектирования, требуется применение датчиков с достаточной чувствительностью.

В-третьих, процедура регистрации реакции с датчиков должна быть применима в условиях эксплуатации объектов и должна обеспечивать получение объективных данных для выявления тенденции развития реакции.

В-четвертых, методика оценки реакции должна обеспечивать возможность ее регистрации в произвольный момент прерывания испытаний.



1 — $\sigma_d = 235$ МПа; 2 — $\sigma_d = 250$ МПа; 3 — $\sigma_d = 265$ МПа; 4 — $\sigma_d = 280$ МПа.

Рисунок 4 — Аппроксимация экспериментальных данных при тарировке ДДИТ по критерию изменения относительной площади «темных пятен»

Литература

1. Бойко В.И., Коваль Ю.И. Анализ неразрушающих методов оценки усталостного повреждения металлов / ИПП АН УССР. — Киев, 1982. — 36 с.

2. Болотин В.В., Набойщиков С.М. К теории датчиков повреждений и счетчиков ресурса // Расчеты на прочность: Сб. статей /Под общ. ред. Н.Д. Тарабасова. — М.: Машиностроение, 1983. — Вып. 24. — С. 79—94.

3. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. — М.: Металлургия, 1975. — 456 с.

4. Сызранцев В.Н. Методы экспериментальной оценки концентрации циклических деформаций и напряжений на поверхностях деталей машин: Учеб. пособие. — Курган: КМИ, 1993. — 83 с.

5. Розенберг А.Ю. Методы экспериментальной оценки нагруженности и долговечности зубчатых колес с помощью гальванических медных датчиков циклических деформаций: Дис. ...канд. техн. наук. — Курган, 1985. — 223 с.

6. Оценка нагруженности и прогнозирование ресурса основных несущих элементов полувагона на основе измерения кинетики накопления повреждений с помощью гальванодатчиков (ГД): Отчет Курганского машиностроительного института; руководитель работы В.Н. Сызранцев. — 0834 № ГР 01860070995. — Курган, 1987. — Ч. I. — 104 с. — 1988. — Ч. 2. — 66 с.

7. Сызранцев В.Н. Синтез зацеплений цилиндрических передач с локализованным контактом: Дис. ... д-ра техн. наук. — Курган, 1989. — 429 с.

8. 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.

9. Котельников А.П. Диагностика усталости металлоконструкций машин датчиками деформаций интегрального типа: Дис. ... канд. техн. наук. — Курган, 2004. — 135 с.

10. Патент 2190831 (Россия), C2 7G 01 B 7/16, 7G 01 N 3/32. Способ изготовления датчиков для контроля циклических деформаций / В.Н. Сызранцев, С.Г. Тютрин — № 2000125727/28; Заявлено 12.10.2000; опубликовано 10.10.2002. Бюл. № 28.

11. Патент 2212638 (Россия), C2 7G 01 L 1/00, 1/22. Способ определения концентрации напряжений в деталях машин / В.Н. Сызранцев, Д.А. Троценко, А.П. Котельников, С.Г. Антипов — № 2001124675/28; Заявлено 06.09.2001; Опубликовано 20.09.2003. Бюл. № 28.

12. Сызранцев В.Н., Добрынько А.В. Методы прогнозирования долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа: Учеб. пособие. — Курган: КМИ, 1993. — 104 с.

13. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 624 с.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

В.Р. АСАДЧЕНКО

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА

В учебном пособии в соответствии с рекомендуемыми учебными программами приведены материалы о назначении и принципах действия основных, в том числе новых, тормозных устройств и систем, применяемых на железнодорожном транспорте, их эксплуатации, ремонте и перспективах совершенствования. Кроме этого, даются методики расчетов различных важнейших процессов, протекающих при торможении: газодинамических, тепловых, эффективности, износа и ряда других.

Пособие предназначено для студентов специальностей: 180700 — «Электрический транспорт (железных дорог)», 150800 — «Вагоны», 150700 — «Локомотивы» железнодорожных вузов, а также для инженерно-технических работников локомотивного и вагонного хозяйства, связанных с эксплуатацией и ремонтом тормозных устройств.

