



РЖД

- МАТРИЦА РИСКОВ ИЗЛОМОВ РЕЛЬСОВ
- О ДЫШАЩИХ КОНЦАХ ПЛЕТЕЙ
- ОЦЕНКА СИСТЕМЫ РЕЛЬСОВОГО ХОЗЯЙСТВА
- БОКОВОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПУТЕЙ
- БАЛКИ С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ
- ИСТОРИЯ КИПАРИСОВСКОГО ТОННЕЛЯ

путь

и путевое хозяйство

1 • 2025

НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНЫЙ,
ПРОИЗВОДСТВЕННО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

С Новым годом!



ИСТОРИЯ КИПАРИСОВСКОГО ТОННЕЛЯ

На 9236-м километре Транссибирской магистрали (Дальневосточная железная дорога), через отроги хребта Сихотэ-Алинь проходит Кипарисовский тоннель (Приморский край), который имеет долгую и интересную историю.

Первый проект тоннеля был составлен в 1887 г., когда на Дальний Восток прибыла первая изыскательская экспедиция во главе с инженером путей сообщения А.И. Урсати, которой предстояло провести разведку трассы железнодорожной линии от Владивостока до судоходной части реки Уссури (рис. 1). Намеченная к по-

стройке Южно-Уссурийская магистраль (1891–1897) должна была пройти по относительно равнинной местности, кроме двух коротких участков, пересекающих отроги Сихотэ-Алинского хребта. Один из этих отрогов получил название «Кипарисовский перевал» (по фамилии инженера-изыскателя А.Ф. Кипарисова, чьим именем впоследствии назвали близлежащую станцию). При составлении проекта дороги на 49-й версте от Владивостока Кипарисовский перевал было решено пересечь тоннелем длиной в 170 саженей (360 м) [1].

После начала строительства Уссурийской дороги в первоначальный проект внесли изменения: от постройки тоннеля отказались, так как на месте не оказалось опытных специалистов и необходимого оборудования. Поэтому перевал пересекли глубокой выемкой с кривыми малого радиуса в 120 саж. (250 м) и уклоном в 0,0165, вместо проектного 0,008 [2]. В результате после сдачи дороги в эксплуатацию поезда на этом участке ходили с применением двойной тяги, что часто приводило к различным авариям, а иногда и крушениям. Вот что писала газета «Приамурье» об одном из таких случаев: «На перегоне Кипарисово–Надеждинская, представляющем из себя перевал с предельными уклонами и закруглениями, в ночь на 27 сентября 1913 г. произошло крушение товарного поезда № 274. Разбито 14 товарных вагонов, убит смазчик, ранен сильно один кондуктор, два кондуктора слабо ранены. На место происшествия выехали прокурор, следователь, железнодорожные власти, представители администрации. У убитого смазчика осталась жена и трое детей» [3].

После окончания русско-японской войны (1904–1905 гг.), когда Россия лишилась выхода к портам Дальний (сейчас Далянь, КНР) и Порт-Артур на Желтом море, убыточную казенную Уссурийскую дорогу передали в 1906 г. в аренду Обществу Китайско-Восточной железной дороги (КВЖД). Таким образом, огромный поток грузов из быстро развивающейся Маньчжурии (Северный Китай) устремился во Владивосток, в связи с чем встал вопрос о реконструкции Уссурийской дороги, пришедшей в полный упадок и неправлявшейся с ростом перевозок. Одним из наиболее проблемных мест оказался Кипарисовский перевал, расположенный на самом грунтованном участке между городами Владивосток и Никольск-Уссурийск (сейчас г. Уссурийск).

После проведенных в 1909–1912 гг. изысканий на рассмотрение комиссии были представлены два варианта перехода через перевал (рис. 2). В первом случае его предстояло обойти, что существенно удлиняло линию (на 11 км), а во втором – пересечь с помощью тоннеля. Предпочтение отдали второму варианту, после чего приступили к проектированию самого тоннеля [4].

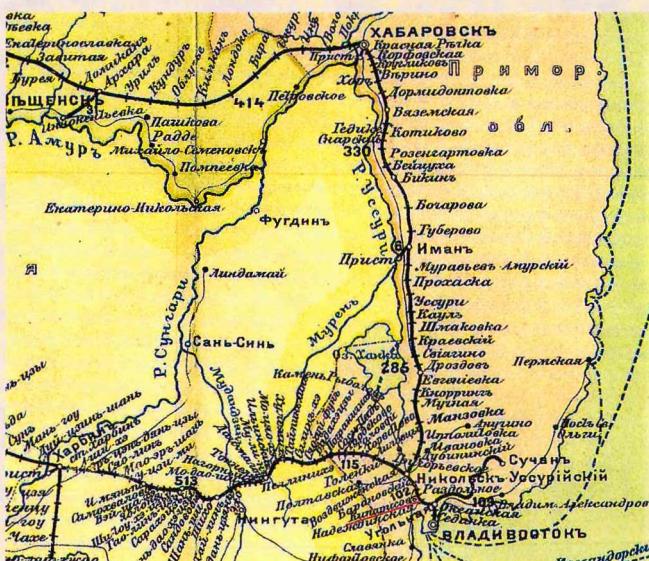


Рис. 1. Карта Китайско-Восточной и Уссурийской железных дорог с обозначением станции Кипарисово (на участке Владивосток–Никольск–Уссурийск)

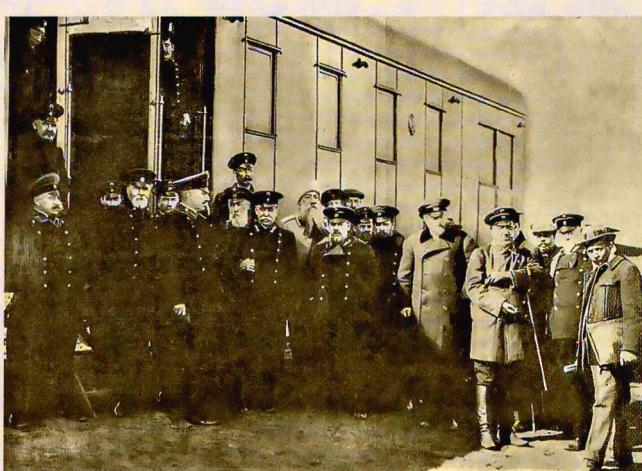


Рис. 2. Осмотр комиссией тоннельных работ на Кипарисовском перевале. В центре (в военной шинели и папахе) управляющий КВЖД генерал Д.Л. Хорват. Справа от него помощник председателя Правления КВЖД А.Н. Вентцель. Слева (повернувшись в профиль) стоит строитель тоннеля И.Ф. Лучко. Крайний справа (с портфелем в руке) подрядчик П.И. Джипелло-Сокко

(Окончание на с. 26)



Учредитель — ОАО «Российские железные дороги»

Научно-популярный производственно-технический журнал

Издаётся с января 1957 г.
(с 1936 г. по 1940 г. выходил под названием «Путеец»)

Главный редактор С.В. ЛЮБИМОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.Г. АКОПЯН, Е.С. АШПИЗ, д.т.н.,
В.П. БЕЛЬЮКОВ, д.т.н.,
Л.С. БЛАЖКО, д.т.н.,
Ю.А. БЫКОВ, д.т.н.,
Т.Н. ГОРЬКАНОВА, С.А. КОБЗЕВ,
И.Ю. КОВАЛЁВ — зам. главного
редактора, А.И. ЛИСИЦЫН,
А.А. ЛОКТЕВ, д.ф-м.н.,
А.А. МАРКОВ, д.т.н.,
В.И. НОВАКОВИЧ, д.т.н.,
О.А. ПАШЕНЦЕВА — ответственный
секретарь,
А.В. САВИН, д.т.н.,
О.Б. СИМАКОВ, к.т.н.,
В.Ф. ТАНАЕВ,
В.Ф. ТАРАБРИН, к.т.н.,
М.Ю. ХВОСТИК, к.т.н.,
Т.В. ШЕПИТЬКО, д.т.н.,
А.С. ЯНОВСКИЙ

РЕДАКЦИЯ

А.Г. КЕТКИНА, И.В. МОЧАЛОВА,
Е.Ю. СТЕПАНОВА

Телефоны:
(499)262-00-56; (499)262-67-33

Адрес редакции
107996, Москва, Рижская площадь, д. 3
Телеграфный адрес: Москва, РЖ Путь
e-mail: rph@inbox.ru
Сайт: <http://rph-magazine.ru>
Электронная версия журнала: <http://elibrary.ru>;
<https://rucont.ru>; <http://www.ivis.ru>/
Аннотации статей: www.rzd-expo.ru

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-21830 от 07.09.2005

Журнал включен в базу данных Российского
индекса научного цитирования и Перечень ВАК

Рукописи не возвращаются.
Использование материалов возможно только с
письменного согласия редакции.
Мнение редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов.

Подписано в печать 26.12.2024
Формат 60x84 1/8. Офсетная печать.
Заказ № 24228 от 24.12.2024
Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм +»,
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

— В НОМЕРЕ —

Содержание, ремонт и реконструкция

Шаньгин Р.В. — Матрица рисков изломов рельсов и снижение их количества в условиях тяжеловесного движения 2

Малявин Д.А., Клементьев К.В. — К вопросу о дышащих концах бесстыковых плетей и их сезонном перезакреплении 4

Ермаков В.М., Шур Е.А., Янович О.А. и др. — Технико-экономическая оценка системы ведения рельсового хозяйства при обеспечении ресурса пути 2,5 млрд т брутто 7

Бондаренко А.А., Тишуков С.В., Васильева О.М. — Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньевого пути 12

Контроль и диагностика

Щербаков В.В., Комягин С.А., Тимофеев Е.Н. — Система бокового нивелирования для контроля геометрических параметров 17

Конструкции и сооружения

Чижов С.В., Каптелин С.Ю., Русин А.А. — Применение балок с гофрированной стенкой в мостовых сооружениях 20

На второй странице обложки

Лисицын А.А. — История Кипарисовского тоннеля 26

Проблемы и решения

Сычёв В.П., Сычёва А.В., Овчинников Д.В. — Напряженное состояние пути при использовании устройства для выравнивания рельсовой нити 29

Подготовка кадров

Бахтин С.А., Ращепкин А.А., Соловьев Л.Ю. — Подготовка специалистов транспортного строительства в области информационного моделирования 32

На обложке

Первая страница — На магистралях России
Фото Ковалева И.Ю.

УДК 625.143.3

МАТРИЦА РИСКОВ ИЗЛОМОВ РЕЛЬСОВ И СНИЖЕНИЕ ИХ КОЛИЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ



ШАНЬГИН Р.В., ОАО «Российские железные дороги», директор Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре

Аннотация. Рассмотрены предпосылки создания матрицы рисков изломов рельсов при эксплуатации. Приведен ряд сочетаний грузо-напряженности, плана пути, осевой нагрузки, которые приводят к высокой вероятности риска излома по 99 дефекту. Разработаны предложения по снижению риска изломов.

Ключевые слова: рельс, излом, матрица, эксплуатация, тяжеловесное движение.

После ряда событий с очередными изломами рельсов при эксплуатации мы задались вопросом, а какая же статистика у нас по изломам и повреждениям рельсов по дефекту 99. Рассмотрели с колле-

гами из научно-отраслевого комплекса внешние факторы, способствующие появлению дефекта, и предшествующие виды ремонтов за последние 10 лет на участках с такими рельсами. Для сниже-

ния изломов в перспективных условиях тяжеловесного движения по плану НТР ОАО «РЖД» выполнено восемь работ с применением методологии оценки скорости развития дефектов рельсов. При исследовании установлены ключевые эксплуатационные параметры и внешние факторы, влияющие на вероятность излома. Проанализированы случаи нарушения безопасности движения по причине хрупких изломов рельсов по дефекту 99 на Забайкальской дороге в 2019–2023 гг. Экспериментально определены и изучены боковые и вертикальные силы, воздействующие на путь при эксплуатации многосекционных локомотивов, поездов повышенного веса и длины при движении с рекуперативным торможением, в зоне сварных стыков с предельными или запредельными смятием и микропропсадками. В результате получили 20 % изломов рельсов с дефектом 99 от общего количества по сети. Это достаточно большая цифра. В итоге мы пришли к мнению, что на данный инцидент влияет не один какой-то фактор, а их сочетание. Таким образом возникли



Перспективная матрица рисков:
зеленый цвет — приемлемый уровень риска; желтый — средний; красный — высокий

предпосылки для создания матрицы рисков изломов рельсов (см. рисунок).

Проанализирован ряд сочетаний факторов с такими критериями, как грузонапряженность, план пути, осевая нагрузка. Всего был рассмотрен 31 критерий и 7 факторов.

В результате получено 24 зоны высокого риска (отмечены красным цветом на матрице). По статистике сейчас таких участков по главному ходу сети 65 км.

Если мы посмотрим на табл. 1 и 2 и проработаем один из критериев по факторам, то поймем, что некоторые факторы нельзя исключить. Например, температуру воздуха, план или профиль линии. Таким образом, мы имеем 65 км с сочетаниями неблагоприятных факторов.

Для снижения риска изломов предлагается следующее:

1) ПКБ И, АО «ВНИИЖТ» доработать перспективную матрицу рисков, влияющих на изломы по всем видам дефектов;

2) ПКБ И совместно с АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» определить и нормировать продольные и поперечные силы, возникающие в железнодорожном пути на участках работы многосекционных локомотивов в режиме электродинамического (рекуперативного) торможения и максимальной тяги в условиях сложного продольного профиля;

3) ПКБ И, АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ» разработать комплекс мероприятий на основе анализа влияния факторов на риски возникновения изломов рельсов с учетом воздействия подвижного состава;

4) ПКБ И установить порядок использования матрицы при мониторинге состояния пути, назначении работ текущего содержания, оценке мероприятий по повышению прочностных характеристик рельсов для производителей и эксплуатантов рельсовой продукции (АО «ЕВРАЗ ЗСМК», ЦДИ и др.).

Затем мы проанализировали проделанную работу и установили, что на данный момент в матрице приведены не все эксплуатационные и внешние факторы, а также не хватает технологических, которые касаются технологий производства самого продукта, например, рельса.

Матрицу, представленную на рисунке, необходимо будет расширить, добавив факторы и критерии, вес и доля которых должны быть определены. Для этого исследования необходимо объединить усилия научного комплекса, компетентного в данных вопросах. Центральной дирекцией инфраструктуры сформировано поручение по началу этой работы.

На данный момент мы распределили усилия для решения функциональных задач с ВНИИЖТом и ВНИКТИ. В результате получим матрицу, которая позволит оценить вероятность появления дефектов рельсов с учетом различных условий. В конце этой работы будут подготовлены в том числе требования для автоматизации процесса аналитики. Следует понимать, что к факторам еще относится подвижной состав, так как на линию выходят магистральные тепловозы и электровозы с другими силовыми нагрузками.

Таблица 1
Проанализированные факторы и критерии

Факторы	Критерии
Температура, °C	Больше 0 До -10 От -10 до -20 Ниже -30
План пути, м	Прямая Менее 350 От 350 до 650 Более 650 Радиус не указан
Вид скрепления	ЖБР-65ПШМ ЖБР-65Ш ЖБР ЖБР-65 ЖБР-65ПШР ЖБР-65П
Пропущенный тоннаж, млн т брутто	До 100 От 100 до 300 От 300 до 500 От 500 до 700 От 700 до 900 Более 900
Грузонапряженность, млн т·км брутто/км в год	До 100 От 100 до 140 От 140 до 150 Более 150
Осевая нагрузка, кН	До 175 От 175 до 180 Более 180
Категория рельсов	ДТ ОТ

Таблица 2
Дополнительные факторы и критерии

Факторы	Критерии
-	Участки рекуперативного торможения
Уклон, %	От 0 до 5 От 5 до 8 От 8 до 11 Более 11
Конструкция пути	Бесстыковой путь Звеньевой путь
Вид шпалы	Деревянная Железобетонная
Накладки изолирующие	Металлокомпозитные Металлополимерные Композитные
-	Нарушение технологии сварки Отступления в содержании рельсовой колеи, способствующие увеличению динамического воздействия
-	План пути, несоответствие возвышения наружного рельса в кривых установленной скорости движения
Вагоны	Наличие ползунов на поверхности катания колес до 1 мм Наличие ползунов на поверхности катания колес 1 мм и более Просроченный ремонт вагонов
Загрязненность балласта, %	Менее 30 Более 30
Накладки двухголовые	1Р65 (шестидырные) 2Р65 (четырехдырные)

К ВОПРОСУ О ДЫШАЩИХ КОНЦАХ БЕССТЫКОВЫХ ПЛЕТЕЙ И ИХ СЕЗОННОМ ПЕРЕЗАКРЕПЛЕНИИ



МАЛЯВИН Д.А., АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), начальник отдела, КЛЕМЕНТЬЕВ К.В., АО «ВНИИЖТ», научный консультант, канд. техн. наук

Одной из серьезнейших проблем эксплуатации бесстыкового пути является содержание уравнительных стыков и дышащих (активных) концов бесстыковых плетей. Существует мнение [1] о несоответствии расчетных длин дышащих участков их фактическим длинам, а также о необходимости их сезонного перезакрепления.

Мнение о несоответствии расчетных длин дышащих участков их фактическим размерам обосновывается расхождением значений реальных погонных со-

противлений балласта и расчетных [1], при этом указывается, что в Инструкции 2544/р [2] якобы приняты сопротивления, которые кратно превышают реальные, составляющие 24 кН/м [1], а длина дышащего конца плети превышает 200 м [1]. Но так ли это?

В [2] указано, что погонное сопротивление продольному сдвигу пути по одной рельсовой нити принимается для стабилизированного балласта равным 12 кН/м и для нестабилизированного — 7 кН/м.

ками. Принципиальная схема работы матрицы — это анализ с помощью автоматизированных систем.

Разработка дальнейших мероприятий выполняется на основе анализа тех же 65 км. Требуется либо откорректировать систему с учетом непредвиденных колебаний нагрузки, либо уменьшить величину воздействия по одному из параметров, чтобы снизить риск с высокого уровня до приемлемого. Соответственно необходимо обеспечить контроль принятых мер. Получается достаточно объективный механизм для того, чтобы решать насущные задачи.

Перспектива этой работы очевидна. Она заключается в том, что сейчас мы анализируем факторы и воздействия на основной элемент, а дальше при отработке данного алгоритма будет возможность по всему пути оценивать сочетание различных факторов на возникновение риска излома рельсов.

Список источников

1. Инструкция «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов»: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 23.10.2014 № 2499/р.

2. Определение допустимых скоростей движения грузовых поездов при отрицательных температурах окружающей среды от минус 30 °C до минус 60 °C: отчет о НИР / ВНИИЖТ; науч. рук. Борц А.И. М., 2019. № 5.362.

3. Проведение испытаний дефектного рельса марки Р65 с раскрытием излома до 1 см под циклической нагрузкой для определения его остаточной прочности: отчет о НИР / ВНИИЖТ; науч. рук. Заграницек К.Л. М., 2024. № 12.214.

