

И. С. БЕСЕДИН, Л. А. МУГИНШТЕЙН, С. М. ЗАХАРОВ

## Развитие тяжеловесного движения на железных дорогах мира

**Все больше железных дорог в мире применяют технологию тяжеловесного движения (ТД) для перевозки массовых грузов. Эта технология позволяет существенно снизить себестоимость перевозок и одновременно решить проблему пропускной и провозной способности.**

**Материалы 8-й конференции Ассоциации тяжеловесного движения, прошедшей в июне 2005 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия), а также ряда предыдущих конференций позволяют выявить характерные стороны тяжеловесного движения на специализированных линиях, на которых наиболее полно реализуются преимущества этой технологии.**

**В России в ближайшем будущем создать специализированные линии не представляется возможным, однако тяжеловесное движение может быть применено на линиях лимитирующих направлений со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов. В этих условиях тяжеловесное движение имеет свои особенности и требует решения ряда специфических проблем.**

### Ассоциация тяжеловесного движения

Железные дороги, использующие технологию тяжеловесного движения для перевозки массовых грузов, в 1982 г. сочли целесообразным создать неправительственную, некоммерческую Ассоциацию тяжеловесного движения (ИННА). В настоящее время в нее входят 11 железных дорог и организаций из Австралии, Бразилии, Индии, Канады, Китая, России, США, Швеции, Южной Африки, а также Международный союз железных дорог. Задача ассоциации — распространение знаний и технологий в области тяжеловесного движения путем проведения конференций, семинаров по отдельным областям этой проблемы, обобщения мирового опыта.

До 2005 г. членом ассоциации в соответствии с ее уставом могла стать железная дорога, отвечающая по крайней мере двум из следующих критериев:

- регулярная или планируемая эксплуатация маршрутных либо

сочлененных поездов массой не менее 5000 т брутто;

- осуществление или планирование коммерческих грузовых перевозок при их объеме не менее 20 млн. т брутто в год на линии протяженностью не менее 150 км;

- регулярная или планируемая эксплуатация подвижного состава и пути с осевой нагрузкой 25 т или более.

На заседании Совета директоров ИННА в Рио-де-Жанейро в 2005 г. было решено изменить указанные критерии в сторону увеличения массы поезда — до 8000 т, объемов перевозок до 40 млн. т брутто, осевой нагрузки до 27 т с достижением в будущем 30 т. Данные значения критериев касаются только тех железных дорог, которые будут вступать в ассоциацию.

В июне 2005 г. в Рио-де-Жанейро прошла 8-я Международная конференция Ассоциации тяжеловесного движения, в работе которой приняли участие 650 человек из 25 стран. Было сделано 110 докладов.

В рамках конференции проходила выставка железнодорожной

техники, семинар «Железнодорожный бизнес», учебный семинар «Взаимодействие колеса и рельса». Российской делегацией, возглавляемой вице-президентом компании ОАО «РЖД» В. А. Гапановичем, на конференции и семинарах было сделано шесть докладов и сообщений, прочитано две лекции.

### Показатели работы железных дорог с тяжеловесным движением

Центром транспортных технологий (ТТСИ, Pueblo, US) по просьбе Совета директоров ИННА были собраны показатели работы ряда железных дорог, входящих в ассоциацию (табл. 1).

Как видно из табл. 1, наибольшую массу поездов и осевые нагрузки имеют специализированные линии, по которым осуществляется вывоз массовых грузов от мест добычи до портов. Например, на линии от рудника Newman до Порт-Хедленда (Австралия) за 30 лет осевая нагрузка увеличилась с 25 до 37,5 т, а количество вагонов в поезде — со 130 до 312. На этой дороге был установлен мировой рекорд: состав массой 99 тыс. т, состоящий из 682 вагонов, имеющий длину 7,5 км, вели восемь тепловозов, распределенных по длине поезда.

В силу географических особенностей России расстояние от мест добычи угля до портов на направлениях Кузбасс — Северо-Запад, Кузбасс — Находка составляет 4200–5900 км, что во много раз больше протяженности любой из существующих в мире тяжеловесных линий. На железных дорогах этих направлений осуществляется как грузовое, так и пассажирское

Таблица 1

Некоторые показатели работы железных дорог с тяжеловесным движением

Страна	Железные дороги	Тип движения на линии	Длина, км	Грузопоток, млн. т брутто в год	Масса поезда, тыс. т	Осевая нагрузка, т
Австралия	BHP IO	Специализированное	426	71,3	48,0	37,5
Австралия	QR	Смешанное	117	128	5,13	26
Бразилия	CVRD	Специализированное	900	60	12,40	31
Китай	Национальные железные дороги	Dat-Qinh	650	234*	8,33	25
Индия	IR	Смешанное	415	41	5,06	21,8
Россия	РЖД	Смешанное	5900	до 80	6,30	23,5
США	UP	Специализированное	201	376*	16,46	32,4
Швеция	LCAD	Специализированное**	210	13	8,50	31
Швеция	LCAD	Специализированное**	179	24	5,30	25
Южная Африка	Spoornet	Специализированное	864	36	24,50	30

\* Суммарный грузопоток для нескольких параллельных линий.

\*\* С небольшой долей рабочего пассажирского движения.

движение; они проходят по сложным, горным районам, имеют большие уклоны. Создать здесь железные дороги, специализированные на тяжеловесном движении, в ближайшем будущем нереально. Вместе с тем, например, на направлении Кузбасс — Северо-Запад резервы пропускной способности при ежегодном росте объемов перевозок на 7% через 10 лет будут исчерпаны на 67,7% его протяженности. Организация движения тяжеловесных поездов — реальный способ решения проблемы пропускной способности на этих направлениях.