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ПРОФЕССОРА И.Н.БОГАЧЕВА

Индустриализация страны в 30-х годах XX века требовала массового производства вагонных колес. Введенный в эксплуатацию в Днепропетровске прокатный стан для изготовления стальных колес был малопроизводителен и проблемы не решал. Тогда, руководствуясь примером США, в Нижнем Тагиле на Уралвагонзаводе построили крупный цех по производству колес Гриффина из отбеленного чугуна. Оттуда же были заимствованы оборудование, технология и даже специалисты. Несмотря на проявленную предусмотрительность, результат оказался удручающим. Из 17 тысяч отлитых в 1934 г. колес годных оказалось лишь 100 шт., т. е. менее одного процента. Наркомат тяжелой промышленности командировал на Уралвагонзавод специалистов из различных предприятий и научных учреждений Москвы, Ленинграда и других городов, всего более 10 человек. Каждый специалист получил возможность внести свое усовершенствование, но брак по-прежнему сохранялся высоким: в 1935 году он составил 69% при общем производстве колес 114 тыс. шт. Исчерпав свои возможности, опытные специалисты, в том числе американские, разъехались по местам работы, и на заводе осталась лишь группа молодых инженеров из УПИ. Среди них был Иван Николаевич Богачев.

Причина брака состояла в том, что уральские руды в отличие от американских содержали значительное количество примесей меди и других металлов. Кроме того, отливаемые колеса по диаметру были больше (φ 900 мм), чем колеса в США (φ 838 мм), что создавало дополнительные термические напряжения и приводило к трещинам (браку). Требовалось усовершенствовать технологию производства. Для этого в цехе создали металлургическую лабораторию. Непосредственно в производственных условиях проверялось большое количество технических решений. Было установлено, что склонность твердого отбеленного слоя к образованию трещин снижается, если в его структуре присутствует ~ 2% мягкого графита. Твердость гребня колеса и поверхности качения при этом несколько уменьшалась (с НВ 440 до НВ 340), из-за чего такие колеса стали называть полутвердыми.

Пониженная твердость не могла не зародить сомнений в их работоспособности, но последние были развеяны ходовыми испытаниями. На вагонный состав установили 176 пар опытных колес, среди которых как база сравнения были «твердые» колеса, привезенные из США. Эксплуатация состава длилась 10 месяцев. Результат оказался в пользу полутвердых колес; все они сохранились пригодными к дальнейшей эксплуатации, тогда как половина американских колес лопнула. Кроме

того, дополнительные исследования показали, что мягкие включения графита не только не ускоряют износ, а, выполняя роль смазки, даже несколько его снижают. Таким образом, производство колес на Уралвагонзаводе было освоено.

Впоследствии советским опытом изготовления полутвердых (НВ 340) колес воспользовались американцы. При разработке технологии сорбитизации (термического упрочнения) стальных колес для грузоподъемных кранов, перемещающихся по рельсовым путям, они установили именно то значение требуемой твердости, которое было на уральских колесах Гриффина — НВ 340. При этом износостойкость увеличилась приблизительно в 5 раз.

Когда поставленная задача была решена и страна начала получать вагонные колеса, сотрудники УПИ возвратились в институт. Здесь Иван Николаевич по результатам заводских исследований защитил в 1938 г. кандидатскую диссертацию, в 1940 г. издал монографию «Металлографические основы получения качественного чугуна», а в 1947 г. по теме фазовых превращений чугуна защитил докторскую диссертацию.

Во время войны Уралвагонзавод был перепрофилирован на выпуск оборонной продукции, но по окончании войны производство колес Гриффина возобновилось. Опыт эксплуатации свидетельствовал об их высоком качестве. Из выпущенных 1,7 млн. колес ни одно не вышло из строя по причине трещин в ступичной или дисковой частях. Правительство СССР высоко оценило работу по обеспечению железнодорожной отрасли страны вагонными колесами. Группа сотрудников Уралвагонзавода и УПИ, в том числе профессор И.Н. Богачев, в 1950 г. за коренное усовершенствование производства чугунных вагонных колес была удостоена Сталинской (Государственной) премии.

Послевоенное время поставило перед страной новую задачу. Строительство гидроэлектростанций показало, что с ростом мощности их агрегатов катастрофически снижается срок службы рабочих колес. В некоторых



случаях он не превышал одного месяца. В этих условиях эффективная эксплуатация электростанций становилась невозможной. Срочно требовалось найти способ защиты лопастей турбин от кавитационного разрушения.