4. Разработка порядка эксплуатации рельсов, пропущивших сверхнормативный тоннаж, критерии их эксплуатации: отчет о НИР / ВНИИЖТ; науч. рук. Заграницек К.Л. М., 2023. № 4.221.

5. Разработка технических требований к рельсам для их применения в особо тяжелых условиях эксплуатации на дорогах Восточного полигона на основе технологии дифференцированного термического упрочнения с отдельного нагрева: отчет о НИР / ВНИИЖТ; науч. рук. Заграницек К.Л. М., 2020. № 7.416.

6. Исследование дифференцированно термоупрочненных рельсов с определением влияния качества рельсов и условий работы на их повреждаемость и интенсивность образования и развития дефектов при эксплуатации с расчетом ресурса по видам дефектов и внесением изменений в нормативную и техническую документацию: отчет о НИР / ВНИИЖТ; науч. рук. Хвостик М.Ю. М., 2018. № 5.364.

A MATRIX OF RISKS OF RAIL FRACTURES IN OPERATION AND WAYS TO REDUCE FRACTURES IN PROMISING CONDITIONS OF HEAVY TRAFFIC DEVELOPMENT

Shangin Roman — Director of the Design Bureau for Infrastructure, a branch of JSC Russian Railways. Moscow, Russia, shanginrv@center.rzd.ru

Abstract. The prerequisites for the emergence of a matrix of risks of rail fractures in operation are considered. A number of combinations are given, namely load stress, track plan, axial load, which lead to a high probability of fracture risk according to this defect code. Proposals have been developed to reduce the risk of fractures.

Keywords: rail, fracture, matrix, operation, heavy traffic.

С учетом стыкового сопротивления формула определения дышащего участка плети имеет вид, указанный в [3]:

$$l_d = \frac{N_t - R_c}{p} = \frac{\alpha EF \Delta t - R_c}{p}, \quad (1)$$

где l_d — длина дышащего конца плети;

N_t — температурная сила, возникающая в плети при перепаде температур относительно температуры ее закрепления;

R_c — стыковое сопротивление, принимаемое равным 400 кН при условии применения обычных стыковых болтов при нормативной затяжке и не менее 600 кН при использовании высокопрочных стыковых болтов; при ослабленной затяжке обычных стыковых болтов принимается равным 200 кН;

p — погонное сопротивление продольному сдвигу пути по одной рельсовой нити;

α — коэффициент линейного расширения рельсовой стали ($1,18 \cdot 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$);

E — модуль упругости рельсовой стали ($2,1 \cdot 10^5$ МПа);

F — площадь поперечного сечения рельса ($82,7 \text{ см}^2$ для рельсов типа Р65);

Δt — перепад температуры плети относительно ее температуры закрепления.

При этом в [4] формула дышащего участка плети приведена в двух вариантах — при смерзшемся и несмерзшемся балласте, т. е. для зимнего и летнего периодов:

$$l_d = \frac{\alpha EF}{p} \left(t_y - t_0 - \frac{R_c}{\alpha EF} \right); \quad (2)$$

$$l'_d = \frac{\alpha EF}{p} (t_0 - t_{\min \min}), \quad (3)$$

где l_d — длина дышащего конца плети до смерзания балласта;

l'_d — длина дышащего конца плети после смерзания балласта;

t_y — температура укладки рельсовой плети;

t_0 — температура смерзания балласта, принимаемая равной -5 $^\circ\text{C}$;

p — летнее погонное сопротивление продольному сдвигу пути по одной рельсовой нити;

t — зимнее погонное сопротивление продольному сдвигу пути по одной рельсовой нити, принимаемое равным 25 кН/м;

$t_{\min \min}$ — минимальная температура.

Следует отметить, что проведенные в различные годы опыты по определению погонного сопротивления сдвига шпал по балласту показали существенный разброс значений. Указывались следующие величины сопротивления вдоль оси пути, кН/м: 13–14 [3]; 14,7–18,4 [5]; 9,2 [6]; 10,0 [7]. Данные значения приводятся как средние, поэтому применение их в расчетах бесстыкового пути может привести к погрешностям, в результате которых достаточная надежность работы пути не будет обеспечена. Если



Нормальное распределение погонного сопротивления

взять за основу наиболее массовые опыты и найденное благодаря им среднее значение [8], то минимальными и максимальными величинами сопротивления железобетонных шпал в балласте вдоль оси пути t будут являться границы доверительного интервала — 3,3 и 16,7 кН/м. В целом же, учитывая нормальный закон распределения, основные значения погонных сопротивлений соответствуют указанным в [2] (см. рисунок).

Учитывая распределение погонного сопротивления при расчете длины дышащего участка, вполне правомерно применять указанную в [2] величину 12 кН/м. При этом даже при минимальном значении погонного сопротивления, приведенном в [2] и равном 6,5 кН/м, длина дышащего участка в летний период при несмерзшемся балласте не превысит 50 м при нормальной затяжке обычных стыковых болтов и 85 м при их ослабленной затяжке. Длина же дышащих участков плетей в зимний период при смерзшемся балласте будет еще на треть меньше. В результате ни о каких 200 м, указанных в [1], речи не идет.

Также авторами статьи [1] отмечено, что стыковые зазоры увеличиваются от нулевых до максимально допустимых при изменении температуры рельсов на 40 $^\circ\text{C}$. В [4] приведено исследование по изменению зазоров в уравнительных пролетах и указаны все необходимые для расчета формулы.

При расчете изменения длины плети выделены три периода:

1) повышение от температуры закрепления плети t_3 до максимальной $t_{\max \max}$;

2) снижение от температуры закрепления плети t_3 до температуры смерзания балласта;

3) снижение от температуры смерзания балласта до минимальной $t_{\min \min}$.

Для расчета изменения длины одного конца плети при росте температуры (первый период) применяется формула

$$\Delta l_{\text{пл} t_{\max \max} - t_3} = \frac{\alpha^2 EF}{2p} \left(t_{\max \max} - t_3 - \frac{R_c}{\alpha EF} \right)^2, \quad (4)$$

где t_3 — температура закрепления плети;

$t_{\max \max}$ — максимальная температура.

Для расчета перемещения одного конца временного рельса при росте температуры применяется формула

$$\Delta I_{\text{в.р.} t_{\max \max} - t_a} = \alpha l \left(t_{\max \max} - t_a - \frac{R_c + 0,5pl}{\alpha EF} \right), \quad (5)$$

где l — половина длины временного рельса.

Расчет перемещения подвижного конца плети при понижении от температуры закрепления до минимальной состоит из двух частей и проводится согласно формулам:

$$\Delta I_{t_{\min min} - t_{\min min}} = \Delta I_{\text{пл1}} + \Delta I_{\text{пл2}}; \quad (6)$$

$$\Delta I_{\text{пл1}} = \frac{\alpha^2 EF}{2p} \left(t_a - t_0 - \frac{R_c}{\alpha EF} \right)^2, \quad (7)$$

$$\Delta I_{\text{пл2}} = \frac{\alpha^2 EF}{2r} \left(t_0 - t_{\min min} - \frac{R_c}{\alpha EF} \right)^2, \quad (8)$$

где $\Delta I_{\text{пл1}}$ — перемещение подвижного конца плети при уменьшении температуры от температуры укладки до температуры смерзания балласта (второй период);

$\Delta I_{\text{пл2}}$ — перемещение подвижного конца плети при уменьшении температуры от температуры смерзания балласта до минимальной температуры (третий период);

t_0 — температура смерзания балласта (-5°C);

$t_{\min min}$ — минимальная температура.

Для расчета перемещения одного конца временного рельса при понижении температуры применяется формула

$$\Delta I_{\text{в.р.} t_y - t_{\min min}} = \alpha l \left(t_y - t_{\min min} - \frac{R_c + 0,5rl}{\alpha EF} \right), \quad (9)$$

где t_y — температура укладки временного рельса.

Соответственно зазор в стыке плети и временного рельса рассчитывается по формуле:

$$\lambda_t = \lambda_0 + \Delta I_{\text{пл}} + \Delta I_{\text{в.р.}}, \quad (10)$$

где λ_t — зазор в стыке при текущей температуре;

λ_0 — зазор в стыке при температуре укладки.

Проведя расчеты по этим экспериментально полученным формулам, мы увидим, что зазоры действительно могут увеличиваться от нулевых до максимально допустимых при изменении температуры рельсов на 40°C . Но происходит это будет только при ослабленной затяжке стыковых болтов, малом погонном летнем сопротивлении сдвигу пути и невысоком зимнем сопротивлении, т. е. при $R_c = 100 \text{ кН}$, $p = 7 \text{ кН/м}$, $r = 10 \text{ кН/м}$. Но уже при значениях $R_c = 400 \text{ кН}$, $p = 12 \text{ кН/м}$, $r = 25 \text{ кН/м}$ зазоры увеличиваются от нулевых до максимально допустимых при изменении температуры рельсов на 67°C .

Странно отметить, что на сети дорог уложено более 90 тыс. км бесстыкового пути со средней длиной плети 1200 м (без учета мест временного восстановления), что дает нам не менее 75 тыс. плетей. Если принять минимальную длину перезакреп-

ляемого участка равной 200 м на каждом дышащем конце плети, то ежегодно придется перезакреплять не менее 30 тыс. км бесстыкового пути (по 15 тыс. км весной и осенью). Необходимые ресурсы для таких объемов работ на сегодняшний день отсутствуют. Более рациональным решением будет усиление стыкового сопротивления с помощью высокопрочных болтов и погонного сопротивления на дышащих концах плетей и участках, прилегающих к ним, используя шпалы с повышенным сопротивлением сдвигу и подшпальные прокладки.

Выводы

1. Оснований утверждать, что необходимо массовое сезонное перезакрепление дышащих участков бесстыковых плетей на длине от 200 до 400 м, недостаточно.

2. В местах ослабления стыкового и погонного сопротивлений необходимо локально восстановить данные параметры до нормативных величин. Такие меры будут иметь высокую экономическую эффективность в отличие от массового перезакрепления дышащих участков бесстыковых плетей на длине от 200 до 400 м, на которое просто нет необходимых ресурсов.

3. В случае необходимости целесообразно увеличить стыковое сопротивление, применяя высокопрочные стыковые болты, а также погонное сопротивление на дышащих концах плетей и участках, прилегающих к ним, используя шпалы с повышенным сопротивлением сдвигу и подшпальные прокладки.

Список источников

1. Необходимо сезонное перезакрепление концевых участков рельсовых плетей / В.И. Новакович, Г.В. Карповский, Н.И. Заславский, Е.В. Корниенко, Е.В. Мироненко // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 10. С. 15–17.

2. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2544/р. Доступ через СПС КонсультантПлюс.

3. Маркарьян М.А., Зверев Н.Б. Сопротивление бесстыкового пути перемещения // Бесстыковой путь: сборник статей. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 19–45.

4. Боченков М.С. Исследование температурной работы концевых участков рельсовых плетей бесстыкового пути // Бесстыковой путь: сборник статей. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 61–96. (Труды «ВНИИЖТ»; Вып. 244).

5. Технический справочник железнодорожника. Том 5. Путь и путевое хозяйство / Ф.Д. Барыкин, Е.М. Бромберг, М.Ф. Вериго и др. М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1951. 597 с.

6. Взаимодействие пути и подвижного состава: учебное пособие / Е.М. Бромберг, М.Ф. Вериго, В.Н. Данилов, М.А. Фришман. М.: Трансжелдориздат, 1956. 280 с.

7. Новакович В.И. Продольные силы при вывеске рельсово-шпальной решетки бесстыкового пути // Вестник ВНИИЖТ. 1967. № 6. С. 49–52.

8. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь: учебник. М.: Транспорт, 1987. 479 с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ РЕЛЬСОВОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ОБЕСПЛЕЧЕНИИ РЕСУРСА ПУТИ 2,5 МЛРД Т БРУТТО

ЕРМАКОВ В.М., докт. техн. наук, ООО НПП «АпАТЭК», управляющий директор, ШУР Е.А., докт. техн. наук, АО «ВНИИЖТ», научный консультант, ЯНОВИЧ О.А., ООО НПП «АпАТЭК», заместитель управляющего директора, ЕГОРОВ М.А., канд. техн. наук, Инжиниринговый центр железнодорожного транспорта, эксперт

Поставленная Правительством РФ задача повышения ресурса пути имеет огромное значение. ОАО «РЖД» совместно с представителями отраслевой науки и производителями элементов пути провели работу [1], которая позволила в 2024 г. заложить опытные участки, а с 2025–2026 гг. приступить к массовому внедрению конструкции пути с ресурсом 2,5 млрд т брутто. Первоочередным полигоном являются особо грузонапряженные участки с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более.

Заданный ресурс можно обеспечить при соответствующем техническом обслуживании пути в целом [2] и системе ведения рельсового хозяйства в частности.

Проблемы рельсового хозяйства:

количество мест временного восстановления с вырезкой дефекта и установкой рельсовой рубки постоянно растет и уже достигло 320 тыс. мест, или 640 тыс. рельсовых стыков [3, 4];

доля изъятых рельсов по дефектам поверхности катания увеличивается [5] и в настоящее время составляет 60 % общего объема изымаемых остродефектных (ОДР) или дефектных (ДР) рельсов;

фактические объемы шлифовки рельсов (около 30 тыс. км прохода) составляют около 25 % норматива (при периодичности 85 млн т груза брутто [6]), а на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более — не превышают 10–15 % норматива.

Столь малые объемы шлифовки не предупреждают появление поверхностных, а также внутренних контактно-усталостных дефектов в головке рельса; в лучшем случае — уменьшают глубину волнообразного износа рельсов.

Рельсовые стыки обуславливают появление стыковых дефектов, ускоренное дефектообразование в элементах скреплений и шпал, исчирание щебня, развитие просадок и, в итоге, дополнительные затраты на текущее содержание пути, а также снижение уровня безопасности движения поездов. Следует отметить, что изломы рельсов именно с дефектом 53 являются основными причинами сходов поездов.

Нужно ставить задачу недопущения эксплуатации пути на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более с ре-

сурсом 2,5 млрд т груза брутто со стыками после вырезки ОДР или ДР более одного месяца (в условиях положительных температур).

Шлифовка рельсов с установленной [6] периодичностью обеспечивает устранение микротрещин и появление поверхностных дефектов рельсов, уменьшение числа контактно-усталостных дефектов в головке рельса, снижение темпа расстройства геометрии рельсовой колеи благодаря сокращению ударного воздействия колес на рельсы без волнообразного износа [7].

Профильную шлифовку рельсов на сети начали выполнять в 1994 г. [8] рельсошлифовальным поездом (РШП) с активными шлифовальными камнями URR-112/10. В 1998–99 гг. у фирмы Speno закупили шесть РШП и затем организовали с ней их совместное производство в ОАО «Ремпутьмаш».

На рис. 1 приведены объемы профильной шлифовки рельсов на российских дорогах с 1995 г. Следует отметить уменьшение объемов в последние годы относительно максимально достигнутых в 2,5 раза.

На рис. 2 приведены суммарные объемы электроконтактной сварки (ЭКС) и алюмотермитной сварки (АТС) рельсов в пути, которые в основном выполнялись на участках постоянного восстановления вырезанных дефектных мест в рельсовых пластинах (за вычетом сварки стыков на стрелочных переводах и вваривания в пластины высокопрочных kleeboltовых стыков «АпАТЭК Р65 МК»).

По 2003 г. выполнялась только ЭКС рельсов машинами ПРСМ. С 2004 г. принято решение по допуску АТС, что позволило резко увеличить суммарные



Рис. 1. Объемы профильной шлифовки рельсов, тыс. км

объемы сварки рельсов в пути, в том числе с устранением мест временного восстановления плетей. После передачи в 2008 г. ПРСМ в аренду сторонней организации объемы сварки этими машинами стали снижаться; при этом суммарные объемы до 2014 г. компенсировались ростом объемов АТС.

Резкий рост объемов АТС в 2018–2019 гг. позволил снизить темпы увеличения мест временного восстановления плетей [3], однако последующее снижение объемов сварки привело к увеличению темпа их прироста.

Следует иметь в виду, что надежность ЭКС выше, чем АТС, поэтому необходимо восстанавливать объемы сварки машиной ПРСМ до уровня 2008 г.

Современная технология ЭКС машиной ПРСМ с последующей местной локальной термической обработкой сварных швов имеет существенный недостаток: она не обеспечивает получение равной твердости по длине рельса в зоне сварного стыка, особенно подвергнутого последующей локальной термической обработке. Из-за значительного тепловложения при сварке и термообработке образуются широкие зоны термического влияния с пониженной твердостью и измененной микроструктурой с глобулярными карбидами.

При эксплуатации в этих зонах вследствие повышенного износа и смятия образуются местные локальные неровности, и количество рельсов с дефектами 46 и 47 стремительно растет. Если в начале 2000-х гг. их доля составляла около 2 %, то в 2012 г. она увеличилась до 4 %, а в 2023 г. достигла 17 %. Необходимо совершенствовать технологию ЭКС рельсов как в стационаре, так и с применением ПРСМ, исключив последующую термическую обработку сварных стыков.

Для уменьшения количества стыков эффективна их наплавка в зонах дефектов вместо вырезки [9],

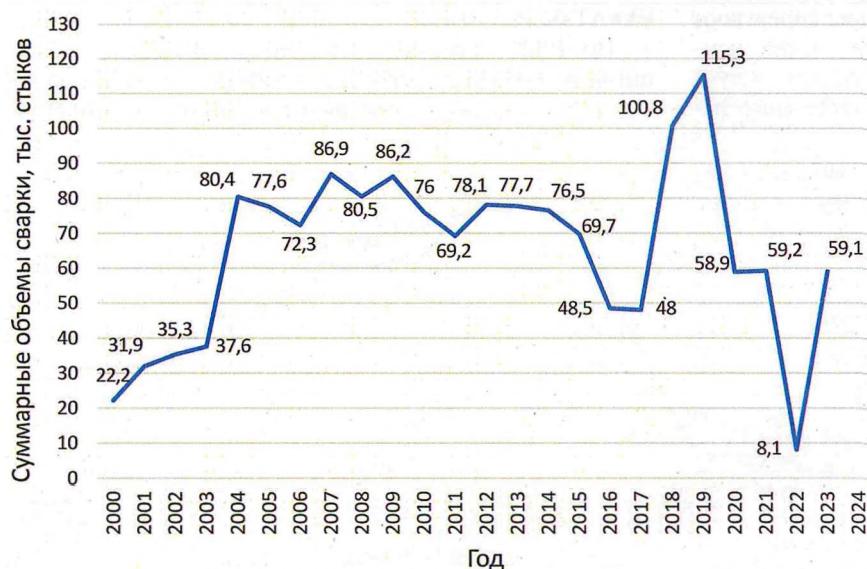


Рис. 2. Суммарные объемы ЭКС и АТС рельсов в пути

объемы которой с 2021 по 2023 г. выросли с 0,8 до 7,1 тыс. восстановленных дефектов. Необходимо организовать мониторинг с оценкой надежности рельсов, отремонтированных по данной технологии.