Способ организации тяжеловесного движения в таких условиях имеет ряд отличий от его технологии на специализированных линиях или линиях с малым объемом пассажирского движения; далее он рассмотрен отдельно на примере железных дорог России.

### Совершенствование технических средств на специализированных линиях

#### Вагоны

Для тяжеловесного движения необходимы вагоны повышенной грузоподъемности. Так, на североамериканских железных дорогах используются вагоны грузоподъ-

емностью 120, 130 и 143 т (с учетом массы вагона). Проводится снижение массы тары, в результате чего коэффициент грузоподъемности возрастет с 5,4 до 6,1–6,4.

Ведутся также работы по совершенствованию конструкции вагонов: используются самоустанавливающиеся тележки, проводится улучшение подвешивания, применяются боковые опоры каткового типа постоянного контакта и центральные опоры с улучшенным трением.

Самоустанавливающиеся трехэлементные тележки компании Resko Eng., испытанные в Центре транспортных технологий (ТТЦИ), обладают рядом преимуществ по сравнению с серийными, применяемыми на железных дорогах Северной Америки. По оценке, общая экономия, полученная после пробега вагонов с такими тележками, равного 160 тыс. км, на линии с большим количеством кривых разных радиусов, составила 3260 дол. США. Вклад разных составляющих в общую экономию следующий: снижение износа колес — 7,7% и рельсов — 30,7%; уменьшение расхода топлива в кривых — 26,8%; экономия шпал — 7,9%; снижение массы — 13,8%. На другой линии с меньшим количеством кривых общая экономия значительно ниже — примерно 1700 дол.

Применение тележек грузовых вагонов, оборудованных улучшенным подвешиванием, привело к снижению на 50% боковых сил в кривых, уменьшению на 15% сопротивления в прямых и на 50% (суммарно) в кривых, ограничению вертикального ускорения при качке или галопировании до 1,0g. Тележки с таким подвешиванием обладают высокой устойчивостью при скорости 70 км/ч. Технико-экономический расчет, выполненный для типичных угольных маршрутов восточного направления Северной Америки применительно к одной тележке с пробегом 180 тыс. км, показал, что общая экономия составила 1100 дол. Она складывалась из следующих составляющих, дол. США:

- снижение износа рельсов..... 400
- уменьшение расхода топлива..... 270
- снижение количества заменяемых шпал..... 130
- уменьшение износа колес ..... 100
- снижение массы тележек..... 150
- уменьшение расходов на ремонт тележки ..... 50

Совершенствование материала колес вагонов достигается путем повышения чистоты стали, применения термообработки, использования колес из микролегированной стали, а также стали, имеющей большую сопротивляемость термомеханическим повреждениям.

Планируются работы по созданию Smart-вагонов, т. е. вагонов, на

которых используется самоконтролирующая, анализирующая, оповещающая техника, позволяющая оценить состояние вагона, прогнозировать его ресурс и информировать пользователя о необходимости технического обслуживания.

### Рельсовый путь для тяжеловесного движения

На линиях с тяжеловесным движением применяются рельсы с погонной массой 60–68 кг/м, шпалы железобетонные и деревянные, позволяющие поддерживать зазор в колее в пределах  $\pm 12$  мм, упругие скрепления и рельсовые подкладки, воспринимающие вертикальные и продольные тяговые и тормозные силы, гранитный балласт высокой плотности. Подшпальное основание усиливают геотекстилем и гранулированным слоем. Создают полноценную дренажную систему и земляное полотно, не имеющее слабых мест. В стадии исследования и испытаний находят альтернативные конструкции шпальной решетки: рамная, лежневая, плиточная.

**Рельсы.** Изготовители рельсов (компания Voestalpine) предлагают выбирать их для тяжеловесного движения исходя из осевой нагрузки вагонов и радиусов кривых (рис. 1). Имеются четыре основных типа рельсов — от стандартных неупрочненных твердостью НВ 260 до заэвтектоидных твердостью НВ 400 повышенной чистоты, предлагаемых для применения при осевых нагрузках 30–40 т и радиусах кривых до 800 м. Разрабатываются и проверяются в эксплуатации бейнитные рельсы, обладающие более высокой прочностью (предел выносливости 1430–1490 МПа) и сопротивляемостью контактно-усталостным повреждениям, а также рельсы более тяжелых типов (погонная масса 68 и 70 кг/м).

Продолжаются работы по поиску лучших областей применения бейнитных рельсов, обладающих меньшей чувствительностью к термоме-

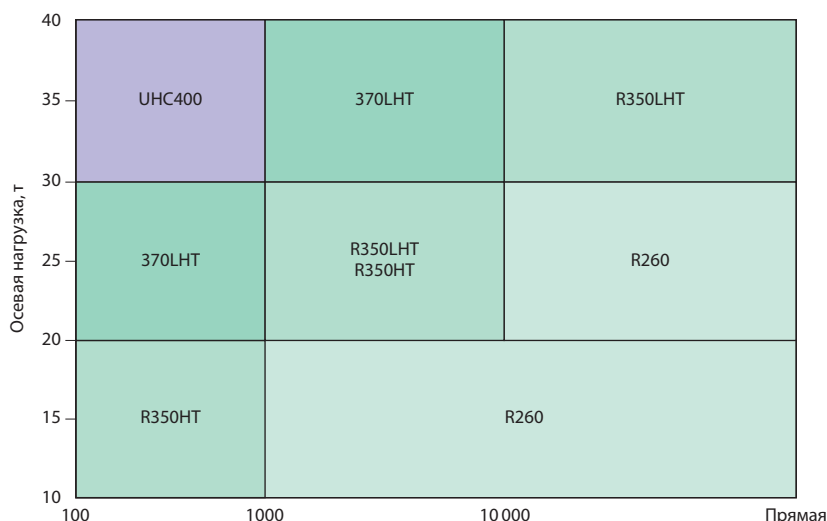


Рис. 1. К выбору рельсов:

УНС 400 — заэвтектоидные рельсы; 370LHT — легированные, с упрочненной головкой; R350LHT и R350HT — термоупрочненные; R260 — стандартные

ханическим повреждением и лучшей живучестью.