Чтобы понять масштабность этой проблемы, надо иметь в виду следующее. Разрушенная войной страна напрягала силы, чтобы добиться паритета в новом виде вооружений — ядерном. Без энергетики это было сделать невозможно, а отставание в этой области от США было многократным. Ставку сделали на гидроэлектростанции как источник большого количества дешевой электроэнергии. Однако, понеся громадные расходы на перекрытие крупнейших рек, проектирование и изготовление турбин нового поколения оказались перед перспективой остаться у «разбитого корыта». Вот почему когда производственные испытания засвидетельствовали решение проблемы кавитационного разрушения лопастей турбин, был большой общественный резонанс. Самый популярный журнал «Огонек» в 1964 г. предоставил свою обложку и писал: «Не побоимся сказать, это научно-техническое открытие — одно из выдающихся и блистательных в нашем веке». Основоположник научной кинопублицистики Л.И. Романенко посвятил этому достижению полнометражный фильм «Укрошенный враг».

Как же это происходило? В 40-е и 50-е годы XX в. в лабораториях мира широко пробовали новые составы сталей и сплавов. Иван Николаевич интуицией большого ученого выбрал для борьбы с кавитационным изнашиванием в то время только появившийся и поэтому неизученный класс нестабильно-аустенитных сталей. (Следует заметить, что за новую проблему И. Н. Богачев взялся, когда ему было уже за пятьдесят). В самом начале исследований пришла уверенность в успехе. Лабораторные результаты были столь впечатляющими, что решением Совета Министров СССР № 5887 от 28.04.1956 г. за подписью его председателя Н.С. Хрущева в УПИ открылась проблемная лаборатория металловедения (ПЛМ). «Проблемная» потому, что ей надлежало снять проблему сверхбыстрого изнашивания лопастей гидротурбин.

Для УПИ это было знаменательное событие. До того времени институт из бюджета государства получал средства только на обучение студентов. И вот централизованно начали финансировать научные исследования.

Тем самым государство впервые признало УПИ способным к решению крупных научных задач. Впоследствии госбюджетного финансирования научных исследований стали добиваться и другие ученые УПИ, но они уже шли по изведанной дороге.

Сотрудники ПЛМ, в основном молодые выпускники УПИ и других вузов, под руководством профессора И.Н. Богачева выявили оптимальный состав кавитационно-стойкой стали (30X10Г10) и установили причину ее высокой долговечности. Поверхность обычных сталей под воздействием кавитационных микроударов уплотняется, а достигнув максимального уплотнения, от нее отделяются микрочастицы. Так происходит изнашивание. Новая сталь по мере уплотнения претерпевает внутреннюю перестройку с превращением мягкого аустенита (НВ200) в твердый мартенсит (НВ500). При этом значительная часть энергии внешнего воздействия расходуется не на наклеп поверхности, а на ее структурную перестройку, что существенно отодвигает момент разрушения и увеличивает срок службы.

Освоение производства новой стали шло с трудом. Обратной стороной ее высокой износостойкости были трудности при изготовлении: выплавке, прокатке, сварке. Поэтому Совет Министров СССР был вынужден постановлением № 921 от 30.08.1962 г. предписать различным ведомствам меры по ее более широкому применению. Существенный сдвиг произошел в середине 60-х годов, когда ЦНИИТМАШ (г. Москва) для облицовки лопастей турбин разработал метод сварки взрывом. По истечении более 20 лет, в начале 90-х, его сотрудники с удовлетворением отмечали, что эти, облицованные сталью Богачева (30X10Г10) колеса на гидростанциях России, Узбекистана, Канады продолжают оставаться в эксплуатации. Срок службы лопастей гидротурбин с нескольких месяцев вырос до нескольких десятков лет — поистине блестящий успех.

Сталь Богачева помимо лопастей турбин отлично рекомендовала себя на плунжерах гидропрессов и крановых колесах. Их облицовку выполняют с помощью наплавки порошковой проволокой ПП-25Х9Г9Т. Ее самое первое применение на Каменск-Уральском заводе по обработке цветных металлов увеличило износостойкость в 10 раз, что было отмечено золотой медалью ВДНХ.

д.т.н. В. А. Коротков,
Нижнетагильский филиал УГТУ-УПИ



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», 2004, фото на обложку, дизайн, верстка. г. Екатеринбург. Тел. (343) 213-26-19. www.idlazur.ru
Отпечатано в типографии «Лазурь» (г. Реж). Заказ № . Тираж 1000 экз. Подписано в печать 03.12.04