Таким образом, целесообразно оценить эффективность увеличения объемов шлифовки рельсов, сварки стыков и наплавки в зонах определенных дефектов на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более для обеспечения их ресурса 2,5 млрд т брутто.

Определим, насколько можно уменьшить количество дефектных рельсов благодаря увеличению объемов ремонта рельсов в пути.

Объемы изъятия ОДР и ДР зависят от грузонапряженности и составляют в среднем по сети около 0,035 шт/км на 1 млрд т·км, или 1,37 шт/км, при среднесетевой грузонапряженности 39 млн т·км груза брутто/км в год. При этом чем больше грузонапряженность на участке, тем больше выход рельсов в течение года.

При средней грузонапряженности на особо грузонапряженных участках 80 млн т·км груза брутто/км в год и более, равной 124 млн т·км груза брутто/км в год, ежегодный выход рельсов в ДР и ОДР будет в 3,16 раза больше среднесетевого и составит 4,32 шт/км в год при средней наработка тоннажа на этих участках около 550 млн т груза брутто. Очевидно, что при такой интенсивности выхода рельсов обеспечить их ресурс 1,4 млрд т груза брутто и ресурс пути 2,5 млн т груза брутто невозможно.

Периодичность шлифовки рельсов в соответствии с [6] составляет 85 млн т груза брутто по два прохода. Ежегодный объем шлифовки при установленной периодичности [6] для особо грузонапряженных участков, протяженность которых составляет около 17 тыс. км, составит: $17000 : 851242 = 49600$ км прохода.

Примем, что при таком объеме шлифовки рельсов на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более будет уменьшено количество:

ДР (табл. 1) с дефектами (в соответствии с [10]) 10, 11, 12, 19 — на 80 %; их ежегодное количество составит 3854 шт. (от 19270 шт. при отсутствии шлифовки); 14 — на 30 %; 16, 17 — на 80 % и т. д.;

ОДР с дефектами 20, 21, 22, 30, 31 — на 60 %.

При сварке всех стыков, в том числе недопущении эксплуатации мест временного восстановления более одного месяца (кроме зимнего периода), будет уменьшено количество:

ДР с дефектами 13, 18 — на 90 %; 43 — на 90 %;

ОДР с дефектами 33, 38, 53, 73 — на 90 %.

Расчетное годовое изъятие без шлифовки, сварки стыков составляет 46013 ДР и 11770 ОДР (всего 57783); выполнение шлифовки и сварки стыков позволит сократить количество ДР до 15672 (в 2,94 раза), ОДР — до 7310 (в 1,61 раза) и составит 22982 (в 2,51 раза меньше).

Часть ДР и все ОДР вырезают из рельсовых пле- тей с установкой рельсовых рубок и последующей сваркой стыков; при этом часть ДР может быть отремонтирована наплавкой [8]. По экспертным оценкам к таковым отнесены следующие дефекты: 13, 18 — 50%; 14 — 90% и т. д. (см. табл. 1).

Таким образом, из требующих замены 15672 ДР восстановлению наплавкой подлежат 2889 дефектов. В итоге, при выполнении указанных объемов работ по шлифовке, сварке и наплавке, количество ОДР и ДР, требующих вырезки на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более, уменьшится до 20093, или в 2,88 раз, по сравнению с 57783 рельсами при сохранении сегодняшних объемов по указанным выше работам.

Определим затраты хозяйств ОАО «РЖД» на устранение дефектов рельсов. Примем, что все ДР ремонтируются или заменяются в плановом порядке в технологические «окна» и не влияют на график движения поездов; все ОДР заменяются в экстренном порядке и влияют на график движения поездов из-за выдаваемых ограничений скорости на период подготовительных работ и предоставления внеплановых «окон» на период замены.

По данным КАСАНТ, средняя продолжительность отказа, вызванного ОДР, составляет 1,93 ч.

Затраты на замену рельса. В соответствии с [11] среднесетевая стоимость замены рельса составляет 30,4 тыс. руб.

Эта расценка используется для определения стоимости только замены рельса. Для бесстыкового пути дополнительно требуется сваривать места временного восстановления. Стоимость АТС одного стыка составляет 35,0 тыс. руб., дефектоскопирования после сварки — 3,9 тыс. руб.; итого на два стыка — 77,8 тыс. руб. Оплата работ бригадира пути, двух монтеров пути и двух сигналистов в течение 1/2 рабочей смены составляет 13,1 тыс. руб.

Итого на замену одного ДР или ОДР требуется 121,3 тыс. руб.; без затрат на сварку — 43,5 тыс. руб.

Наплавка рельсов в зонах дефектов. В четырехчасовое «окно» наплавкой устраняют два дефекта. При этом затраты составят:

наплавка одного места подрядной организацией — 27,0 тыс. руб.;

оплата работ бригадира пути, двух монтеров пути и двух сигналистов в течение 1/2 рабочей смены — 12,2 тыс. руб.

Итого на один дефект затрачивается 27,0 + 6,1 = 33,3 тыс. руб.

Затраты на шлифовку рельсов. Стоимость 1 км прохода РШП составляет 30,3 тыс. руб. Для шлифования всего полигона с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более затраты составят: 30,349600 ≈ 1,50 млрд руб.

Затраты на АТС стыков. Темпы прироста количества мест времененного восстановления [3,4] существенно снижены в 2019 г., когда на сети были выполнены наибольшие объемы АТС — 100 тыс. стыков. Затем при снижении объемов АТС прирост мест времененного восстановления резко увеличился.

В последние годы объемы сварки по сети составляют около 50 тыс. стыков в год. Примем, что фактически на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более из 50 тыс. АТС стыков по сети приходится около 24 тыс. стыков.

При выполнении шлифовки, своевременной сварки и наплавки на полигоне с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более требуется вырезка 20779 ДР и ОДР и сварка 41558 стыков, что превышает сегодняшние объемы сварки на этих участках.

Дополнительные затраты на текущее содержание рельсовых стыков. Они появляются вследствие невыполнения сварки после вырезки ОДР или ДР и обу-

Таблица 1
Годовой выход рельсов по дефектам на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более и их расчетное уменьшение при выполнении шлифовки, сварки стыков, наплавки

Дефекты	Количество дефектов	Доля исключенных ДР и ОДР после РШП и сварки, %		Количество ОДР и ДР после РШП и сварки	Уменьшение дефектности после РШП и сварки	Восстановление ДР наплавкой		Количество требуемой вырезки ДР или ОДР
		шлифовка	сварка			доля, %	количество, шт.	
ДР								
10, 11, 12, 19	19270	80	—	3854	15416	—	—	3854
13, 18	3425	—	90	342	3083	50	171	171
14	1548	30	—	1084	464	90	976	108
16, 17	3791	80	—	758	3033	70	531	227
21.2Н+22.2Н	385	80	—	77	308	90	69	8
40, 41	410	90	—	41	369	—	—	41
43	742	—	90	74	668	50	37	37
44	3430	20	—	2744	686	—	—	2744
46, 47	7893	80	—	1579	6314	70	1105	474
64, 86, 98	5119	—	—	5119	—	—	—	5119
Итого ДР	46013	—	—	15672	30341	—	2889	12783
ОДР								
20, 21, 22, 30, 31	4359	60	—	1743	2616	—	—	1743
33, 38, 53, 73	2049	—	90	205	1844	—	—	205
26, 27, 56, 57, 66, 67, 76, 77	1682	—	—	1682	—	—	—	1682
24, 25, 74, 75	211	—	—	211	—	—	—	211
50, 55	711	—	—	711	—	—	—	711
60, 64, 65, 69	398	—	—	398	—	—	—	398
70, 71, 72, 79, 98, 99	2360	—	—	2360	—	—	—	2360
Итого ОДР	11770	—	—	7310	4460	—	—	7310
Всего ДР и ОДР	57783	—	—	22982	34115	—	—	20093



Рис. 3. Зависимость количества задержанных поездов от грузонапряженности при действии ограничения скорости в течение 1 ч

словлены возникновением стыковых дефектов в рельсах, ускоренным дефектообразованием в элементах скреплений и шпал, истиранием щебня, развитием просадок и т. д. Эти затраты на один стык для грузонапряженности 124 млн т·км брутто/км в год составляют 11,9 тыс. руб. в год.

Потери, вызванные задержкой и остановкой грузовых, пассажирских и пригородных поездов. Эти потери C , руб., определяются по формуле

$$C = N_i S_{\text{octi}} + N_i t_{\text{zi}} S_{\text{np}}, \quad (1)$$

где N_i — количество задержанных поездов каждой категории, шт.; S_{octi} — себестоимость остановки одного поезда соответствующей категории, руб. [10]; t_{zi} — время задержки поездов, ч; S_{np} — себестоимость простоя одного поезда каждой категории, руб. [10].

Для формирования зависимости количества задержанных поездов и времени их задержки от грузонапряженности участка использованы данные системы КАСАНТ в части отказов 1-й и 2-й категории по ОДР и изломам.

Анализ долей задержанных поездов различных категорий из-за отказов 1–2-й категорий по ОДР и изломам на сети показал, что доля задержанных пассажирских поездов составляет 6,1 %, пригородных — 2,1 %, грузовых — 91,8 %.

На рис. 3 приведена зависимость количества задержанных поездов от грузонапряженности при действии ограничения скорости в течение 1 ч. Например, на участке с грузонапряженностью 105 млн т·км груза

брутто/км в год при действии ограничения скорости в течение 1 ч будут задержаны восемь поездов, а за 3,5 ч — 28 поездов, в том числе: пассажирских — 6,1 %, или два поезда; пригородных — 2,1 %, или один поезд; грузовых — 91,8 %, или 25 поездов.

Количество поездов для грузонапряженности 124 млн т·км груза брутто/км в год, задержанных за 1,93 ч, рассчитанное по формуле

$$y = 1,6275e^{0,0156x},$$

составляет: грузовых — 21, пассажирских — 2, пригородных — 1; всего — 24 поезда.

Затраты, вызванные задержкой и остановкой грузовых, пассажирских и пригородных поездов на 1,93 ч действия предупреждения 15 км/ч по смене одного ОДР, составили 66,7 тыс. руб.

Дополнительные затраты энергии на разгон поездов после ограничения скорости в местах действия предупреждений. Для определения дополнительных затрат выполнены тяговые расчеты с грузовыми поездами массой 6000 т и пассажирскими массой 1000 т на участках переменного (ВЛ80 и ЧС4) и постоянного (ВЛ10^y и ЧС7) тока с различными уклонами продольного профиля.

Максимальная скорость грузовых поездов принята равной 75 км/ч, пассажирских — 120 км/ч. Затраты энергии определены на 10-километровых участках на площадке и спусках и подъемах 3, 6, 9 и 12 % без ограничения скорости (базовый вариант) и с ограничениями скорости до 15, 25, 40 и 60 км/ч.

В табл. 2 представлены дополнительные затраты электроэнергии на разгон поездов после пропуска участка ограничения скорости 15 км/ч по сравнению с расходом электроэнергии при ведении поезда по этому же участку без ограничения скорости с усреднением для переменного и постоянного тока.

Затраты, связанные с дополнительным расходом электроэнергии, указанных выше 24 поездов при стоимости 1 кВт·ч 4,65 руб. и продолжительности ограничения скорости 1,93 ч составили 387,5 тыс. руб.

Затраты в хозяйстве пути и эксплуатационной работе от появления ДР и ОДР на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более при двух вариантах ведения хозяйства приведены в табл. 3, при составлении которой принято во внимание следующее:

ОДР и ДР при существующей системе частично заменяют с последующей сваркой (12 тыс. рельсов, или 24 тыс. стыков, определенных выше); остающиеся от 57783 (см. табл. 1) 45783 замененных рельса эксплуатируются со стыковыми сборными стыками. Используя новую систему, нужно будет заменить

Таблица 2
Дополнительный расход энергии, кВт·ч, для поездов с локомотивами при ограничении скорости 15 км/ч

Подъем, %	ВЛ10 ^y , ВЛ80	ЧС4, ЧС7
12	1869	1991
9	2498	2227
6	2979	2493
3	4147	2149
0	3994	2030

в год 20093 рельса со сваркой 40186 стыков;

объемы наплавки ДР при существующей системе на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более практически нулевые. При новой системе они составят 2889 мест;

при существующей системе 45783 рельса не будут сварены, что вызовет дополнительные затраты на текущее содержание 91566 рельсовых стыков;

затраты из-за задержек поездов и затраты энергии на разгон после снижения скоростей при выдаче предупреждений на замену ОДР определяются количеством ОДР при двух вариантах системы ведения хозяйства (см. табл. 1).

Проанализировав табл. 3, можно сделать следующие выводы:

1) при новой системе ведения хозяйства растут затраты на шлифовку, наплавку рельсов и сварку стыков;

2) эти дополнительные затраты компенсируются существенным уменьшением ОДР и ДР, подлежащих вырезке, и исключением дополнительных расходов на содержание зон сборных стыков, потому что они должны быть сварены в течение месяца после вырезки;

3) в целом затраты по путевому комплексу по анализируемому набору работ при новой системе 4036 млн руб. в год на полигоне около 17 тыс. км с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более меньше, чем при существующей системе (5371 млн руб.);

4) при учете потерь в хозяйстве движения и тяги затраты по новой системе 7357 млн руб. на 3360 млн руб. меньше, чем при существующей системе (10717 млн руб.).

Период внедрения предлагаемой новой системы ведения рельсового хозяйства с обеспечением ресурса 2,5 млрд т брутто составит примерно 10 лет — время проведения ремонта на всем полигоне с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более. За этот период необходимо увеличить объемы шлифовки РШП, включая внедрение РШП со скоростным шлифованием, что снизит потребность в «окнах», а также ЭКС машиной ПРСМ, АТС и наплавки, включая предоставление необходимого количества «окон».

Прогнозирование и планирование ресурсов для ведения рельсового хозяйства необходимо организовать на основе предиктивных методов [2, 12, 13].

Важно соблюдать периодичность шлифовки, срочной сварки стыков с первых лет эксплуатации участков, отремонтированных под ресурс 2,5 млрд т брутто.

Таблица 3
Затраты в хозяйстве пути и эксплуатационной работе от появления ДР и ОДР на участках с грузонапряженностью 80 млн т·км груза брутто/км в год и более при двух вариантах ведения хозяйства

Виды работ	Единица измерения	Стоимость, тыс. руб.	Затраты на шлифовку, сварку, наплавку при ведении хозяйства			
			по существующей технологии	по новой технологии		
			Количество	Стоимость, млн руб.	Количество	Стоимость, млн руб.
Замена ОДР и ДР без сварки	шт.	43,5	45783	1992	0	0
Замена ОДР и ДР со сваркой	шт.	121,3	17000	2062	20093	2437
Наплавка	шт.	33,3	0	0	2889	96
Шлифовка	км прохода	30,3	7500	227	49600	1503
Затраты на текущее содержание рельсовых стыков	стык	11,9	91566	1090	0	0
Итого по хозяйству пути				5371		4036
Задержка поездов	шт. ОДР	66,7	11770	785	7310	488
Затраты электроэнергии на разгон в местах предупреждения	шт. ОДР	387,5	11770	4561	7310	2833
Итого				10717		7357

Список источников

1. Дорожная карта по разработке конструкции и технологий содержания железнодорожного пути, обеспечивающих наработку 2,5 млрд тонн брутто пропущенного тоннажа, утвержденная Распоряжением ОАО «РЖД» от 04.02.2021 № 212/р.
2. Концепция системы технического обслуживания пути. ЦДИ-2527 от 28.04.2023.
3. Романенко В.А., Мацкевич М.В., Востриков Д.В. Сокращение мест временного восстановления плетей // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 6. С. 6–7.
4. Малыгин Д.А., Клементьев К.В. Проблема роста мест временного восстановления рельсовых плетей // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 8. С. 18–21.
5. Бурков Д.Н., Ваганова О.Н. Актуальные проблемы рельсового хозяйства // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 8. С. 2–7.
6. Технические указания по шлифованию рельсов: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 22.02.2011 № 388р.
7. Шур Е.А. Повреждения рельсов. М.: Интекст, 2012. 192 с.
8. Тридцать лет современным технологиям шлифования // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 5. С. 2–6.
9. ТУ 0921-335-01124323-2016. Рельсы железнодорожные типа Р65, отремонтированные алюминотермитной наплавкой по технологии THR фирмы ELEKTRO-TERMIF GMBH. Технические условия: утв. 16.06.2017.
10. Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 23.10.2014 № 2499/р (в ред. от 07.10.2022).
11. Об утверждении расходных ставок, оценочных уровней затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономической оценки устранения отказов технических средств: Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.03.2022 № 550/р.
12. Ермаков В.М., Штайгер М.Г., Янович О.А. Электронный паспорт рельса // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 4. С. 13–17.
13. Ведение рельсового хозяйства на основе предиктивных методов / В.М. Ермаков, С.А. Васильева, О.А. Янович, М.А. Егоров // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 12. С. 2–6.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОДЕРЖАНИЕ СТЫКОВ ЗВЕНЬЕВОГО ПУТИ*



БОНДАРЕНКО А.А., Самарский государственный университет путей сообщения (СГУПС),
канд. техн. наук,
ТИШУКОВ С.В., СГУПС, канд. техн. наук,
ВАСИЛЬЕВА О.М., СГУПС, старший преподаватель

Рельсовый стык, особенно в растянутом до конструктивного или даже более значения, был и остается одним из слабых и опасных мест в звеневой конструкции верхнего строения пути [1, 2]. На приведение стыков в исправное состояние приходится до 45 % затрат на текущее содержание пути [1–3]. До сих пор не удалось установить точную величину номинального стыкового зазора, под которым подразумевается зазор, позволяющий создать оптимальные условия температурной работы 25-метровых рельсов [3–6].

В настоящее время номинальный зазор для конкретной дистанции пути определяют эмпирически по действующим нормативам, выполнение которых для большей части дорог, расположенных в районах с резкими перепадами суточных температур, не позволяет оптимизировать температурную работу звеневого пути. При этом под оптимизацией понимают полное использование конструктивного зазора при высоких положительных температурах в летний период и исключение изгиба стыковых болтов при низких отрицательных в зимний [3, 4, 5].

Например, в районе Онеги годовая амплитуда температуры рельсов составляет 99°C ($t_{\max} = +53^{\circ}\text{C}$ и $t_{\min} = -46^{\circ}\text{C}$), что отвечает второй климатической зоне, где годовые амплитуды изменяются от 80 до 100°C . В этом случае в соответствии с существующими рекомендациями нулевые зазоры следует уста-

навливать при температуре $+40^{\circ}\text{C}$. Конструктивному зазору 21 мм соответствует температура -31°C , а зазору 23 мм — -38°C . По этой рекомендации осуществляют назначение и установку зазоров при первоначальной укладке рельсов или звеньев путевой решетки, а также при сплошной смене рельсов новыми или старогодными. Теми же значениями руководствуются при разгонке или регулировке стыковых зазоров, т. е. устанавливают номинальные зазоры при отсутствии стыкового сопротивления для свободно лежащих рельсов [1, 7–9].