Стратегия выбора рельсов для Российских железных дорог отличается от предложенной на рис. 1 тем, что вместо стандартных рельсов R260 предлагаются термоупрочненные (типа Т1 по ГОСТ Р 51685–2000).

**Сварной стык.** Одна из проблем при больших осевых нагрузках — повышенный выход из строя рельсов в зоне сварных стыков (рис. 2). Так, за период 2003–2004 гг. на линиях австралийской компании ВНР Ю, где осевая нагрузка составляет 37,5 т, наблюдалось следующее распределение дефектов рельсов: около 33 % — дефекты сварного шва, 31 % — горизонтальные трещины в головке рельса, 22 % — поперечные трещины в головке рельса, 8 % — горизонтальные трещины в шейке рельса.

Комплексное решение этой проблемы сводится к уменьшению числа сварных стыков, применению более совершенных методов контроля качества сварки рельсов в пути и состояния сварных стыков.

**Возможность применения осевой нагрузки 40 т.** На основе анализа состояния рельсов с погонной массой 68 кг/м при осевой нагрузке 37,5 т после пропуска 95 млн. т нетто

груза сделан вывод о возможности их работы при осевой нагрузке 40 т и пропуске 145 млн. т нетто груза при условии повышения погонной массы до 70 кг/м, увеличения высоты головки рельса, применения заэвтектоидных рельсов твердостью НВ 400. Кроме того, в этом случае необходимо совершенствовать технологию алюмотермитной сварки стыков, методы контроля, уточнить его периодичность, оптимизировать технологию шлифования рельсов.

### Управление состоянием подвижного состава и пути

*Концепция напряженного состояния подвижного состава и пути*

Центром транспортных технологий США для оценки состояния железных дорог была предложена



Рис. 2. Излом рельса в зоне сварного стыка

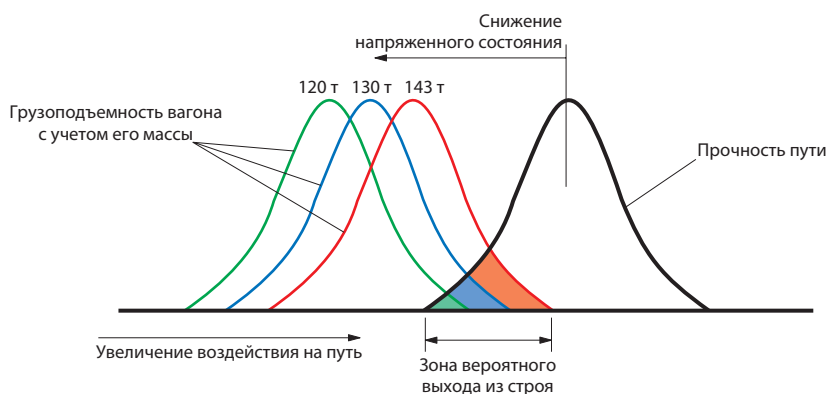


Рис. 3. Схема, поясняющая концепцию напряженного состояния подвижного состава и пути

концепция напряженного состояния пути и подвижного состава. В ней делается акцент на выявлении зон, в которых сила воздействия подвижного состава на путь превышает прочность пути (рис. 3). Состояние экипажей и пути оценивается с помощью путевых и бортовых систем мониторинга.

К мероприятиям по снижению напряженного состояния относятся следующие:

- ускоренное внедрение улучшенных тележек;
- применение модификаторов трения на поверхностях катания;
- использование более надежных материалов и технологий для смазывания центральной опоры тележек

**Расчетная экономия в случае выполнения ряда мероприятий на железных дорогах Северной Америки (за 15-летний период)**

Мероприятия	Экономический эффект, млн. дол. США
Применение улучшенных тележек	350
Улучшение содержания профилей рельсов	135
Внедрение сети детекторов	130
Улучшение содержания профилей колес	50
Улучшение условий работы центральной опоры тележки	30
Применение улучшенных боковых опор вагонов	25
Определение состояния пути, основанное на реакции экипажа	20

- поддержание требуемых профилей рельсов и колес;
- ускоренное внедрение сети детекторов для определения состояния подвижного состава;
- внедрение процедуры определения геометрии пути, основанной на реакции экипажа;
- улучшение содержания тележек;
- применение улучшенных боковых опор.

#### Средства мониторинга состояния пути

Для мониторинга состояния пути применяют нагрузочный экипаж TLV, созданный в TTCI, а также специальные экипажи для измерения вертикальной жесткости пути и его компонентов. Полученные данные используют для определения реакции системы экипаж — путь на динамические возмущения. Создана система SRC (США), позволяющая производить ультразвуковую диагностику рельсов при скорости 60–80 км/ч.

В Австралии для оценки состояния пути обычные грузовые вагоны оборудуют специальными системами ЮС.

Для оценки состояния балласта и земляного полотна применяют проникающие радары, а для оценки состояния шпал созданы новые современные устройства.

Используя результаты проверок, выполненных ранее разработанными детекторами дефектных ко-

лес при разных браковочных значениях ударной нагрузки, выполняют экономические оценки.

#### Шлифование рельсов и стрелочных переводов

В процессе планирования целесообразно выполнить технико-экономическую оценку проведения шлифования при разных временных интервалах и параметрах. Необходимо также предварительно провести измерение профилей, создать базу данных по профилям колес и рельсов, оценить контактные напряжения для разных их сочетаний по предельным значениям.