Для практических измерений стыковых зазоров используют обычные прозорники (ручной способ измерений) или современные мобильные средства диагностики (МСД) типа «ЭРА+» и др. Ручные измерения, которые на практике применяются все реже, позволяют получить только единичные значения зазоров сначала по одной рельсовой нити, затем по другой, а МСД в автоматическом режиме непрерывно фиксируют зазоры на всем протяжении участка измерений, высоту вертикальной ступеньки, а также температуру рельсов одновременно по обеим нитям. В результате программное обеспечение МСД выдает выходные формы, позволяющие оперативно принимать решения по обеспечению безопасности движения.

Диагностическое оборудование МСД содержит систему оценки рельсовых стыков (СОС), которая входит в состав приложений дополнительных параметров бортовой автоматизированной системы «ЭРА+» [10]. Она обеспечивает измерение, фиксацию и привязку положения зазоров к координате пути.

При наличии ступенек (рис. 1), представляющих опасность для движения поездов, необходимо уменьшать скорость согласно табл. 1.

Соответственно при выявлении следящей системой МСД сверхнормативных стыковых зазоров (рис. 2) вводится ограничение ско-

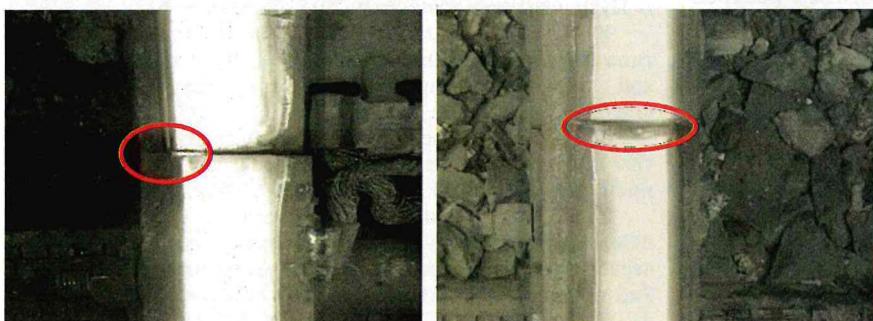


Рис. 1. Стыковые ступенки, обнаруженные системой видеофиксации МСД

* В статье использованы материалы В.И. Матвецова.

рости движения поездов в зависимости от их величины:

- более 24 до 26 мм — 100 км/ч;
- более 26 до 30 мм — 60 км/ч;
- более 30 до 35 мм — 25 км/ч;
- более 35 мм — движение закрывается.

В руководстве по эксплуатации МСД рекомендуется номинальные стыковые зазоры определять с учетом существующего деления дорог ОАО «РЖД» на климатические зоны по следующей формуле:

$$z = a - b(t - c), \quad (1)$$

где t — температура рельса, °C;

a , b , c — коэффициенты для климатических зон, приведенных в [1].

По существующим рекомендациям номинальные зазоры для двух пунктов с разными экстремальными температурами, но одинаковой годовой амплитудой 100 °C, следует вычислять при $t = 20$ °C так:

в пункте, где $t_{\max} = +65$ °C, $t_{\min} = -35$ °C,
 $z = 9,75 - 0,3(20 - 10) \approx 7$ мм;

в пункте, где $t_{\max} = +50$ °C, $t_{\min} = -50$ °C,
 $z = 9,75 - 0,3(20 - 10) \approx 7$ мм.

В результате получаем одинаковые значения. Однако установка в указанных пунктах с годовой амплитудой 100 °C одинаковых зазоров при одной и той же температуре приведет к тому, что в момент наступления экстремальных значений температурные силы в пути при рельсах типа Р65 будут отличаться друг от друга на $41 \cdot 15 = 615$ кН, что довольно существенно. Для крайних границ климатических зон температурные силы будут разниться еще больше — $41 \cdot 20 = 820$ кН.

В осенне-зимний и весенний периоды, как правило, путь работает в режиме «коротких» рельсов, стыковые зазоры растянуты, поэтому нужно своевременно принимать меры, не допуская их раскрытия сверх конструктивных значений. Летом при идеальной точности установленных зазоров в момент наступления высоких температур рельсов в 30 °C и выше в первой супровой климатической зоне, 40 °C и выше — во второй, звеневой путь с нулевыми зазорами работает в режиме бесстыкового, при котором нет возможности сказать что-то определенное о напряженном состоянии стыков и поперечной устойчивости звеневой конструкции. При неточной установке зазоров или угоне пути нулевые зазоры могут появиться и при температурах ниже указанных.

При эксплуатации звеневого пути рельсам в ходе изменения температуры приходится преодолевать два вида сопротивлений — погонное и стыковое. При этом повсеместно летом 25-метровые рельсы испытывают торцевое давление, а зимой в стыках, в момент наступления минимальных расчетных или близких к ним температур, могут изгибаться стыковые болты, что явно нежелательно. Гнутые болты не могут эффективно работать по своему прямому назначению — стягивать наладки и обеспечивать высокое стыковое сопротивление. Поэтому

Таблица 1
Ограничение скорости движения поездов в зависимости от величины стыпеньки

Величина стыпеньки, мм	Скорость движения, км/ч, при температуре воздуха	
	выше -25 °C	-25 °C и ниже
Более 1 до 2	80	50
2-4	40	25
4-5	15	15
Более 5	Движение закрывается	

для оптимальных условий эксплуатации 25-метровых рельсов необходимо устанавливать номинальные стыковые зазоры в соответствии с фактической температурой, исключающие изгиб болтов зимой и опасное торцевое давление летом. При этом конструктивный стыковой зазор должен появляться только в момент наступления минимальной расчетной температуры рельсов.

С учетом указанных предпосылок и допущений рекомендуется конструктивный стыковой зазор назначать и устанавливать при температуре

$$t_{\lambda_k} = t_{\min} + t_R, \quad (2)$$

где t_{\min} — минимальная температура для данного региона, °C;

t_R — температура, соответствующая стыковому сопротивлению, °C.

При этом смыкание зазоров без возникновения продольных усилий по торцам рельсов (при отсутствии торцевого давления) должно происходить при температуре

$$t_{\lambda_0} = t_{\lambda_k} + t_{cb}, \quad (3)$$

где t_{cb} — изменение температуры свободно лежащего рельса, °C, необходимое для изменения стыкового зазора от 0 до конструктивного значения и наоборот.

После получения значения t_{λ_0} необходимо проверить, не будет ли нарушаться устойчивость пути после смыкания зазоров и дальнейшего роста температуры до наибольшего возможного в данной местности значения:

$$t_{\max} - t_{\lambda_0} \leq t_{уст}, \quad (4)$$

где $t_{уст}$ — предельная температура по устойчивости звеневого пути, °C; определяется по [1].

Такая проверка должна быть выполнена для прямых и кривых всех имеющихся на дистанции пути радиусов.

Номинальные стыковые зазоры для соответствующих температур определяются по следующей зависимости:

$$\lambda_n = \alpha / (t_{\min} + t_R + t_{cb} - t), \quad (5)$$

где α — коэффициент линейного температурного

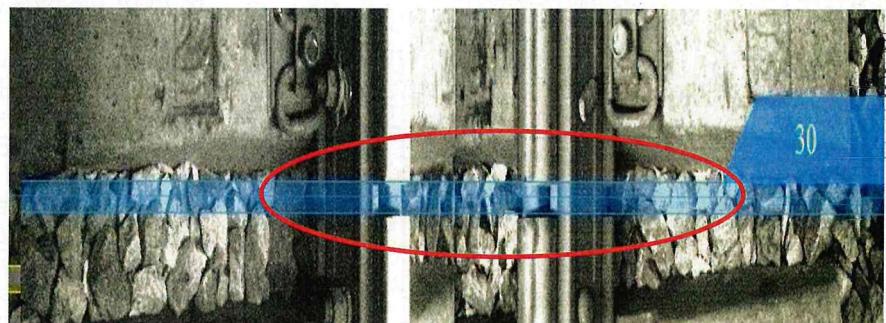


Рис. 2. Растигнутые стыковые зазоры с превышением допустимых значений, выявленные системой видеофиксации МСД

расширения рельсовой стали, равный $0,0000118 \text{ } 1/\text{°C}$;
 l — длина рельса (25 м);

t — текущая температура, которая соответствует номинальному стыковому зазору λ_n , $^{\circ}\text{C}$.

Выполним расчет номинальных стыковых зазоров при следующих исходных данных: рельсы типа Р65, четырехдырные накладки, шпалы деревянные, скрепление костыльное, балласт щебеночный, конструктивный зазор 23 мм, участок пути, где $t_{\max} = +56 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = -41 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, т. е. $T = 97 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ [10]. В табл. 2 приведены результаты расчета номинальных стыковых зазоров по формуле (5) с точностью 1 мм для укладки 25-метровых рельсов без сезонной разгонки и регулировки.

В соответствии с расчетами в рассматриваемом районе с $T = 97 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ можно укладывать и эксплуатировать 25-метровые рельсы типа Р65 без сезонной разгонки стыковых зазоров в прямых и кривых радиусом более 300 м. В кривых радиусом 300 м в зимы, когда будет проявляться минимальная расчетная температура, будет наблюдаться незначительный изгиб стыковых болтов не превышающий 0,3 мм. В остальные годы изгиба болтов не будет.

Как видно из табл. 2, конструктивный номинальный стыковой зазор следует устанавливать при температуре $-36 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, а нулевой — при температуре $+42 \text{ } ^{\circ}\text{C}$.

Стыковое сопротивление аналогично жесткой заделке фиксированной величины — оно препятствует закрытию и раскрытию зазоров при повышении или понижении температуры до определенного значения, равного перепаду температур для преодоления стыкового сопротивления. Другими словами, стыковое сопротивление — это жесткая заделка фиксированной величины, в пределах которой зазоры не изменяют своего размера. В процессе преодоления стыкового сопротивления в рельсах возникают, растут и достигают величины стыкового сопротивления сжимающие или растягивающие температурные силы. После преодоления стыкового сопротивления в звеневом пути на костыльном скреплении при дальнейшем повышении или понижении температуры зазоры начинают соответственно закрываться или раскрываться. При этом чем больше стыковое сопротивление (величина жесткой заделки), тем позже включается стык в работу. При существующем отношении к затяжке болтов стыковое сопротивление можно принимать равным 100 кН при четырехдырных накладках и рельсах типа Р65. На полное преодоление указанного

стыкового сопротивления потребуется перепад температуры всего лишь в $5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, после чего стыковой зазор начнет закрываться или раскрываться, а длины рельсов изменяться как свободно лежащих.

Анализируя изменения зазоров отмечаем, что летом торцевые давления по одной рельсовой нити и сжимающие силы одинаковы и для обоих конструктивных зазоров соответствуют повышению температур на 8 и $13 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ после появления нулевого зазора.

Необходимо также указать, что при прямом ходе температур (повышении или понижении температуры непосредственно после укладки рельсов в путь и закрепления болтов стыкового скрепления) преодолевается только одно стыковое сопротивление. При обратном ходе температур необходимо преодолевать двойное стыковое сопротивление: вначале убирается наведенное ранее стыковое сопротивление, в процессе которого силы в рельсах уменьшаются до нуля, затем преодолевается стыковое сопротивление другого знака, в процессе которого температурные силы в рельсах от нуля возрастают до величины стыкового сопротивления и выше.

Стыковые зазоры, устанавливаемые на весенне-летний период, и соответствующие им температуры определяются с использованием формул (3–5):

$$\lambda^{\text{вес}} = \alpha l / (t_{\max} - t_R - t), \quad (6)$$

зазоры, устанавливаемые на осенне-зимний период,
 $\lambda^{\text{ос}} = \alpha l / (t_{\min} + t_{\text{roc}} + t_{\text{св ос}} - t). \quad (7)$

Температурный интервал для выполнения сезонного регулирования зазоров определяется по формуле

$$\Delta t = 2\lambda_k / (\alpha l) + 2t_R - T. \quad (8)$$

Сезонное регулирование зазоров должно выполняться при определенных температурах. Границы температурного интервала можно найти по следующим формулам:

$$t^{\text{в}} = t_{\min} + R / (EF) + \lambda_k / (\alpha l); \quad (9)$$

$$t^{\text{н}} = t_{\max} - R / (EF) - \lambda_k / (\alpha l), \quad (10)$$

где $t^{\text{в}}$ и $t^{\text{н}}$ — соответственно верхняя и нижняя границы температурного интервала сезонного регулирования (изменения) стыковых зазоров;

t — температура, соответствующая номинальному стыковому зазору;

R — стыковое сопротивление;

E — модуль упругости рельсовой стали;

F — площадь поперечного сечения рельса (для Р65 — $82,5 \text{ см}^2$);

λ_k — величина конструктивного зазора.

При оптимизации условий эксплуатации звеневого пути (полное использование конструктивной величины стыкового зазора и исключение изгиба болтов) для двух пунктов с одинаковой годовой амплитудой $T = 100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, но разными экстремальными температурами ($+65 \dots -35; +50 \dots -50 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) номинальные стыковые зазоры следует устанавливать по табл. 3.

Как видно из табл. 3, в первом случае температуре $20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ соответствует номинальный стыковой зазор 9 мм, а во втором — 4 мм, т. е. зазоры отличаются друг от друга практически на 5 мм, что довольно существенно и должно быть учтено.

Фактические стыковые зазоры, измеренные МСД, передают в техотдел дистанции пути для анализа их состояния и диагностики. Качественная оценка величин зазоров возможна только при ослабленных

Таблица 2
Номинальные стыковые зазоры 25-метровых рельсов и соответствующие им температуры

Зазор, мм	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Зазор, мм	Температура, $^{\circ}\text{C}$
0	42	12	0
1	38	13	-4
2	35	14	-7
3	32	15	-10
4	28	16	-13
5	25	17	-17
6	21	18	-20
7	17	19	-23
8	14	20	-26
9	10	21	-30
10	7	22	-33
11	4	23	-36

болтах, т. е. при отсутствии стыкового сопротивления. Поскольку же от МСД поступают данные при затянутых болтах, необходимо вводить соответствующие поправки измеренных зазоров в соответствии с существующими рекомендациями.

В различных указаниях прошлых лет, когда зазоры измерялись только вручную, дорожным мастерам рекомендовалось при их промере на «длинных» рельсах вводить поправки ± 2 мм. Для этого на каждом километре необходимо было дважды промерить несколько стыков при затянутых болтах и при ослабленных. Если зазоры уменьшались при этом, то все замеренные стыки уменьшались на 2 мм, если увеличивались, то все зазоры увеличивались на 2 мм. Эта рекомендация не потеряла актуальности и в настоящее время.

Сложность, а зачастую и невозможность получить точное значение стыкового зазора при ослабленных накладках (при отсутствии стыкового сопротивления) для конкретной температуры снижает достоверность анализа состояния зазоров и, соответственно, расчета ведомости их разгонки и регулировки. При этом не всегда запланированная расчетом температура совпадает с температурой рельсов во время «окна», предоставляемого путейцам для выполнения этих работ. Для уменьшения величины ошибки и повышения точности расчетов необходимо в измеренные значения зазоров при затянутых стыковых болтах вносить соответствующие корректизы.

Для этого до промера зазоров должна быть найдена величина поправки к измеряемым (фактическим) зазорам, учитывающая силы трения рельса в накладках, препятствующие свободному изменению зазоров при изменении температуры. С этой целью определяют сумму зазоров в первых четырех стыках (без нулевых зазоров): сначала без откручивания гаек болтов, а затем отпустив их на два-три оборота. Вычисляют разность сумм зазоров, полученных при ослабленных и затянутых болтах. Делением указанной разности на четыре получают величину поправки. Если она положительная, то ее отнимают от фактических значений зазоров (исключая стыки с нулевыми зазорами), а если отрицательная — прибавляют к измеренным зазорам (включая стыки с нулевыми зазорами). По результатам промеров с учетом поправки составляется ведомость или график, по которым и производят работы по разгонке и регулировке зазоров (рис. 3).

На практике каждый раз непосредственно перед пропуском МСД следует предварительно в четырех стыках измерить зазоры, затем ослабить стыковые болты, обстучать накладки и вновь выполнить замеры. Разница позволит установить поправку, на которую при утренней проверке надо уменьшать, а при вечерней увеличивать все измеренные зазоры.

Откорректированные подобным образом зазоры уже можно использовать для анализа и диагностики состояния нитей 25-метровых рельсов, а после рассчитать ведомость для производства работ по разгонке и регулировке зазоров.

Деление сети дорог на три зоны и существующий подход к назначению номинальных стыковых зазоров не позволяют оптимизировать температурную работу 25-метровых рельсов. Устанавливаемые зазоры, в соот-

Таблица 3
Номинальные зазоры для пунктов с одинаковой годовой амплитудой ($T = 100^{\circ}\text{C}$), но разными экстремальными температурами

Зазор, мм	Температура, $^{\circ}\text{C}$, при экстремальных значениях		Зазор, мм	Температура, $^{\circ}\text{C}$, при экстремальных значениях	
	+65...-35	+50...-50		+65...-35	+50...-50
0	48	33	12	8	-7
1	45	30	13	5	-10
2	42	27	14	1	-14
3	39	24	15	-3	-18
4	36	21	16	-7	-22
5	33	18	17	-10	-25
6	29	14	18	-14	-29
7	25	10	19	-17	-32
8	22	7	20	-20	-35
9	19	4	21	-23	-38
10	16	1	22	-27	-42
11	12	-3	23	-30	-45

вествии с действующими нормами, приводят к осложнениям при эксплуатации звеневого пути. В момент наступления минимальных расчетных температур практически повсеместно наблюдается изгиб болтов или неполное использование конструктивной величины зазоров. При этом летом скимающие температурные силы создают угрозу выброса пути. И только в отдельных пунктах зон обеспечивается условие оптимальности температурной работы звеневого пути.

Вызывает сомнение правомерность существующих требований об установке одинаковых зазоров при разных их конструктивных значениях в пределах каж-

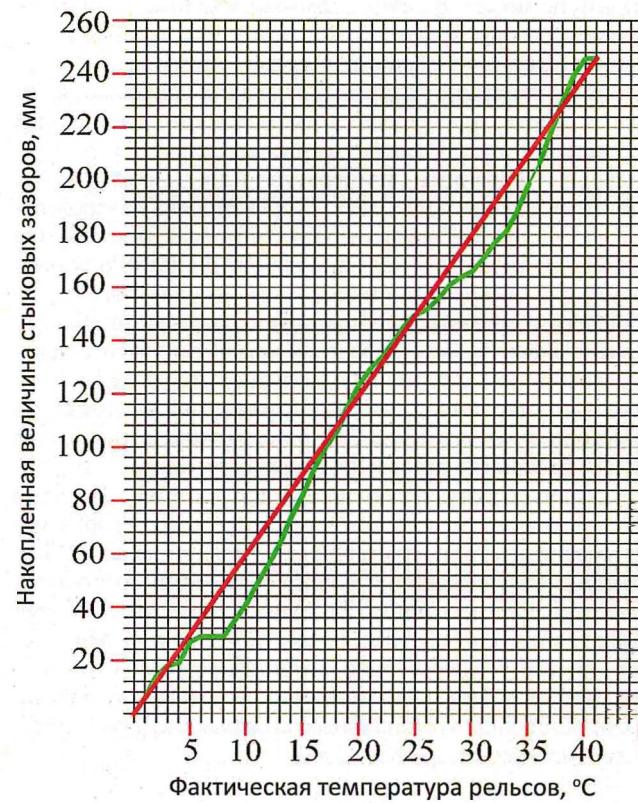


Рис. 3. График регулировки (разгонки) зазоров:
красная линия — накопление нормальных зазоров; зеленая линия — накопление измеренных зазоров

дой климатической зоны, о запрете иметь подряд два и более нулевых зазоров, об обеспечении в изолирующем стыке изменения зазора в очень ограниченных пределах (от 5 до 10 мм) и ряд других рекомендаций.