Используются три основные стратегии шлифования: корректирующая, профилактическая и поэтапно профилактическая.

Для оценки разных вариантов шлифования на железорудной линии Malmbanan (Швеция) применяли модели, позволяющие оценить годовую стоимость содержания разных участков пути, на которых проводилось шлифование после пропуска 12 и 23 млн. т брутто. На этих участках проводили сравнение рельсов UIC60, имеющих разные профили, с рельсами BV50, уложенными на линии. Было установлено, что после пропуска тоннажа 23 млн. т брутто по рельсам UIC60 общие годовые затраты на их шлифование и замену на 8,2–12,7% ниже, чем при рельсах, применяемых в настоящее время. Если же шлифование выполнять после пропуска 12 млн. т брутто, то годовые затраты на него увеличатся на 13,3%. Всего же на шлифование и замену рельсов, если интервал между шлифованиями соответствует пропуску тоннажа 23 млн. т брутто, затрачивается около 2 млн. дол.

До и после шлифования стрелочных переводов для установления параметров этого процесса проводится моделирование сил, положения точек контакта, процесса изнашивания и накопления контактно-усталостных повреждений

при прохождении колесами стрелочного перевода. Создается специализированный поезд для шлифования стрелочных переводов, позволяющий осуществлять профильное шлифование.

#### Контроль за состоянием экипажа

Для оценки состояния экипажа применяются разные системы. В частности, для определения состояния буксовых подшипников созданы, испытаны и начинают использоваться акустические системы (рис. 4). Проверка работы этих систем в реальных условиях показала, что они обладают высокой степенью надежности по обнаружению дефектных подшипников.

Продолжаются разработки устройств для оценки состояния вагонных тележек по результатам измерений сил и углов набегания колеса на рельс. Измерения выполняются разными методами: с помощью тензодатчиков, установленных на рельсах, оптических систем, расположенных на разных участках пути, и др. Для выявления «плохих» тележек необходимо выработать адекватные статистические критерии, обеспечивающие требуемую надежность отбора. Это в свою очередь зависит от примененного метода, в значительной мере определяющего воспроизводимость результатов измерений. Кроме того, крайне желательно на основе данных измерений и принятых критериев устанавливать причины, по которым ухудшилось состояние тележек.

#### Экономический эффект применения систем мониторинга состояния подвижного состава и пути

Детекторы дефектных колес (WILD), применяемые на железных дорогах США, позволяют изъять из эксплуатации дефектные колеса, которые оказывают повышенное ударное воздействие на путь и

подвижной состав; полученный при этом экономический эффект составляет 40 млн. дол. в год.

Система мониторинга тормозных колодок, контролирующая приложение нагрузок и отпуск тормозных колодок, дает экономический эффект 4 млн. дол. в год, обусловленный снижением поврежденной колес вследствие залипания колодок, и 7,5 млн. дол., связанный с уменьшением числа излома колес в результате их повышенного нагрева.

Системы мониторинга профилей колес, позволяющие прогнозировать износ и оптимизировать планирование текущих ремонтов, в течение 20 лет могут обеспечить экономический эффект, равный 200 млн. дол.

#### Управление трением в системе колесо — рельс

Технология управления трением в контакте колесо — рельс развивается по двум основным направлениям: совершенствование уже применяемых систем лубрикации и нанесение модификатора трения на поверхность катания рельса. Для лубрикации применяют специальные автономные экипажи, а также путевые лубрикатеры, наносящие смазку на боковую поверхность головки рельса; они обеспечивают коэффициент трения менее 0,15. При лубрикации необходимо следить за тем, чтобы разность между коэффициентами трения наружного и внутреннего рельса не превышала 0,1; иначе увеличатся боковые силы.



Рис. 4. Акустическая система для оценки состояния буксовых подшипников

В 2004 – 2005 гг. была выполнена оценка введения лубрикации и шлифования рельсов на железной дороге EFVM (Бразилия). При этом использовали разработанные в ТТСИ модели динамики экипажей, оценки контактных напряжений и экономическую. С их помощью сравнивали различные варианты лубрикации и шлифования рельсов на конкретной линии EFVM протяженностью 540 км. Тяжеловесные поезда состояли из 120 вагонов. Годовой тоннаж, пропущенный по двум параллельным линиям, составлял 130 млн. т брутто. Техно-экономические расчеты показали, что при совместном применении лубрикации и шлифования достигается экономия около 1,05 млн. дол. в результате снижения на 24 % количества рельсов, заменяемых по износу и контактно-усталостным повреждениям, а также сокращения расхода топлива.

Другой способ управления трением — нанесение на поверхность катания модификатора трения фирмы Kelsan в виде тонкого слоя, поддерживающего коэффициент трения на уровне 0,35 и ведущего к снижению сопротивления движению вагонов. Одновременно уменьшаются боковые силы и уровень шума, отсутствует вредное влияние на торможение. Аппаратура для нанесения модификатора трения устанавливается на локомотиве (рис. 5). Имеется опыт применения путевых систем нанесения модификаторов трения.

Трудности с внедрением такой аппаратуры связаны со сложностью ее настройки, необходимостью обучения персонала. Для получения ощутимых результатов требуется оборудовать устройствами нанесения модификаторов трения большинство локомотивов на дороге.

В результате лубрикации боковой поверхности головки рельсов и поддержания заданной силы трения на поверхности катания достигается экономия топлива, снижают-

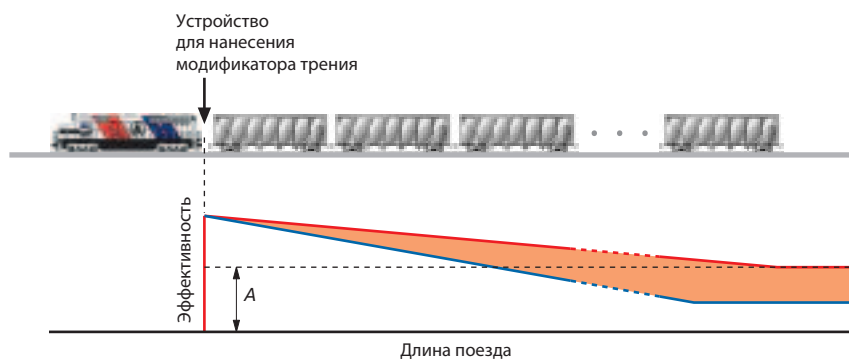


Рис. 5. Схема нанесения модификатора трения с помощью оборудования, установленного на локомотиве:

А — уровень тяговой способности, обусловленный предыдущим поездом

ся износы колес и рельсов, уменьшается риск сходов.

Общее снижение расхода топлива, получаемое при управлении трением, составляет от 5 до 10 %, что превышает 240 млн. дол. США в год. Однако для реализации этой возможности необходимо иметь хорошо продуманный план внедрения, обеспечить надежную работу всех систем, а стоимость смазочных материалов, оборудования и его обслуживания должна быть меньше достигаемой экономии.

Железная дорога Canadian Pacific протяженностью 1207 км перевозит уголь поездами массой 13,25 тыс. т; годовой объем перевозок равен 78 млн. т брутто. На дороге 46 % протяженности составляют кривые радиусом менее 3500 м, 10 % протяженности — кривые радиусом менее 312 м. Минимальный радиус кривой равен 160 м. Температу-

ра колеблется в диапазоне от +43 до -34 °С. Эффективность управления трением определяли на наиболее сложном отделении дороги, где имеются кривые радиусом от 160 до 436 м.

В результате применения технологии управления трением было достигнуто следующее:

- снижен вертикальный износ наружного рельса на 50 % и внутреннего на 57 %;
- устранен боковой износ головок рельсов;
- уменьшены боковые силы в среднем на 42 %;
- расход топлива, обусловленный поддержанием заданного коэффициента трения на поверхности катания, снизился на 1–3 % общего расхода топлива на данном отделении.

Эффект от применения модификаторов трения на поверхнос-

ти катания для линий, имеющих разный процент кривых, был рассчитан канадским исследовательским центром NRC-CSTT. Расчетная экономия топлива составила от 155 до 744 л/млн. т-миль (от 2 до 12 % общей экономии) в зависимости от протяженности кривых на данном участке (от 25 до 41 % его длины). Снижение выбросов CO<sub>2</sub>, определяющих парниковый эффект, для тех же условий при этом составило от 0,3 до 2 т/млн. т-миль.

### Стратегия управления системой колесо — рельс и напряженным состоянием системы экипаж — путь

Для управления напряженным состоянием системы экипаж — путь осуществляется интеграция созданных ранее информационных и измерительных систем, таких, как система идентификации подвижного состава (АVI), путевые системы для мониторинга состояния подвижного состава и пути (рис. 6). Вся информация передается в Центр транспортных технологий (ТТСИ), где имеется система InteRRIS, осуществляющая накопление данных, их анализ и прогнозирование. Эта система также передает предупреждения о приближении к пределам или выходе за пределы норм перевозчикам и владельцам подвижного состава.

Для управления системой колесо — рельс необходимо определить реальные условия работы с помощью путевых и бортовых систем мониторинга (рис. 7). Помимо этого, для линии, на которой применяется тяжеловесное движение, должны быть созданы база данных по профилям колес и рельсов и экспертная система, анализирующая их совместимость. Экспертная система сможет давать рекомендации о необходимости совместного применения технологий лубрикации и шлифования.

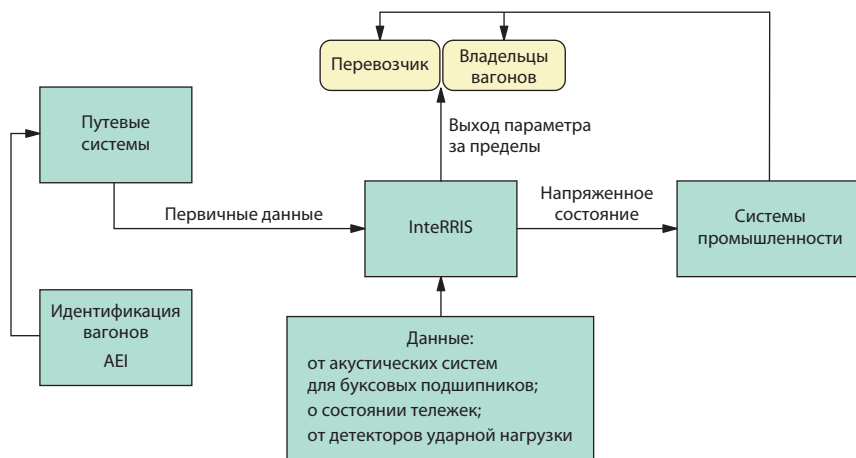


Рис. 6. Интеграция различных схем управления напряженным состоянием системы экипаж — путь

**Управление движением поездов**

В ряде стран ведутся разработки, направленные на создание комплексного управления поездами (в США проекты FRA, AAR, TTCI) на базе современных систем связи. Так, разрабатывается система управления безопасностью движения поездов с помощью радиосвязи при условии, что выполняется заданный уровень авторизации поезда (Spoornet, ЮАР); применяется управление поездами на базе их позиционирования, обеспечиваемого глобальной навигационной спутниковой связью (GPSS, Европа); осуществляется совершенствование электронной системы управления тормозами, в которую интегрировано управление по проводам распределенной тягой; при этом линия ЕСП используется как коммуникационная ЕСП/WDP (NYAB, США). Такие системы повышают безопасность движения; при их использовании сокращается тормозной путь, снижаются продольные силы в поезде.