Границы северной и средней зоны установлены в пределах 20 °С. При этом точность установки зазоров (из расчета 3,4 °С на каждый миллиметр ошибки) в пределах указанных зон составляет от 1 до 6 мм, что вряд ли можно признать удовлетворительным. Указанные недостатки и существующие необоснованные требования к содержанию зазоров звеневого пути явились причиной неправильного подхода при составлении программы для МСД по определению номинальных зазоров при соответствующих температурах.

Поэтому нужны радикальные меры по изменению существующих требований к содержанию зазоров и их корректировке с учетом оптимизации работы звеневого пути во всех климатических районах. В заключение необходимо отметить, что после устранения указанных недостатков станет возможным по распечатке данных МСД о величинах зазоров проанализировать состояние стыков и обосновать необходимость их разгонки или регулировки. Кроме того, на основе диагностических данных МСД можно будет оценить температурную надежность звеневого пути в момент наступления экстремальных температур и спрогнозировать вероятность его выброса летом или изгиба и среза болтов зимой.

Выброс звеневого пути может сформироваться и произойти на длине 55–70 м. При этом один зazor существенного влияния на устойчивость конструкцииказать не может. В связи с этим необходимо учитывать соседние зазоры и определять средний на трех–четырех стыках подряд по обеим рельсовым нитям. По фактическому состоянию зазоров в стыках, в зависимости от плана линии, определяется возможность дальнейшей нормальной эксплуатации звеневого пути при экстремальных значениях температур или необходимость принятия специальных мер (корректировка зазоров перед наступлением максимальных температур летом или включение стыковых болтов в работу на изгиб в зимнее время) для обеспечения надежности его работы.

Следует отказаться от практики назначения единого номинального зазора в пределах каждого климатического региона, при которой на одних дистанциях пути в момент наступления минимальной расчетной температуры наблюдается угроза среза болтов и разрыва стыков, а на других раскрытие зазора не превышает 15 мм, т. е. конструктивный зазор недоиспользуется на 6 мм. Только в отдельных пунктах каждого климатического региона могут обеспечиваться оптимальные условия работы и эксплуатации звеневого пути при соблюдении требований действующей инструкции. Выходит, что не только в пределах границ климатических зон, но даже при одинаковой годовой температурной амплитуде рельсов, но разных их экстремальных значениях возникает необходимость установки номинальных стыковых зазоров, отличающихся друг от друга до 5 мм.

Выводы

1. Из большого количества параметров, контролируемых МСД для оценки состояния пути, нужно ис-

пользовать для звеневой конструкции величину стыковых зазоров, забег стыков, температуру рельсов по обеим рельсовым нитям и величину «ступеньки».

2. В пределах климатических зон, границы которых назначены через 20 °С, ошибка при расчете номинальных стыковых зазоров по существующей методике составляет от 1 до 6 мм, а разность температурных сил может достигать 820 кН.

3. Существующий подход к назначению номинальных стыковых зазоров не позволяет обеспечить оптимальные условия работы и эксплуатации звеневого пути и практически повсеместно приводит или к неполному использованию конструктивного стыкового зазора, или к раскрытию его сверх максимально-го значения и изгибу болтов.

4. В связи с повсеместным распространением МСД необходимо разработать и внедрить на сети дорог программное обеспечение и автоматизированную систему диагностики стыковых зазоров для прогнозирования температурной надежности работы звеневого пути, что повысит эффективность его эксплуатации и безопасность движения поездов.

Список источников

1. Инструкция по текущему содержанию пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 № 2288р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».
2. Временная методика выявления потенциально опасных сборных стыков и утверждения Регламента взаимодействия между службой пути, центром диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры и центром управления содержания инфраструктуры в вопросах контроля содержания рельсовых стыков: утв. Распоряжением ЦДИ от 16.03.2021 № 188р.
3. Мелихов С.Н., Бондаренко А.А., Матвецов В.И. Попикетный контроль стыковых зазоров и температурная надежность звеневого пути // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 8. С. 29–32.
4. Мелихов С.Н., Бондаренко А.А., Матвецов В.И. Звеневый путь: режимы работы, номинальные стыковые зазоры // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 4. С. 24–27.
5. Матвецов В.И., Мелихов С.Н., Бондаренко А.А. Шаблон для определения номинальных стыковых зазоров звеневого пути // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 1. С. 20–22.
6. Изменить подход к назначению стыковых зазоров 25-метровых рельсов / В.И. Матвецов, В.Н. Журавский, Г.Е. Феськов, Н.Е. Мирошников // Роль путевого хозяйства в инфраструктуре железнодорожного транспорта: междунаучно-техн. конференция: труды. М., 2012. С. 301–313.
7. Матвецов В.И., Матвецов К.И. Можно ли выполнить нормы содержания зазоров изстыков? // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 8. С. 23–27.
8. Матвецов В.И. Какие зазоры устанавливать в пунктах с одинаковой температурной амплитудой? // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 3. С. 29–31.
9. Руководство по эксплуатации. Часть 2. Бортовая автоматизированная система. Книга 6. Руководство оператора КИ-АРМ. Дополнительные параметры. ИТСИ.76.00.00.000РЭ1.6.
10. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2544р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».

УДК 625.144

СИСТЕМА БОКОВОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ



ЩЕРБАКОВ В.В., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС),
докт. техн. наук,
КОМЯГИН С.А., СГУПС, ведущий инженер,
ТИМОФЕЕВ Е.Н., СГУПС, аспирант

Аннотация. В статье рассмотрено боковое нивелирование с использованием инновационных технологических решений, в частности, лазерного сканирования. Описана методика вычисления данных для приведения соседнего пути в проектное положение. Представленный подход позволяет своевременно выявлять отступления от проекта с высокой точностью и обеспечивает безопасность в зоне сканирования за счет исключения попадания в негабаритное пространство.

Ключевые слова: геодезическое сопровождение, боковое нивелирование, железнодорожный путь, лазерное сканирование, определение междуупутья.

Способ бокового нивелирования для постановки пути в проектное положение детально рассмотрен в [1]. Он основан на натурном измерении междуупутья нивелирной рейкой, сравнении проектных значения эпюры рихтовок с фактическими данными визуального контроля отклонения отчетов по рейке и расчете величины сдвигки. Практическая реализация способа имеет ряд существенных недостатков. Они обусловлены спецификой опорной плоскости, т. е. пространственным положением соседнего пути, которое с течением времени изменяется в плане и профиле. Актуализация проектных данных повышает точность результатов. Для более качественной постановки пути в проектное положение способом бокового нивелирования используется копировочная струна, которая широко применяется при новом строительстве и ремонтах пути.

Автоматизация постановки пути в проектное положение способом бокового нивелирования от соседнего пути позволяет избежать влияния человеческого фактора и повысить точность, особенно с учетом координирования соседнего пути [1]. В 2012 г. на Западно-Сибирской и Забайкальской дорогах разработана система автоматизированного управления по технологии бокового нивелирования (САУ ТБН) [1, 2]. При этом применяют промышленные лазерные дальномеры, инклинометры, которые обеспечивают получение исходной информации для расчетов сдвигки и подъемки [2, 3].

Управляющий сигнал по рихтовке на подъемно-рихтовочном устройстве (ПРУ) формируется из разности Δl фактической l_f и проектной l_{pr} величин междупутей с привязкой в пространственной

геоцентрической системе координат WGS-84:

$$\Delta l = l_{pr} - l_f. \quad (1)$$

Управляющий сигнал по подъемке на ПРУ равен разности высотных отметок ΔH проектной H_{pr} и фактической ремонтного пути $H_{pr(\phi)}$:

$$\Delta H = H_{pr} - H_{pr(\phi)}. \quad (2)$$

Частота измерений в поперечных сечениях составляет от 1 до 10 Гц, что соответствует приращению пути 0,03–0,3 м, избыточная информация применяется при обработке данных, фильтрации и сглаживании. В САУ ТБН также предусмотрена коррекция измерений междуупутья с учетом угла наклона, автоматизированное тестирование датчиков во время работы, визуализация текущих проектных и фактических данных.

Достоинством САУ ТБН является возможность использования цифрового проекта, созданного по параметрическим проектным данным (традиционные проекты на участок ремонта) и дополнительной съемкой координат приемниками ГНСС в створах опорной контактной сети (ОКС). Стоимость такого проекта в десятки раз ниже оцифровки пути лазерными сканерами и электронными тахеометрами. Как показал опыт создания цифровых проектов на Западно-Сибирской и Забайкальской дорогах, по структуре и форматам они полностью соответствуют требованиям САУ ТБН и обеспечивают проектные решения, заложенные в традиционных проектах на ремонт пути или новое строительство. При этом направляющая консоль на соседний путь для ориентирования на головку рельса лазерного дальномера [2] ограничивает возможности способа из-за остановки работы во время пропуска поезда по соседнему пути, особенно при интенсивном движении.

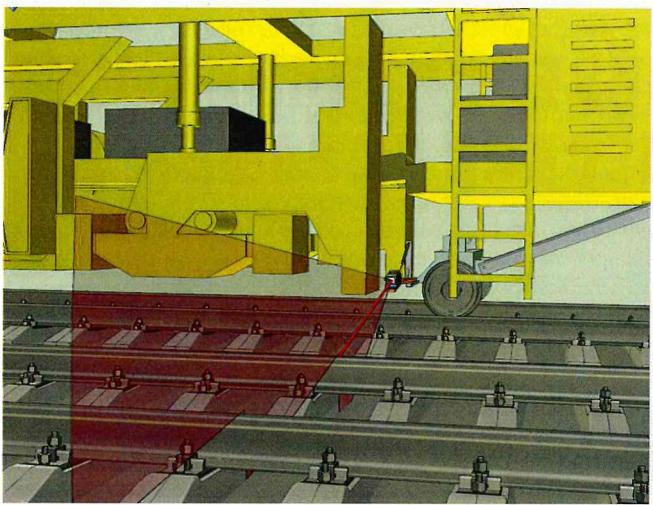


Рис. 1. Лазерное сканирование соседнего пути

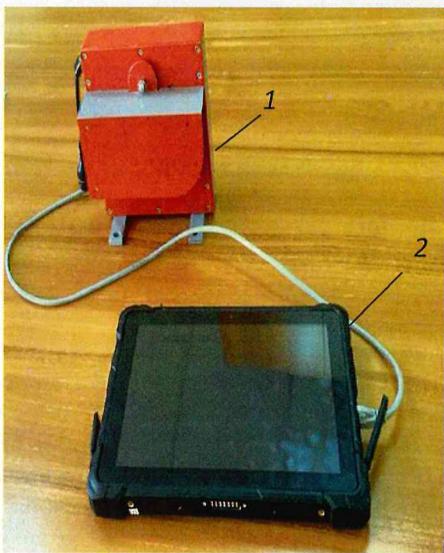


Рис. 2. Сканирующая система для реализации способа бокового нивелирования:
1 — лазерный сканер; 2 — компьютер



Рис. 3. Оборудование для испытаний сканирующей лазерной системы бокового нивелирования

Для исключения ограничений разработана измерительная система для бокового нивелирования на базе лазерного портативного сканера (лидара), в основе которой лежит техническое зрение и компьютерное обучение. Система селективно измеряет координаты только тех объектов, которые заданы оператором (цифровым проектом) и внесены в базу данных, например, таких как головка рельса, железнодорожная платформа, ОКС. Технические решения позволяют отказаться от использования облака точек и постобработки данных лазерного сканирования. Компьютерное обучение дает возможность создавать математическую модель объекта и при измерениях распознавать его в режиме реального времени, определять его координаты и рассчитывать геометрические параметры, например, междуутягие и превышение между соседними путями (рельсами). На рис. 1 представлена общая картина лазерного сканирования соседнего пути портативным лазерным сканером. Из десятков различных объектов и нескольких тысяч координат с использованием математической модели выделяется только головка рельса и соответственно для этого объекта в обработке данных используются плоские прямоугольные координаты. Измерения выполняют в системе координат лидара, при этом, каждое i -е сечение лазерной сканирующей системы привязано к геоцентрической системе координат ГНСС — WGS-84, как и проектные значения в заданных сечениях.

Сканирующая система бокового нивелирования включает портативный лазерный сканер, установленный соосно с демпфирующим устройством, и портативный компьютер (рис. 2).

Портативный лазерный сканер (лидар) использует цилиндрическую развертку. Длина волны лазера составляет 940 нм, луч является невидимым и соответствует стандарту класса IEC 60825-1, частота сканирования от 10 до 30 Гц, угловой диапазон видимости от 45° до 135°. Встроенный веб-сервер лидара позволяет настраивать подключение и параметры системы. Демпфирующее устройство обеспечивает устойчивую и надежную работу в условиях вибрации и повышенных динамических нагрузок при установке оборудования на путевые машины.

Сканирующую систему, установленную на ходовую тележку (рис. 3), исследовали на экспериментальных участках на предмет захвата объекта при сканировании и удержания его при наличии вибрации, внешних помех, кратковременных (0,1–0,3 с) ограничений прямой оптической видимости и наличия других факторов.

Фактическую высотную отметку головки рельса ремонтируемого пути $H_{\text{пп}(\Phi)}$ в любой i -ой точке находят по формуле

$$H_{\text{пп}(\Phi)} = H_{\text{сп}} + \Delta h, \quad (3)$$

где $H_{\text{сп}}$ — высотная отметка соседнего пути;

Δh — фактическое превышение между уровнями ремонтного и соседнего путей.

Превышение Δh смежных путей определяется следующим образом:

$$\Delta h = l_{\phi} \frac{\alpha}{\rho}, \quad (4)$$

где l_{ϕ} — измеренное (фактическое) расстояние между соседними путями;

α — угол возвышения между смежными путями относительно горизонта,

ρ — число секунд в одном радиане, $\rho = 206265''$.

Средняя квадратичная погрешность определения превышения соседних путей вычисляется по формуле

$$m_h = \sqrt{tg^2 \alpha m_d^2 + \frac{d^2}{cos^4 \alpha} \frac{m_{\alpha}^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2}, \quad (5)$$

где α — угол наклона;

d — горизонтальное расстояние (междупутье);

m_d — средняя квадратичная погрешность определения расстояния d ;

m_{α} — средняя квадратичная погрешность измерения угла наклона;

m_i — средняя квадратичная погрешность измерения высоты прибора (системы лазерного сканирования) относительно головки рельса ремонтного пути;

m_v — средняя квадратичная погрешность нахождения, удержания в активной зоне головки рельса при использовании компьютерного обучения и технического зрения.

Для получения объективных данных с минимальными затратами исследования проводили в два этапа. Первый — с использованием ходовой тележки на экспериментальном участке пути длиной 3,2 км. Результаты показали высокую степень устойчивости системы к внешним факторам, стабильность работы после захвата объекта и обеспечение приемлемой для выправочных работ точности при постановке пути в проектное положение. Погрешность измерения междупутья составила около 2 мм, погрешность определения превышения соседних путей составила 4 мм, что соответствует теоретическим (расчетным) значениям (5 мм), полученным по формуле (5). Следовательно сканирующая лазерная система обеспечивает требования постановки пути в проектное положение с использованием технологии бокового нивелирования при установке системы на выправочные машины, определении габаритов приближения строений в реальном времени.

На втором этапе испытание системы проходило на выправочных машинах, оборудованных САУ ТБН, с направляющей консолью и без нее. В начале одновременно с САУ ТБН выполняли измерения системой лазерного сканирования, а затем лазерную сканирующую систему подключали к системе управления ПРУ, которая показала высокую эффективность работы при движении поездов по соседнему пути в условиях повышенных динамических нагрузок. В отличие от САУ ТБН [2] новая версия не требует остановки выправочных машин при движении поездов по соседнему пути, кратковременные помехи также не влияют на результаты измерений, при этом используется цифровой проект (структура, форматы) и оборудование САУ ТБН.

Заключение

Выполненное исследование представляет собой инновационное решение в области постановки пути в проектное положение, основанное на известной методологии способа бокового нивелирования от соседнего пути, возможностях компьютерного обучения и методах измерений, в основе которых лежит техническое зрение. Благодаря реализованным решениям, разработанному программному обеспечению, системе лазерного сканирования повышается качество постановки пути в проектное положение с более высокой производительностью и точностью, обеспечивая при этом безопасность за счет работы оборудования в пределах габарита без физического контакта (сопряжения) с другими объектами инфраструктуры.

Список источников

- Постановка пути в проектное положение с использованием бокового нивелирования / В.В. Шербаков, А.А. Быков, А.А. Земерова, С.А. Комягин, И.В. Шербаков // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 8. С. 31–35.
- Патент 136048 РФ, Е01 В29/04. Устройство для выправки железнодорожного пути / авторы и патентообладатели: В.В. Шербаков, И.В. Шербаков, А.Н. Модестов, И.А. Бунцев, В.П. Славкин. № 2013134278/11; заявл. 22.07.2013, опубл. 27.12.2013; Бюл. № 36.
- Патент 2628541 РФ, В61К 9/08; Е01В 35/00. Способ определения пространственных координат и геометрических параметров рельсового пути и устройство для его осуществления / В.В. Шербаков, И.А. Бунцев, И.В. Шербаков; заявитель и патентообладатель В.В. Шербаков. № 2016106560; заявл. 24.02.2016; опубл. 18.08.2017; Бюл. № 23. 7 с.

LATERAL LEVELING SYSTEM FOR CONTROL OF GEOMETRIC PARAMETERS

Shcherbakov Vladimir — D.Sc, Professor, Head of the Department of «Engineering Geodesy» of the Siberian State University of Railway. Novosibirsk, Russia, SPIN-код: 3182-4010.

Komaygin Sergey — lead engineer, scientific research laboratory of the «Diagnostics of road clothes and roadbed» of the Siberian State University of Railway. Russia, Novosibirsk, SPIN-код: 1421-9456.

Timofeev Egor — postgraduate of the Department of «Engineering Geodesy» of the Siberian State University of Railway. Novosibirsk, Russia, egtini@vk.com, SPIN-код: 6459-7131.