Разработана и внедрена система помощи машинисту, позволяющая оптимизировать управление поездом (LEADER). Ведется совершенствование систем управления распределенной тягой (LOCOTROL).

Система FreightMiser, установленная в кабине машиниста, дает машинисту совет, как вести длинный поезд, чтобы обеспечить экономию топлива. Испытания системы в Австралии показали, что таким способом можно сэкономить в среднем 10 % топлива.

Оценка эффекта от применения электронных систем управления была выполнена в ЮАР и включала следующие составляющие, приводящие к экономии средств, %:

уменьшение числа вагонов .....	39
предотвращение сходов .....	14
сокращение парка локомотивов .....	14
снижение расходов на обслуживание и ремонт подвижного состава .....	10
экономия расхода энергии .....	6
уменьшение задержек поездов .....	6
снижение затрат на обслуживание пути...	2

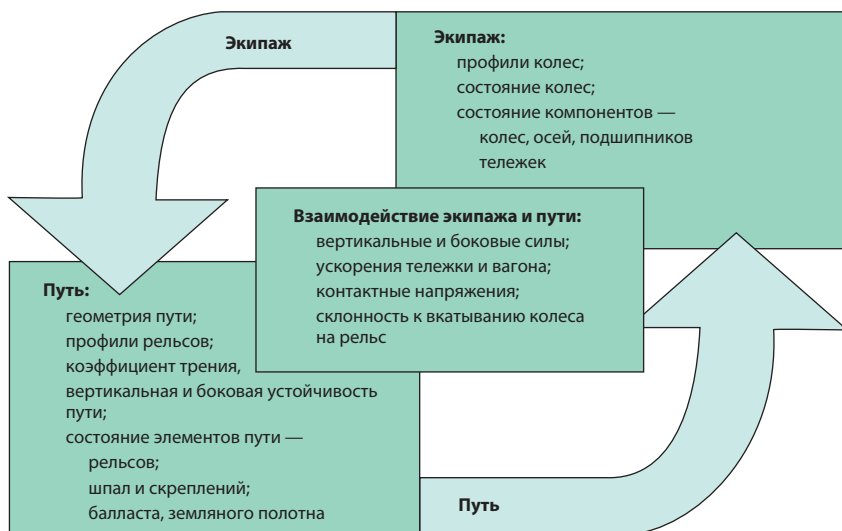


Рис. 7. Характеристики, определяемые с помощью бортовых и путевых устройств экипажа и пути, а также параметры их взаимодействия

**Обеспечение безопасности**

В ряде стран разработана и применена интегрированная система обеспечения безопасности, ведется переход на новые системы управления движением поездов (ПТС). Кроме того, осуществляется анализ рисков по всем основным составляющим технологии тяжеловесного движения и принимаются меры по снижению рисков, определяют условия и прогноз вероятности возникновения аварий. Для предотвращения возникновения условий, способствующих сходу поездов, используются бортовые и путевые системы мониторинга состояния пути и подвижного состава.

**Технико-экономическая оценка применения технологии тяжеловесного движения на специализированных линиях**

*Швеция.* В Швеции имеется несколько линий, на которых осуществляется тяжеловесное движение. Перед началом применения этой технологии были проведены обстоятельные технико-экономические исследования по всем аспектам, которые она затрагивала.

Так, в результате применения тяжеловесного движения на железнодорожной линии LCAB/MTAB (север

Швеции) протяженностью 520 км осевая нагрузка увеличилась с 25 до 30 т, скорость движения поездов — с 50 до 60 км/ч, длина поезда — с 470 до 740 м.

Для обеспечения работы линии в условиях тяжеловесного движения потребовалось усилить и модернизировать мосты, путь и его основание, водоотводы, энергоснабжение, сортировочные станции.

Инвестиции, выделенные на усиление инфраструктуры этой линии, составили 88 млн. евро и по элементам инфраструктуры распределились следующим образом, %:

мосты .....	10
путь .....	8
основание пути .....	40
система энергоснабжения .....	25
сортировочные станции .....	15

В результате введения тяжеловесного движения с параметрами, указанными выше, расход энергии снизился на 15 %, нагрузочная способность увеличилась на 25 %, число локомотивов уменьшилось на 50 %, число вагонов — на 35 %.

Общие затраты, определенные технико-экономическим анализом до и после введения данной технологии, приблизительно совпали, однако распределение по статьям затрат оказалось несколько иным.

Таблица 2

Необходимое число тяговых осей для поездов различной массы при изменении расчетных подъемов

Масса поезда, т	Необходимое число тяговых осей электровоза переменного тока при $i_p$ , ‰						
	4	6	7	8	9	10	11
4 000	3,7	5,1	5,8	7,2	8,3	9,1	10,2
5 000	4,7	6,5	7,3	9,2	10,6	11,6	12,9
6 000	5,5	7,6	8,8	10,8	12,5	13,7	15,2
7 000	6,4	8,8	10,2	12,7	14,7	16,3	17,8
8 000	7,3	10,2	11,6	14,4	16,7	18,3	21,0
10 000	9,2	12,8	14,5	17,8	20,8	22,8	25,1

*Австралия.* Более высокие осевые нагрузки всегда признавались одним из основных путей улучшения эксплуатационных показателей на железных дорогах Австралии.