Abstract. This article discusses lateral leveling using innovative technological solutions, in particular, laser scanning. A data calculation technique is described to bring the adjacent path into the design position. The presented approach allows timely detection of deviations from the project with high accuracy and ensures safety in the scanning area by excluding ingress into an oversized space.

Keywords: geodetic support, lateral levelling, railway track, laser scanning, track spacing determination.

ПРИМЕНЕНИЕ БАЛОК С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ В МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ



ЧИЖОВ С.В., Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС), канд. техн. наук,
КАПТЕЛИН С.Ю., ПГУПС, канд. техн. наук,
РУСИН А.А., ПГУПС, аспирант

Аннотация. Рассмотрен мировой опыт применения конструкций балок с гофрированной стенкой в пролетных строениях мостовых сооружений. Проанализированы их достоинства по сравнению с конструкциями сварных балок с плоской стенкой и приваренными ребрами жесткости. Рассмотрена возможность применения конструкций балок с гофрированной стенкой в мостовых сооружениях.

Ключевые слова: гофрированная стенка, сталежелезобетонный мост, металлический мост, предварительно напряженный железобетон.

Мостовые сооружения играют ключевую роль в инфраструктуре транспортных объектов. Одним из наиболее важных элементов таких сооружений являются пролетные строения, которые несут на себе вес дорожного покрытия и транспортных средств. В последние годы для повышения экономических показателей рассматривают применение в пролетных строениях гофрированных стенок балок.

В промышленно-гражданском строительстве гофрированные балки начали широко применяться в середине 1980-х гг. Были разработаны определенные методики расчета. Проектировали их, используя численный метод расчета тонкостенных стержней открытого профиля, концептуальные положения которого были разработаны проф. В.З. Власовым. Следует отметить, что гофрированные балки можно также рассчитывать, применяя теорию оптимального проектирования, где основным критерием является распределение материала в соответствии с формой гофрирования стенки [1, 2].

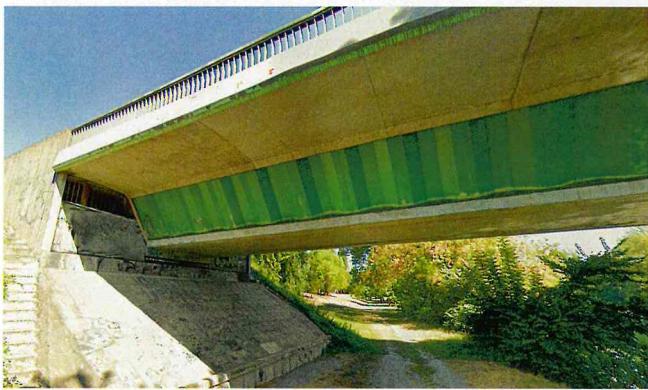


Рис. 1. Первый сталежелезобетонный мост с гофрированными стенками Pont de Cognac (Франция)

Первое сталежелезобетонное пролетное строение неразрезной системы с коробчатыми главными балками с металлическими гофрированными стенками и предварительно напряженными железобетонными плитами проезжей части и нижнего пояса было при-

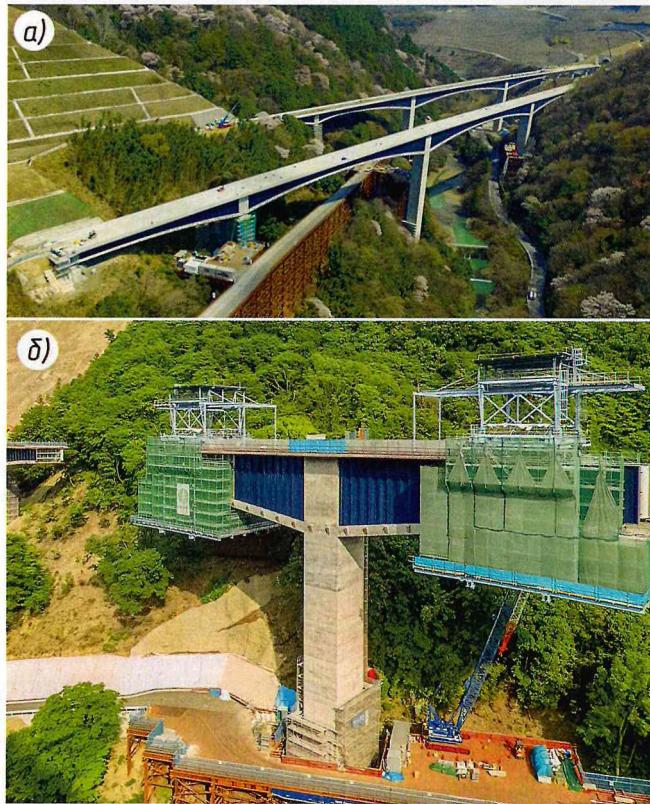


Рис. 2. Сталежелезобетонный мост Aigawa Bridge (Япония), построенный с применением гофрированной стенки и предварительно напряженного армирования:
а — фасад мостового сооружения; б — стадия сооружения навесным бетонированием рамно-неразрезной системы

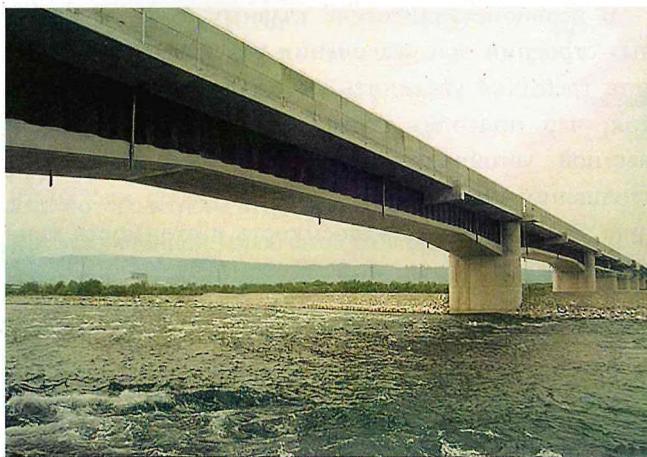


Рис. 3. Мост через р. Куробе (Япония)

менено в конструкции автодорожного моста Pont de Cognac во Франции в 1986 г. (рис. 1) [3].

С того времени в мире построено свыше 200 мостовых сооружений подобных конструкций. Мост Aigawa Bridge (Япония) имеет самый длинный пролет из когда-либо построенных гофрированных балок; его длина составляет 179 м (рис. 2) [4].

Первый двухпутный железнодорожный мост с пролетными строениями с гофрированной стенкой был построен через р. Куробэ (Япония) в 2004 г. [5]. Длина моста составляет 344 м с максимальным пролетом 72 м (рис. 3).

Гофрированные металлические стенки объединены с железобетонными плитами проезжей части и нижнего пояса за счет пропуска поперечной арматуры плиты проезжей части в отверстия гофрированных стенок (рис. 4).

Сталежелезобетонные главные балки неразрезного пролетного строения имеют коробчатое сечение (рис. 5).

Нижний железобетонный пояс имеет переменную толщину, минимальную в середине пролета (для обеспечения защиты арматуры от коррозии) и максимальную над опорой (для восприятия сжимающих напряжений). Армирование пролетных строений выполнено рабочей арматурой, установленной в железобетонных поясах и внешним армированием высокопрочными канатами, расположенными в соответствии с напряженным состоянием в неразрезной балке (рис. 6).

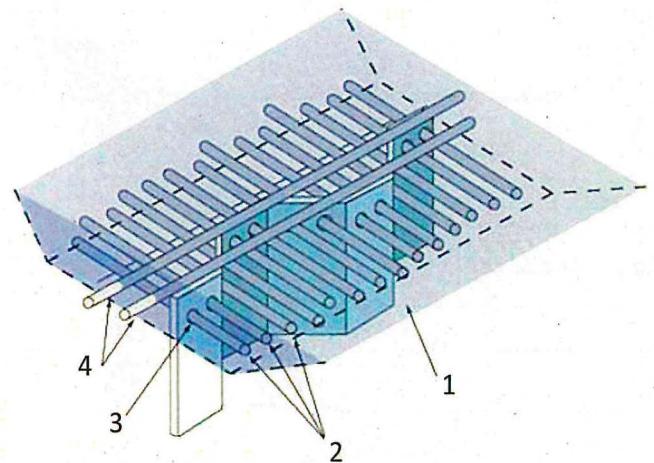


Рис. 4. Схема объединения железобетонной плиты с гофрированной стенкой:

- 1 — железобетонная плита;
- 2 — поперечная арматура;
- 3 — технологические отверстия в гофрированной стенке;
- 4 — продольная арматура

В настоящее время наиболее интенсивно исследуется применение гофрированной стенки для транспортных сооружений в КНР, Японии, Швейцарии, США и Казахстане. Гофрированные балки пролетных строений все более широко применяются в современном мостостроении благодаря их технологичности, экономичности, долговечности и надежности.

Процесс производства балок с гофрированной стенкой в заводских условиях полностью автоматизирован, что позволяет с высокой точностью изготавливать изделия необходимого сечения и требуемого качества.

Разработаны различные формы гофры и способы гофрирования листового металла. Самым технологически рациональным считается вертикальное расположение гофры в виде синусоиды, трапеции или треугольника.

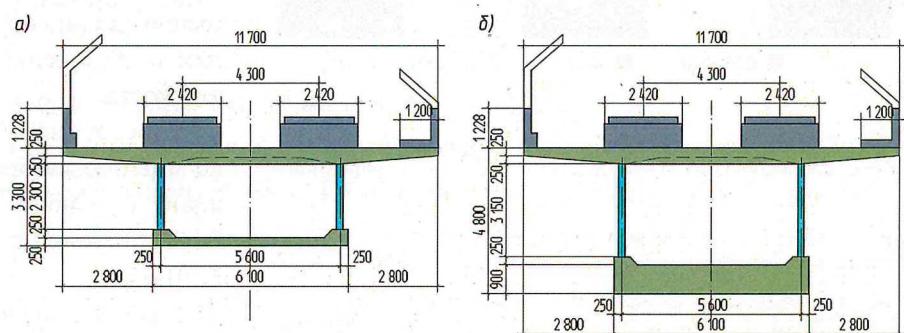


Рис. 5. Поперечные сечения в середине пролета (а) и над опорой (б)

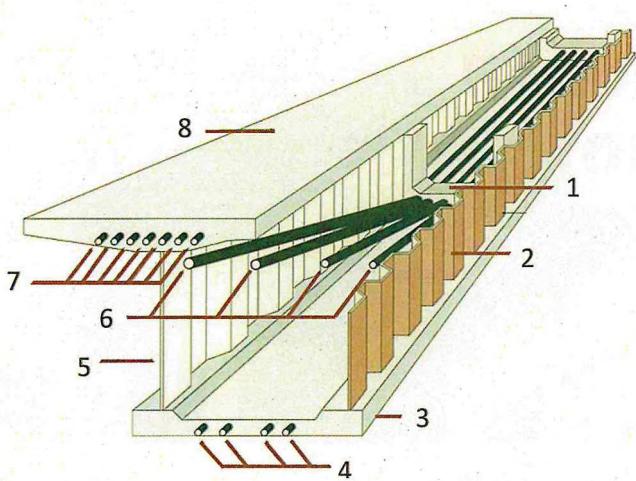


Рис. 6. Схема армирования пролетного строения:
1 — диафрагма; 2, 5 — металлическая гофрированная стенка; 3 — нижняя железобетонная плита; 4, 7 — внутреннее предварительное напряжение бетона; 6 — внешнее предварительное напряжение бетона; 8 — верхняя железобетонная плита

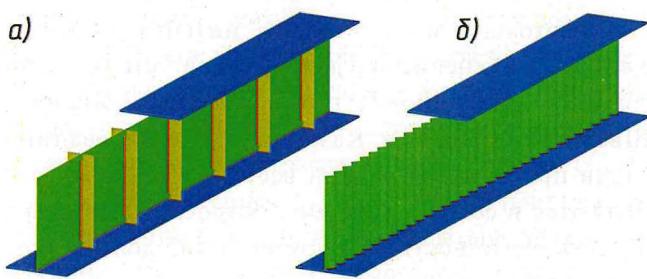


Рис. 7. Сплошностенчатая балка с ребрами жесткости (а) и гофрированная балка (б)

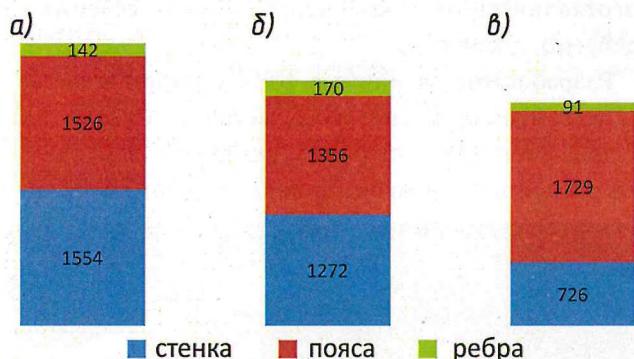


Рис. 8. Металлоемкость, кг, 18-метровых балок:
а — сплошностенчатой; б — с гибкой стенкой; в — гофрированной

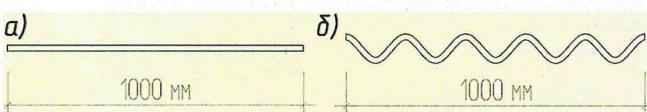


Рис. 9. Прямое (а) и синусоидальное (б) сечение балки

В цельнометаллических главных балках пролетных строений при увеличении перекрываемого пролета требуется увеличить высоту поперечного сечения, что приводит к необходимости обеспечения местной устойчивости стенки балки. Вследствие утолщения стенки либо приварки ребер жесткости (рис. 7, а) растут металлоемкость и стоимость конструкции.

Кроме того, сварные швы в местах приварки ребер жесткости являются концентраторами напряжений и способствуют образованию усталостных трещин.

Балка с гофрированной стенкой (рис. 7, б) обладает необходимой прочностью, местной устойчивостью стенок при меньшей толщине листового металла, что подтверждается исследованиями проф. В.В. Горева [6]. Он сравнил расход стали для трех видов балок с минимально допустимыми сечениями при одинаковых условиях и нагрузках (рис. 8).

Экономия металла гофрированной балки по сравнению со сплошностенчатой составила 21 %, по сравнению с балкой с гибкой стенкой — 9 %.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

Гофрирование значительно повышает изгибную жесткость стенки в плоскости, перпендикулярной оси пролетного строения. Сравним моменты инерции балок прямого и синусоидального сечений (рис. 9).

Момент инерции стенки с высотой гофры 8 см при толщине стенки 6 мм превышает момент инерции плоской стенки толщиной 12 мм в 40 раз (см. таблицу).

Характеристика	Сечение	
	прямое	синусоидальное
Толщина стенки, мм	12	6
Момент инерции, см ⁴	14	549

Возрастание момента инерции позволяет предотвратить опасность образования и роста усталостных трещин в сварном шве, соединяющем стенку со сжатым поясом балки, и сварных швах приварки ребер жесткости.

Конструкция балок с гофрированной стенкой, по мнению авторов, позволит возобновить применение отмененных Приказом МПС от 08.12.1981 № 38361 пролетных строений типового проекта 3.501-75.

В рамках дипломного проектирования на кафедре «Мосты» ПГУПСа коллективом авторов настоящей статьи разработан дипломный проект на тему «Проект

эстакады на ПК 762 + 78,65 — ПК 766 + 15,25 ВСМ-2 «Москва—Казань—Екатеринбург», удостоенный премии К.Г. Протасова. В нем разработаны конструкции экстрадозного пролетного строения со стальжелезобетонной коробчатой балкой жесткости с тремя трапецидально-гофрированными металлическими стенками в поперечном сечении и предварительно напряженными железобетонными плитами (рис. 10).

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о перспективности применения гофрированной стенки в мостостроении, так как это будет способствовать значительной экономии металла, увеличению срока службы мостов и обеспечению безопасности на дорогах. Дальнейшие исследования ускорят широкое внедрение гофрированной стенки в гражданском и транспортном строительстве и повысят качество транспортной инфраструктуры.

Экономическая эффективность использования гофрированных балок увеличивается при росте объемов производства. Потребуется вложить значительную долю инвестиций в организацию мест по производству гофрированного металла, наладить комплексный процесс по выпуску продукции, создать нормативную базу по результатам исследований и испытаний, изучить и улучшить способы монтажа таких конструкций. Данные исследования актуальны для реализации перспективных планов создания ВСМ со значительным количеством искусственных сооружений.

Список источников

1. Дмитриева Т.Л. Параметрическая оптимизация в проектировании конструкций, подверженных статическому и

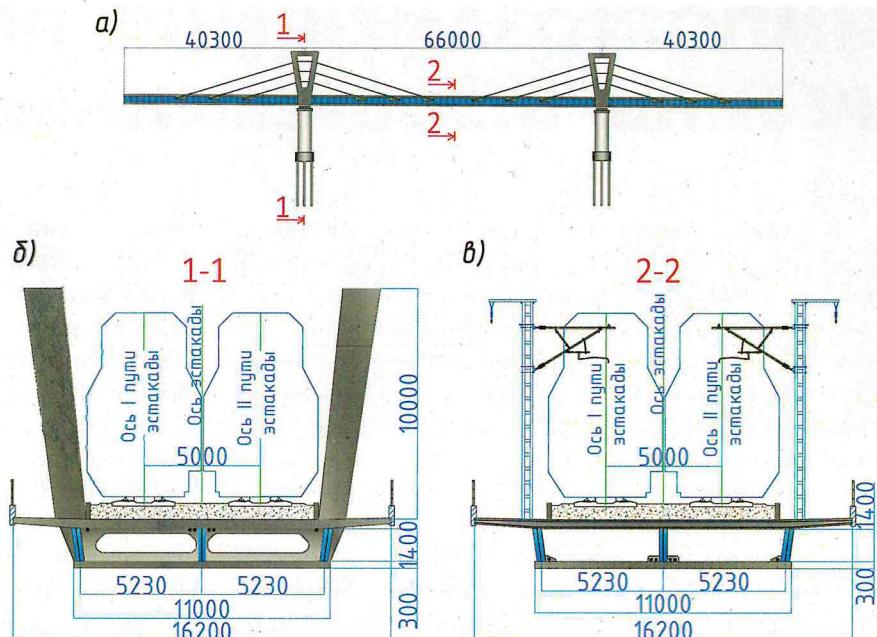


Рис. 10. Проект экстрадозного моста для ВСМ-2 «Москва—Казань—Екатеринбург»: а — фасад; б, в — поперечное сечение соответственно над опорой и в середине пролета

динамическому воздействию: Монография. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. 175 с. EDN TOGMMB.

2. Дмитриева Т.Л., Ле Чан Минь Да, Нгуен Ван Ты. Реализация алгоритмов численной оптимизации в современных программных комплексах: монография. Иркутск: Изд-во ИрНИТУ, 2015. 160 с.

3. Rui Juan Jiang; Francis Tat Kwong Au; and Yu Feng Xiao (2014) Prestressed Concrete Girder Bridges with Corrugated Steel Webs: Review, American Society of Civil Engineers, DOI: 10.1061/(ASCE) ST.1943-541X.0001040 (дата обращения: 22.02.2024).

4. Aigawa Bridge // Wikipedia. 2020. URL: https://highest-bridges.com/wiki/index.php?title=Aigawa_Bridge (дата обращения: 23.02.2024).

5. Kurobegawa Bridge: фото. URL: https://www.doboku-watching.com/index.php?Kiji_Detail&kijiId=630 (дата обращения: 26.03.2024).

6. Металлические конструкции. Т. 1. Элементы конструкций: учебник / под ред. В.В. Горева. М.: Высш. школа, 2004. 551 с.

APPLICATION OF CORRUGATED WALL BEAMS IN BRIDGE STRUCTURES

Chizhov Sergey — Ph.D., Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Department of Bridges, Head of the Department. Saint-Petersburg, Russia. sergchizh@yandex.ru. SPIN-code: 6419-1111.

Kaptelin Sergey — Ph.D., Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Department of Bridges, Associate Professor. Saint-Petersburg, Russia.

Rusin Artem — Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Department of Bridges, postgraduate student. Saint-Petersburg, Russia.

Abstract. This article discusses world experience in the use of beam structures with corrugated walls in the spans of bridge structures. The main advantages of beam designs with a corrugated wall are analyzed in comparison with the designs of welded beams with a flat wall and with welded stiffeners. The possibility of using beam structures with a corrugated wall in bridge structures designed in the Russian Federation is discussed.

Keywords: Corrugated wall, steel-reinforced concrete bridge, prestressed concrete.

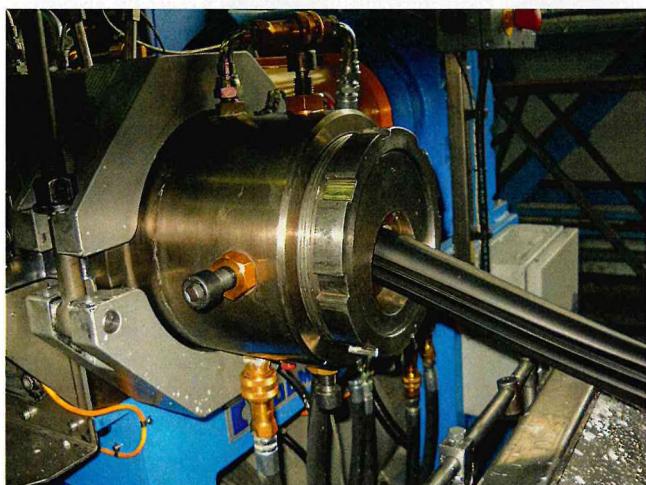
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ИЗ РЕЗИНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В связи с введенными против России санкциями и обусловленным этим удлинением логистических цепочек и сроков поставок, а также ростом дополнительных издержек и заградительным финансовым контролем, работа с иностранными поставщиками становится все более сложной. Поэтому на российском рынке усиливаются тенденции к поиску надежных поставщиков качественной продукции внутри страны, в частности, — сложных профилей из резины для уплотнения различных соединений в различных отраслях промышленности.

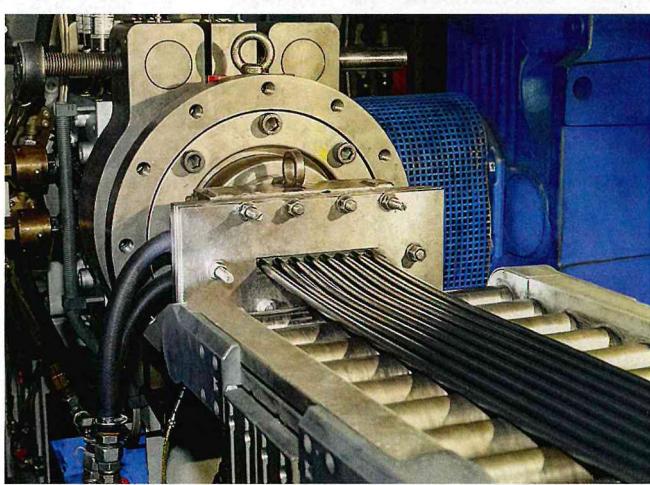
Однако выбор возможных альтернативных поставщиков в России сильно ограничен по причине технологической отсталости соответствующих отечественных производств и сложности геометриче-

ских сечений замещаемых уплотнителей, а также из-за высокого уровня требований эксплуатационного характера к аналогам, поставлявшимся на российский рынок до введения санкций из Швеции, Финляндии, Германии, Швейцарии, Китая и других стран.

ООО «Обнинскгазполимер» располагает уникальным для производств резиновых технических изделий в России набором технологических возможностей по изготовлению профилей самой сложной конструкции из резин на основе этилен-пропиленовых (EPDM) и маслобензостойких бутадиеннитрильных (NBR) каучуков, в том числе пористых. Эти исключительные возможности для замещения профилей иностранных фирм предоставляют технологические



Технологический экструзионный инструмент



Производство крупногабаритного профиля



Образцы готовой продукции



Им нет числа...

линии, не имеющие равнозначных аналогов у предприятий-конкурентов в России:

линия комбинированной воздушно-соловой вулканизации, позволяющая получать профили самой сложной конструкции;

линия воздушной вулканизации с дополнительным каналом микроволнового нагрева, имеющая повышенные размеры каналов, что позволяет производить крупногабаритные профили размером до 330×80 мм и массой до 5 кг/пог.м.

При постоянно меняющихся условиях поставок составных компонентов резины, вызванных санкционными ограничениями и приобретаемых у иностранных фирм, нами оперативно отрабатываются и внедряются в серийное производство аналоги основных марок резиновых смесей на доступных компонентах, что позволяет избежать негативных последствий введенных ограничений.

Усилиями специалистов предприятия, имеющих многолетний опыт, мы в сжатые сроки выполняем полный комплекс работ по конструкторской разработке, изготовлению и корректировке необходимого технологического инструмента и оснастки на собственном инструментальном производстве и освоению технологического процесса выпуска новых профилей.

В основном профили для светопрозрачных конструкций производятся по ГОСТ 30778–2001 «Прокладки уплотняющие для оконных и дверных блоков», иные профили — по техническим условиям общепринятого применения, а также специальным техническим условиям, разработанным совместно с заказчиками для отдельных видов продукции.

ООО «Обнинскгазполимер» производит широкую номенклатуру профилей из плотных и пористых резин, в том числе профили, армированные крдной нитью.

Изготавливаемые нашим заводом профили из специальных резин выполняют функции уплотнения и герметизации в специальных разъемных и неразъемных соединениях, применяемых на железнодорожном транспорте, в оконных и дверных конструкциях обеспечивая при этом, снижение уровня шума и вибропоглощение.

Благодаря уникальным свойствам резины, таким как эластичность и упругость, резиновые профили находят самое широкое применение в железнодорожной технике. Уплотнение и обрамление окон и дверей вагонов, лобового остекления кабины локомотивов, наружных фар и прожекторов, молдингов, профиль-накладок, крышек люков электропоездов, грузовых, специальных и пассажирских вагонов, уплотнениях кожухов главного редуктора и аккумуляторных боксов магистральных и маневровых тепловозов, а также



Пролет производственного цеха экструзии профилей

светопрозрачных строительных конструкций вокзалов и привокзальных павильонов, информационных табло и пр.

Наши профили из EPDM-резин имеют повышенные термо-, свето-, озоно-, морозостойкие свойства, работоспособны при всех видах атмосферного воздействия в интервале температур от -55 до +135 °C, имеют высокие прочностные показатели.

Лабораторные испытания методом ускоренного старения профилей из EPDM-резин ООО «Обнинскгазполимер» установили их работоспособность не менее 50 лет условной эксплуатации (подтверждено Протоколом испытаний в НИИ строительной физики РААСН).

Профили могут поставляться погонажом в бухтах, намотанными на катушки и отрезками мерной длины, а также в виде деталей — стыкованными в кольца или в рамки методом склеивания или методом горячей совулканизации.

На выбор заказчика дополнительно предоставляется возможность нанесения на поверхность производимых изделий антифрикционной эмульсии, kleящегося слоя.

Таким образом, вышеописанные производственные возможности ООО «Обнинскгазполимер» позволяют достойно конкурировать и полностью замещать иностранные аналоги, в чем уже смогли удостовериться ряд российских предприятий в области машино- и вагоностроения, общестроительных и прочих областей промышленности.

С более подробной информацией, фото- и видеоматериалами производства, сертификатами на продукцию, научными статьями, контактами и обширным каталогом освоенных профилей вы всегда можете ознакомиться на нашем сайте www.ogp-obninsk.ru.

Приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству!



ИСТОРИЯ КИПАРИСОВСКОГО ТОННЕЛЯ

При составлении проекта было учтено, что «толща пород, слагающих Кипарисовский перевал, состоит из пластов глинистых и песчано-глинистых сланцев, простирающихся почти параллельно оси тоннеля и разбитых многочисленными трещинами, которые заполнены кальцитом. Пласти сланцев местами перерезаны сбросами мощностью от 0,10 до 6,00 саж. (от 2 до 13 м), заполненными глиной, илом и галькой» [5]. В связи с этим при сооружении тоннеля решили применять два типа обделки: где меньше трещин и отсутствуют сбросы, при слабом давлении породы и заполнениях между сводом и породой, не превышающем 1500 пудов (около 24,5 т) на 1 кв. саж. горизонтальной проекции — тип Б (рис. 3); где много трещин и имеются сбросы, при более сильном давлении породы и заполнениях, не превышающих 2500 пудов (свыше 40 т) на 1 кв. саж. горизонтальной проекции — тип В (рис. 4).

Спроектированный двухпутный тоннель длиной в 300 саж. (720 м) имел подковообразное очертание и находился в кривой радиусом 200 м. Впоследствии один из проектировщиков Б.Б. Снарский в своей «Записке к проекту обделки двухпутного тоннеля через Кипарисовский перевал» отмечал, что при выборе формы и размеров тоннеля были большие сложности, так как в то время теории давления горных пород еще не существовало и «была сделана попытка изыскать для обделок рациональную форму» [6].

Пока совершенствовали проект и искали подрядчика для производства работ, образованная при Обществе КВЖД контора по переустройству Уссурийской линии начала заготавливать камень и лесные материалы, в первую очередь, необходимые для тоннельных крепей. В сентябре 1913 г. строители приступили к прокладке пути будущего тоннеля и устройству разъезда, получившего название Кипарисов-Новый, расположенного в километре от действующей линии с разъездом Кипарисов-Старый.

На состоявшихся 24 октября 1913 г. в здании Управления КВЖД в г. Харбине (Китай) торгах подряд на строительство тоннеля достался инженеру Петру (Пьетро) Ивановичу Джубелло-Сокко. Этот выходец из Италии, перешедший в российское подданство, обошел конкурентов, предложив наименьшую цену. Он был опытным специалистом, работавшим ранее на сооружении стальных магистралей в Турции и на Кавказе, на Кругобайкальской и Амурской железных дорогах. Руководителем строительства был назначен инженер путей сообщения Иосиф Францевич Лучко.

Получив подряд, П.И. Джубелло-Сокко немедленно заказал необходимое оборудование и приступил к возведению рабочего городка. Он включал в себя технические (электростанция, компрессорная, лесопилка) и хозяйственные постройки, здание конторы, отдельные помещения для представителей технического персонала и их семей и просторные бараки

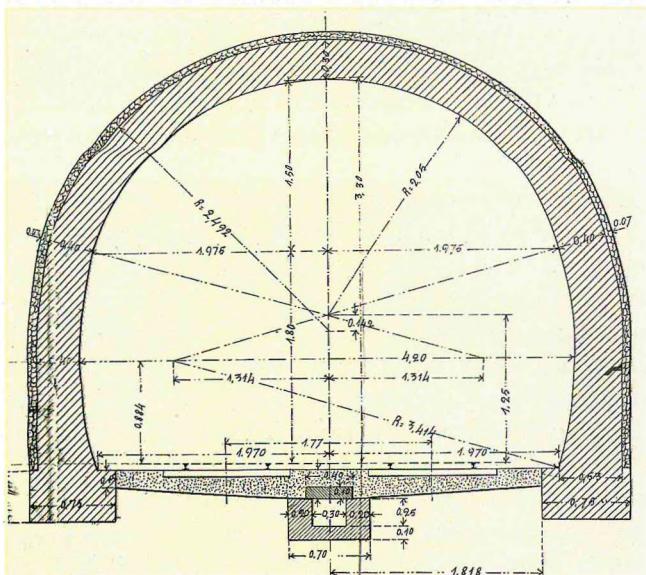


Рис. 3. Обделка тоннеля. Тип Б

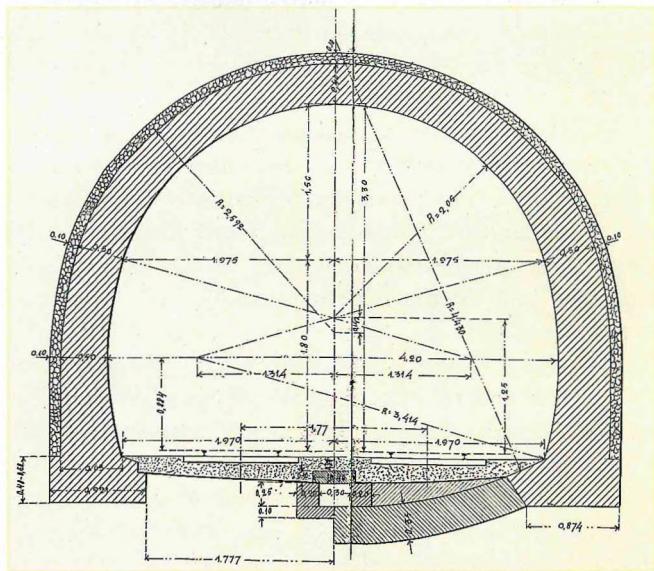


Рис. 4. Обделка тоннеля. Тип В: слева — без нижнего обратного хода, справа — с обратным нижним ходом

для рабочих, о жизни и быте которых П.И. Джибелло-Сокко чрезвычайно заботился, и они следовали за ним от одной стройки к другой. В городке была своя больница, прачечная, клуб (собрание) с библиотекой и залом для кинематографа, школа, три столовых, хлебопекарня, продуктовые лавки и даже небольшой завод для производства кваса.

В ноябре 1913 г. началась разработка подъездных выемок и заготовка бутового камня, а в первых числах декабря были заложены три шахты из четырех. Зимой 1913/14 гг. завезли механическое оборудование (компрессоры, пневматические перфораторы и т. п.), после чего приступили к проходке штолен. Всего на постройке тоннеля трудилось свыше трех тысяч человек, в три смены по 8 ч.

Торжества, посвященные началу работ, состоялись 28 апреля 1914 г. в присутствии приамурского генерал-губернатора Н.Л. Гондатти и многочисленных гостей, среди которых был известный художник и писатель А.Н. Бенуа. К этому времени уже частично закончили с подходными выемками, пробили четыре шахты (на глубину до 20 м каждая) и прошли около 500 м верхней направляющей штольни.

Ознакомившись с постройкой, генерал-губернатор выступил с речью, отметив какое большое государственное значение имеет реконструкция Уссурийской линии и сооружение тоннеля, в частности. «Двадцать три года тому назад наш Венценосный монарх, тогда еще наследник цесаревич, заложил первое звено Уссурийской линии, являющейся окончанием Великого Сибирского пути. Путь этот теперь близок к окончанию... Недалеко уже то время, когда от Москвы до берегов Великого океана будет единый рельсовый прямой путь, проложенный по исконно русским землям». Затем, обращаясь к рабочим, большинство из которых прибыли из центральных губерний страны, Н.Л. Гондатти произнес: «Работы начаты отлично! Дай вам Бог также продолжать и заканчивать их, а вашим оставшимся в России семьям не пожалеть, что их кормильцы здесь» [7].

С самого начала строители столкнулись со множеством непредвиденных препятствий, которые, казалось бы, неизбежно могли привести к срыву намеченного графика. В августе 1914 г. разразилась Первая мировая война (1914–1918). В результате начавшейся мобилизации многих рабочих призвали в армию, а часть заканчивших за границей необходимых машин и механизмов «застряла» в Европе. Тогда П.И. Джибелло-Сокко договорился с начальником постройки Восточно-Амурской железной дороги А.В. Ливеровским и получил часть нужного оборудования с тоннелей Малого Хингана (Лагар-Аульского и Тарманчуканского), строительство которых подходило к концу. Также из-за войны начался рост цен на материалы и продукты, возник дефицит динамика для производства взрывных работ.

Большие трудности возникли из-за необходимости везти часть инструмента и строительных материалов через российско-китайскую границу. Сначала таможня задержала вагонетки, которые П.И. Джибелло-Сокко

приобрел на складе КВЖД в Харбине, требуя представить на них документы. Поскольку вагонетки закупили еще во время постройки КВЖД в 1898–1901 гг., а во время «Боксерского» восстания и погрома на линии почти вся документация была уничтожена, то это требование оказалось невыполнимым. Когда эту проблему удалось решить, то возникла другая: качественный гранит для облицовочной обделки тоннеля также доставлялся из Китая, со станции Силинхэ (КВЖД), что вызвало новые осложнения на таможне, связанные с уплатой пошлин и налогов за перевозку камня через границу.

Кроме того, уже после начала строительства проектную длину тоннеля увеличили сначала до 385 саж. (820 м), а в итоге довели до 443,43 (944,6 м). Сам тоннель был очень сильно обводнен, и на некоторых участках рабочие трудились по колено в воде. Из-за этого пришлось отказаться от электрического освещения и пользоваться масляными фонарями.

Несмотря на возникшие трудности, П.И. Джибелло-Сокко и И.Ф. Лучко сумели так организовать работы, что уже 17 октября 1914 г., на четыре месяца раньше установленного срока, штольня была насквозь пробурена. Газета «Приамурская жизнь» сообщила: «С 48-й версты Уссурийской линии получена телеграмма о том, что пройдена буром тоннельная стенка толщиною в 1½ сажени, разделяющая встречные направляющие штольни. Озnamенование официальной смычки будет назначено особо. На смычке будет присутствовать главный начальник края шталмейстер Н.Л. Гондатти» [8].

Торжества по случаю сбояки тоннеля состоялись 21 октября 1914 г., когда партии рабочих, пробивавших штольню одновременно из Владивостока и Хабаровска, соединились. При этом особое внимание уделили тому факту, что, несмотря на столь интенсивное строительство, среди тружеников «не было ни одного случая смертельного поранения или серьезногоувечья» [9].

После начала войны финансирование на переустройство Уссурийской линии сильно урезали. Однако, понимая важность Кипарисовского тоннеля, ассигнования на его сооружение осуществлялись в полном объеме. Строительство вели ударными темпами и к 1-му марта 1915 г. выполнили поставленное задание на 75 %. Корреспондент одного из дальневосточных изданий в августе 1915 г. написал, что проходка тоннеля буровзрывным методом уже полностью закончена; подземная галерея сделана и теперь завершается кладка сводов и связанные с этим ручные каменотесные работы [10].