Наиболее ощутимые результаты достигнуты на железной дороге ВНР Ю. Одно из существенных достижений — уменьшение расхода топлива за период 1990–2005 гг. с 1,3 до 0,68 л на 1 т перевезенного груза. Это было достигнуто в результате использования экономичных локомотивов, повышения осевых нагрузок, улучшения аэродинамики вагонов для перевозки руды, изменения профилей колес и рельсов. Сокращение оборота вагонов и увеличение длины поездов позволили повысить провозную способность железной дороги.

Благодаря постоянному повышению эффективности перевозок удельные эксплуатационные расходы в расчете на 1 т·км нетто с 1994 г. снизились в 2 раза. Совершенствование технологии тяжеловесного движения привело к существенно повышению производительности труда: с 0,126 млн. т на работника в 1996 г. до 0,353 млн. т в 2005 г.

Последовательно внедренные комплексы мер позволили повысить пробег колес с 340 тыс. км в 1980 г. до 1,9 млн. км в 2005 г., а тоннаж, пропущенный по рельсам, — с 350 млн. до 1800 млн. т брутто за тот же период. Указанные результаты были достигнуты при повышении осевой нагрузки с 25 до 37,5 т и массы поездов до 48 тыс. т.

### Организация тяжеловесного движения на железных дорогах России

Как указывалось выше, технология тяжеловесного движения рассматривается как один из способов увеличения пропускной и провозной способности лимитирующих направлений Российских железных дорог при разных темпах роста объема перевозок в ближайшие 10 лет. Этот способ — основа проекта «Повышение провозной способности направлений на сети железных дорог», предусматривающего определение параметров вагонопотоков, организацию пропуска поездов повышенной массы и длины, выбор унифицированной массы и длины поездов, тяговое обеспечение таких поездов.

Выбор унифицированной массы и длины грузовых поездов, обращающихся на лимитирующих направлениях, представляет собой технико-экономическую задачу, поскольку с увеличением массы и длины поезда снижаются эксплуатационные расходы, но больше средств требуется для усиления систем электроснабжения и других элементов инфраструктуры.

Наиболее реальным на ближайшее время оказывается решение об использовании на этих направлениях грузовых поездов, состоящих из 71 условного вагона, массой 6000–6300 т при длине станционных путей 1050 м.

Следующей возможностью является увеличение осевой нагруз-

ки до 25 т/ось и погонной до 9,5 т/м, что достигается применением для перевозки угля полувагонов по разработанному в 1982 г. габариту подвижного состава Тпр: по нему вагоны шире и выше, чем соответствующие габариту 1-Т. При длине станционных путей 1050 м могут быть сформированы составы из 86 вагонов массой 8600 т. Техничко-экономические расчеты показывают, что в случае применения таких полувагонов на направлениях Кузбасс — Северо-Запад, Кузбасс — Дальний Восток сокращается их требуемое количество, уменьшаются затраты на закупку подвижного состава, снижается срок окупаемости капитальных вложений на 2–3 года.

Введение в обращение грузовых поездов, длина которых превышает длину станционных путей, приводит к необходимости организации их безостановочного пропуска или реформирования на промежуточных станциях либо к проведению специальных маневров.

Для организации движения поездов повышенной массы и длины необходимы меры по усилению или реконструкции систем электроснабжения. Стоимость таких мероприятий на конкретном участке существенно зависит от межпоездных интервалов и масс поездов: необходимо обновлять контактную сеть, переоборудовать и сооружать дополнительные тяговые подстанции, а также повышать надежность рельсовых цепей и других устройств СЦБ.

Проблема повышения массы поезда связана с ограничениями тяговых возможностей локомотивов, поскольку локомотивы часто работают на пределе использования силы тяги по сцеплению. На тяжелых элементах профиля, когда режим движения тяжеловесного поезда не соответствует расчетному, повышаются повреждаемость узлов колесно-моторного блока, износ поверхности катания колес и рельсов, засорение балластного слоя песком. В этих услови-



Таблица 3

Приведенные затраты по вариантам масс поездов при 3 %-ном годовом росте вагонопотоков за период 2005 – 2020 гг.

Статьи	Приведенные затраты, млн. руб., при массе поездов, тыс. т			
	6	8	9	12
Экономия эксплуатационных расходов	9 533	14 380	18 868	10 824
Капитальные вложения, необходимые для реализации варианта с учетом дисконтирования	3 700	15 288	19 957	8 578
Экономия (+) или перерасход (-) приведенных затрат	+5 833	-908	-1 089	+2 246

ях возможны остановки поездов на перегонах, в результате чего потери провозной и пропускной способности оказываются большими предполагаемого выигрыша от предельного использования локомотивов. Зависимости различных затрат от нормы массы поезда приведены на рис. 8.

Можно выделить четыре режима работы — так называемые экономный, рациональный, интенсивный и недопустимый.

Созданные модели и программные средства, а также оборудование, используемое при испытаниях, позволяют выявлять зоны, в которых норма массы поезда оптимальна, выбирать рациональные режимы работы, избегать интенсивных и исключать недопустимые режимы.

Существуют зависимости, пользуясь которыми можно установить технические ограничения на силу тяги локомотива с головы поезда, в частности исходя из прочности автосцепки при движении и трогании в прямых и кривых участках пути. Тяговые расчеты дают возможность определить необходимое количество тяговых осей электровозов переменного тока для поездов массой от 4000 до 10 000 т при крутизне  $i_p$  уклонов от 4 до 11 ‰ (табл. 2).

Сравнивая получаемую силу тяги с ее допустимыми значениями, можно установить, при каком числе тяговых осей тяга с головы опасна по условиям прочности автосцепки и следует применять распределенную тягу.

Для реализации различных схем тягового обеспечения созданы специальные технические средства, а именно:

- телеметрическая система многих единиц СМЕТ для схемы формирования поезда ЛЛС (Л — локомотив, С — состав);
- комплексная система управления тормозами поезда «Консул-Т» для схем ЛЛСЛС и ЛССЛ;
- устройство контроля целостности тормозной магистрали по радиоканалу СУТП для схем формирования ЛС и ЛЛСЛС;
- интеллектуальная система автоматического управления тягой и торможением по радиоканалу ИСАВП-РТ для схем формирования ЛЛСЛС, ЛССЛ и ЛЛСЛСЛС.

Необходимым условием организации тяжеловесного движения является подготовка путевого хозяйства и его инфраструктуры. Осуществляемый с 1994 г. переход на новую систему ведения путевого хозяйства предусматривает применение путевой техники нового поколения, усиление земляного полотна, расширение полигона укладки пути на железобетонных шпалах и другие меры,

что обеспечивает возможность повышения массы поездов. Планируется продолжить наращивание темпов укладки железобетонного подрельсового основания и оснащения его устройствами, обеспечивающими длительную стабильность пути.

Однако существует несколько проблем, требующих решения. Одна из них связана с увеличением продольных и боковых сил в кривых участках пути, на подъемах и спусках, а также на участках набора скорости при входе и выходе со станций. Другой проблемой является стабильность пути на тех участках (их около 5 %) движения поездов повышенной массы и длины, где еще остались деревянные шпалы, особенно в кривых малых радиусов на подъемах и спусках. Для усиления пути применяют скрепления специальной конструкции, машинную выправку пути на отдельных участках, строго соблюдают сроки ремонта, обеспечивающие выправку пути, осуществля-



Рис. 8. Оптимизация нормы массы поезда, приходящейся на один локомотив

ют глубокую очистку земляного полотна от песка.

Серьезной проблемой является приведение возвышения наружных рельсов в кривых в соответствие с реализуемыми скоростями движения грузовых поездов. Основные возможности повышения эффективности совместного обращения грузовых и пассажирских поездов связаны с увеличением реализуемых скоростей движения пассажирских поездов до 140 км/ч и грузовых до 100 – 120 км/ч.

В рамках проекта «Повышение провозной способности направлений на сети железных дорог» было выполнено сравнение различных вариантов освоения грузопотоков на линии Кузбасс — Санкт-Петербург с помощью тяжеловесного движения. Сравнение выполнялось по отношению к варианту, в котором масса поезда составила 4 тыс. т, а длина — 57 вагонов. Рассматривались варианты с массой поездов 6, 8, 9 и 12 тыс. т (соединенные поезда). Как видно из табл. 3, оптимальными являются варианты с массой поездов 6 тыс. и 12 тыс. т (сдвоенные поезда).

Практическая реализация проекта «Повышение провозной способности направлений на сети железных дорог» основывается на научном, технико-экономическом, технологическом и информационном обеспечении.

## Выводы и рекомендации

Длительный опыт применения технологии тяжеловесного движения на специализированных линиях показывает, что она является наиболее экономичной и конкурентоспособной при перевозке

массовых грузов. Наибольшие показатели по массе поездов в регулярном сообщении (до 48 тыс. т) и осевым нагрузкам (до 37,5 т) имеют специализированные линии длиной до 1000 км, по которым осуществляется транспортировка массовых грузов от мест их добычи до мест перегрузки.

Организация движения поездов повышенной массы и длины является на ближайшие 10 лет реальным инструментом решения проблемы провозной способности на направлениях перевозки массовых грузов на Российских железных дорогах.

Многолетний опыт применения тяжеловесного движения позволяет дать следующие рекомендации по использованию этой технологии:

- переход на тяжеловесное движение необходимо осуществлять не сразу по всем намеченным линиям, а последовательно — линия за линией, учитывая опыт, полученный на предыдущих линиях;
- учитывать, что экономические показатели, получаемые от введения тяжеловесного движения, зависят от конкретных условий дороги и областей использования этой технологии;
- параметры поездов для тяжеловесного движения следует выбирать на основе технико-экономического анализа;
- требуется изменить нормы и правила эксплуатации по всем элементам подвижного состава, пути и инфраструктуры;
- взаимодействующие элементы колесо и рельс при тяжеловесном движении следует рассматривать как систему;
- необходимо контролировать напряженное состояние системы экипаж — путь;

- принять к сведению, что осевая нагрузка 40 т и более технически возможна;

- подвижной состав и путь необходимо создавать, рассчитывая на повышенную нагруженность;

- исходить из того, что управление движением поездов на основе современных систем связи стало реальностью;

- до введения тяжеловесного движения требуется провести предварительные исследования по оценке скорости деградации элементов инфраструктуры;

- необходимо измерять показатели работы компонентов системы с тем, чтобы управлять ими;

- учитывать, что безопасность движения является приоритетом и обеспечивается введением интегрированной системы; необходимо оценивать воздействие данной технологии на окружающую среду.

В области тяжеловесного движения исследования необходимо вести по следующим направлениям: безопасность; развитие систем управления поездами; снижение воздействия на окружающую среду; альтернативное топливо; «интеллектуальные» железные дороги; новые вагоны, а также smart-вагоны; система колесо — рельс; способы стабилизации «слабых» участков пути; методы мониторинга и оценки состояния подвижного состава и пути.

В статье использованы материалы и некоторые рисунки из трудов международной конференции Ассоциации тяжеловесного движения, проходившей в Рио-де-Жанейро в 2005 г., в частности из докладов следующих авторов: Gregor Girsch, Norbert Frank, Peter Pointer; John Samuels, Semih F. Kaley, Darrel Ilier; Richard Reiff; Peter Stroba et al.; John Cotter.; Dale Coleman.; Michael Hawthorne; Jim Lundgren.; Fred Carison and Kenneth Rownd; Dale Coleman.