В ноябре 1915 г. из Петрограда для осмотра производимого переустройства Уссурийской линии прибыл помощник председателя Правления КВЖД А.Н. Вентцель. Особое внимание он обратил на Кипарисовский тоннель и остался доволен ходом работ. Благодаря этому в следующем 1916 г. П.И. Джибелло-Сокко смог получить от КВЖД очередной подряд на сооружение тоннеля во Владивостоке (впоследствии получивший название «Тоннель им. Сталина»).

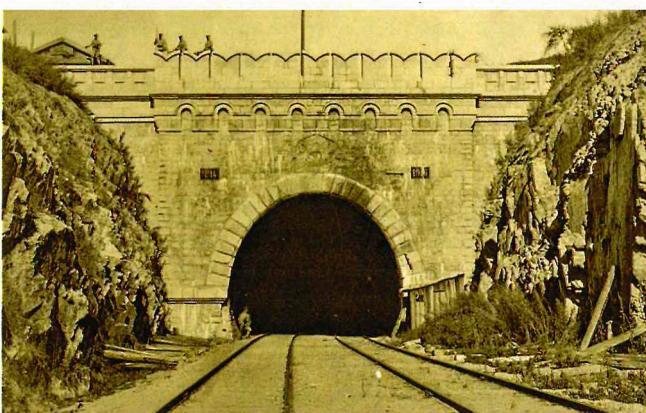


Рис. 5. Кипарисовский тоннель вскоре после окончания постройки

В декабре 1915 г. было открыто движение рабочих поездов по одному пути. К сожалению, тогда же произошла трагедия: рабочие занесли в контору дневной запас динамита, и по неустановленной причине произошел взрыв, во время которого были убиты и ранены 12 человек. Среди погибших оказались ближайшие помощники и земляки П.И. Джибелло-Сокко — Франческо Бонино и Чезаре Бене.

В ноябре 1916 г. строительство тоннеля в основном завершили, и началось движение поездов по второму пути (рис. 5). Официальная сдача в эксплуатацию состоялась 12 января 1917 г. Приемная комиссия отметила, что, несмотря на трудности военного времени, тоннель построен качественно и в относительно короткий срок. Удалось это благодаря слаженной совместной работе опытного подрядчика П.И. Джибелло-Сокко, строителя тоннеля И.Ф. Лучко, «хорошего и экономичного хозяина» и государственного контролера Э.В. Левицкого, «чуждого узкого формализма, всегда рассматривавшего все вопросы по существу и идущего навстречу интересам дела» [11].

В начавшейся вскоре Гражданской войне (1918–1922) Кипарисовский тоннель из-за своей стратегиче-

ской важности стал объектом пристального внимания противоборствующих сторон, пытавшихся взять его под свой контроль.

В апреле 1920 г. отступавшие из Владивостока военные подразделения подорвали свод тоннеля с северной стороны. В пробитую брешь диаметром около 5 м обвалились камень и порода, образовав завал с толщиной слоя около 8 м [12]. Однако довольно быстро разрушения удалось устранить и восстановить движение поездов по тоннелю. Осенью 1922 г. белогвардейцы использовали тоннель как укрытие для своего бронепоезда, пытаясь задержать наступающие части красных.

В 1930-х гг. в тоннеле проводились ремонтные работы. В частности, из-за появления трещин в стенах порталов частично переложили стены и пристроили подпорные сооружения. В это же время береговую оборону Дальнего Востока решили усилить за счет мощных морских орудий, установленных на специальные железнодорожные платформы. Чтобы пропустить их под старые габариты построенного тоннеля, пришлось на некоторое время сделать его однопутным (один путь разобрали, а другой уложили по оси тоннеля).

К 1990-м гг. прошлого века вопрос о реконструкции негабаритного и ветшающего Кипарисовского тоннеля стал особенно остро. Ее решили проводить в два этапа. Сначала параллельно старому построили новый однопутный тоннель длиной 952 м (рис. 6), а затем реконструировали старый. Полностью перестроенный (под один путь) старый Кипарисовский тоннель сдали в эксплуатацию 13 ноября 2014 г.

Список источников

1. РГИА. Ф. 265. Оп. 2. Д. 621. Л. 25.
2. РГИА. Ф. 350. Оп. 19. Д. 1. Л. 6.
3. Крушение поезда // Приамурье. 1913. 1 окт.
4. РГИА. Ф. 350. Оп. 19. Д. 1. Л. 7.
5. Исполнительная документация Кипарисовского тоннеля // Отдел архивов службы управления делами Дальневосточной железной дороги (г. Хабаровск). Ф. 265. Оп. 9. Д. 75. Л. 6.
6. Тоннели Уссурийской железной дороги (1913–1918) / Общество Китайской восточной ж. д. Петроград, 1918. 140 с.
7. Переустройство Уссурийской железной дороги // Приамурские ведомости. 1914. 20 мая.
8. На тоннельных работах // Приамурская жизнь. 1914. 28 окт.
9. Прорытие тоннеля на Кипарисовском перевале Уссурийской железной дороги // Железнодорожная жизнь на Дальнем Востоке. 1914. № 41. С. 13.
10. К переустройству Уссурийской железной дороги. В тоннеле // Железнодорожная жизнь на Дальнем Востоке. 1915. № 15. С. 13.
11. К окончанию двухпутного тоннельного обхода через Кипарисовский перевал на Уссурийской железной дороге // Железнодорожная жизнь на Дальнем Востоке. 1917. № 5. С. 13.
12. В Кипарисовском тоннеле // Голос Родины. 1920. 16 апр.

ЛИСИЦЫН А.А., главный хранитель фондов Музея истории Амурского моста, канд. ист. наук

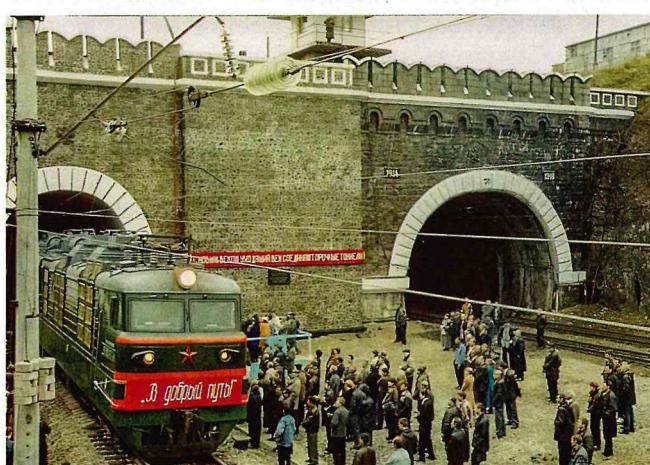


Рис. 6. Открытие нового Кипарисовского тоннеля 20 октября 2000 г.

УДК 625.3

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПУТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ РЕЛЬСОВОЙ НИТИ



СЫЧЁВ В.П., Российской университет транспорта (РУТ(МИИТ)), докт. техн. наук,
СЫЧЁВА А.В., РУТ (МИИТ), канд. техн. наук,
ОВЧИННИКОВ Д.В., Приволжский государственный университет путей сообщения, канд. техн. наук

Аннотация. В статье обосновывается возможность применения подрельсового устройства для выравнивания в профиле рельсовой нити при оперативном восстановлении пути на основе оболочек, наполняемых под давлением воздухом. Проведено моделирование установки устройства на типовую конструкцию с рельсами Р65 и промежуточными скреплениями ЖБР-Ш.

В среде конечно-элементного анализа построены математические модели участка пути с подрельсовым основанием для выравнивания рельсовой нити. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния пути под устройством не выявили ограничений на применение данной конструкции по предельному напряженному состоянию.

Ключевые слова: железнодорожный путь, рельс, подрельсовое устройство, моделирование, конечно-элементный анализ.

При обнаружении высоких степеней отступлений от норм содержания рельсовой нити в виде просадок и перекосов вводятся ограничения (закрытие перегона, ограничение скорости), которые действуют до тех пор, пока не будут устранены причины появления отступлений. Нарушения, как правило, устраняют в технологические перерывы в перевозочном процессе. Следовательно, от момента обнаружения до момента устранения причины действуют ограничительные меры в перевозочном процессе, и отрасль несет убытки.

Для временного оперативного устранения отклонений рельсовой нити от нормативных значений до устранения причины этих отклонений предложены устройства выравнивания рельсовой нити в профиле [1, 2]. На рис. 1 приведена схема такого устройства (конструкция и способ запатентованы). Подрельсовое устройство выравнивания рельсовой нити выполнено в виде оболочки с множеством отверстий, которая расширяется при принудительном наполнении воздухом и уменьшается в объеме при его истечении под давлением. Отверстия оборудованы клапанами и штуцерами. Оболочка укладывается непосредственно или через нижнюю прокладку на балласт и взаимодействует с рельсом непосредственно или через верхнюю прокладку. Торцы оболочки оборудованы приспособлениями для соединения с прокладками и опорой, выполненные в виде стержней.

При увеличении объема наполнителя рельс приподнимается до заданного уровня и фиксируется. Можно предварительно вывесить рельс путевыми домкратами.

Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния элементов выполнен для верхнего строения пути типовой конструкции [3] (рельсы Р65, железобетонные шпалы, скрепления ЖБР-Ш, толщина балластного слоя 30 см) и пути с подрельсовым основанием для выравнивания рельсовой нити на пневмооболочках (при тех же параметрах пути).

Для решения этой задачи разработаны геометрические (с полным подобием реальной конструкции), а также на их базе математические модели в среде конечно-элементного анализа [4].

Мощность конечно-элементных моделей составляет около 2,3 млн узлов в зависимости от конфигурации с использованием тетраэдров второго порядка с 10 узлами на элемент. Параметр сетки имеет значение моды, близкое к 0,8–0,9, что обеспечивает незначительную разницу выходных данных в узлах, относящихся в одному элементу. Эти параметры достигаются сгущением сетки элементов в местах концентрации деформаций и напряжений. Для уменьшения общего количества узлов и элементов использованы свойства симметрии модели.

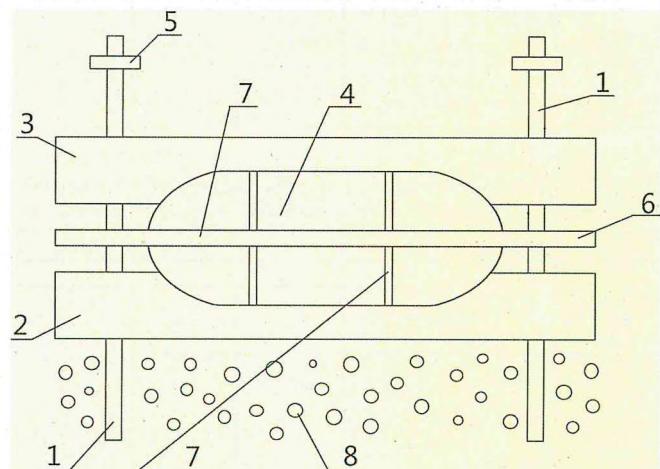


Рис. 1. Подрельсовое устройство выравнивания рельсовой нити с использованием пневмооболочки:

1 — стержень-фиксатор; 2 — нижняя прокладка; 3 — верхняя прокладка; 4 — оболочка; 5 — контргайка стержня фиксатора; 6 — торцы оболочки; 7 — упрочняющие пояски; 8 — балласт

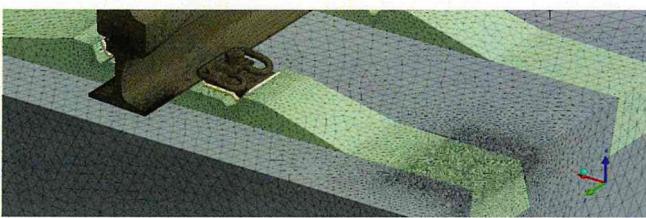


Рис. 2. Сетка элементов участка пути и сгущение в областях оценки напряженно-деформируемого состояния (ЖБР-Ш, 1840 шп/км)

Таблица 1

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния участка пути без подрельсового устройства

Усилие на колесо, кН		Напряжения в элементах верхнего строения пути, МПа					
вертикальное	боковое	Рельс		Шпала		Балластный слой	
		Внутренняя кромка	Наружная кромка	Подрельсовая часть	Верхняя часть, середина		
29,4	0	13,3	9,8	-1,56	0,38	1,33	-0,023
29,4	14,7	-18,9	42,5	-1,56	1,04	1,33	-0,022
115,2	0	47,9	38,4	-2,69	1,67	3,49	-0,080
115,2	14,7	17,7	69,7	-2,70	2,37	3,63	-0,082
122,6	0	51,8	41,0	-2,78	1,86	3,73	-0,090
122,6	14,7	22,2	71,0	-2,79	2,51	3,84	-0,089
132,4	0	55,8	44,4	-2,91	2,04	4,00	-0,097
132,4	14,7	26,5	74,1	-2,92	2,69	4,11	-0,097
147,1	0	62,2	48,9	-3,10	2,29	4,40	-0,108
147,1	14,7	31,8	79,9	-3,11	2,97	4,52	-0,109

Таблица 2

Результаты оценки напряжений в рельсах с учетом размеров подрельсового устройства

Усилие на колесо, кН		Напряжения в рельсах (кромка внутренняя/наружная), МПа		
вертикальное	боковое	Типовая конструкция	Толщина оболочки, см	
			до 10	до 40
29,4	0	13,3/9,8	12,0/8,7	13,1/9,6
29,4	14,7	-18,9/42,5	-20,0/41,2	-19,1/42,4
115,2	0	47,9/38,4	43,3/33,8	46,3/37,5
115,2	14,7	17,7/69,7	12,6/64,6	17,5/67,5
122,6	0	51,8/41,0	45,9/35,8	49,9/39,9
122,6	14,7	22,2/71,0	15,4/66,6	19,4/70,8
132,4	0	55,8/44,4	49,6/38,4	54,1/42,6
132,4	14,7	26,5/74,1	19,1/69,2	24,5/72,8
147,1	0	62,2/48,9	54,8/42,7	59,9/47,1
147,1	14,7	31,8/79,9	24,7/73,1	30,5/77,2
				23,8/72,1

Таблица 3

Результаты оценки напряжений в верхней (средняя часть) и нижней частях шпалы в зависимости от размеров подрельсового устройства

Усилие на колесо, кН		Напряжения в шпале (верх/низ), МПа		
вертикальное	боковое	Типовая конструкция	Толщина оболочки, см	
			до 10	до 40
29,4	0	0,38/1,33	0,33/1,20	0,53/1,27
29,4	14,7	1,04/1,33	0,59/1,16	1,18/1,25
115,2	0	1,67/3,49	1,20/2,94	2,15/3,40
115,2	14,7	2,37/3,63	1,47/3,05	2,77/3,49
122,6	0	1,86/3,73	1,27/3,11	2,31/3,62
122,6	14,7	2,51/3,84	1,55/3,22	2,94/3,70
132,4	0	2,04/4,00	1,38/3,34	2,49/3,90
132,4	14,7	2,69/4,11	1,65/3,44	3,1/3,96
147,1	0	2,29/4,4	1,53/3,67	2,77/4,30
147,1	14,7	2,97/4,52	1,81/3,78	3,41/4,36

Для описания нелинейных свойств слоистой структуры балластной призмы и земляного полотна применена модель пластиичности Мора—Кулона.

Нагружение в модели проводилось в несколько этапов: затяжка прикрепителей (изменение положения монорегулятора);

деформации из-за собственного веса конструкции; воздействие подвижного состава.

Усилия, передаваемые на рельсы от колес подвижного состава: вертикальные 29,42 кН, 115,23 кН, 122,58 кН, 132,39 кН и 147,1 кН; боковые 0 и 14,71 кН.

Передача нагрузки от колеса на рельсы происходит через зону взаимодействия системы «колесо—рельс», что повышает точность моделирования при значительных боковых силах, вызывающих кручение рельса в зоне бокового контакта с раскантовкой.

На рис. 2 показана сетка элементов модели.

Между элементами верхнего строения пути, а также балластным слоем и земляным полотном заданы контактные связи, в том числе нелинейные, позволяющие добавлять в область взаимодействия силы трения, отрыв элементов относительно друг друга [5]. Таким образом, данная конфигурация конечно-элементной модели позволяет учитывать при моделировании следующие особенности:

перемещение колеса по головке рельса при изменении угла наклона (при раскантовке);

затяжку прикрепителей с учетом силы трения между клеммой и рельсом;

отрыв прокладки от подкладки при значительной раскантовке рельса со смещением усилий, передаваемых через подошву рельса на нижележащие элементы;

опирание рельса в реборду подкладки при боковом смещении.

Применение нелинейных контактных связей совместно со сгущением сетки элементов позволяет получать результаты, наиболее близкие к эксплуатационной работе реальных конструкций пути [6, 7]. Выполнено моделирование воздействия колес подвижного состава на участок пути, получены значения напряжений в элементах верхнего строения, приведенные в табл. 1.

Проведена оценка напряженно-деформированного состояния при укладке подрельсового основания при различной высоте оболочки (от 10 до 40 см с шагом 10 см), включая сочетания толщин пневмоэлементов на соседних шпалах с резкими перепадами толщин оболочки (от 10 до 40 см, от 40 до 10 см) и плавным переходом толщины от 40 к 10 см. Высота оболочки зависит от величины провисания рельсовой нити и глубины, на которую подкопан щебеночный слой для укладки нижней плиты. Свойства пневмооболочки на первом этапе подобраны в соответствии с жесткостью балластного слоя без учета нелинейных сыпучих свойств — в среднем жесткость составляет от 400 до 1500 МН/м в зависимости от толщины.

Параметры сетки, а также особенности нагружения в моделях аналогичны применяемым при расчете типовой конструкции [8]. Для оценки балластного слоя использованы осредненные значения напряжений с целью исключения «шума» в виде резких локальных скачков уровня напряжений. Результаты моделирования для разных высот оболочек приведены в табл. 2 и 3 в сокращенном виде вследствие большого объема выходных данных.

Сравнительный анализ напряженного состояния элементов верхнего строения пути типовой конструкции и пути с пневматическим основанием не выявил резкого увеличения внутренних силовых факторов, а также концентрации напряжений в характерных сечениях пути. Изменение общей жесткости в вертикальной плоскости ввиду применения подрельсовых устройств выравнивания рельсовой нити не приводит к изменению изгибающихся напряжений в кромках рельсов при условии достаточной жесткости пневматических устройств (не менее жесткости балластного слоя типовой конструкции пути).

Также выявлено, что сжимающие напряжения на шпale в подрельсовой зоне увеличиваются при малой толщине оболочки устройства вследствие перераспределения усилий на меньшее количество подрельсовых опор при изменении общей жесткости конструкции. Максимальный рост до 8 % наблюдается при резком перепаде толщин пневмоэлементов. При малой толщине оболочки изгибные напряжения в верхней области шпалы уменьшаются до 35 % и на 15 % в области подошвы. В свою очередь, увеличение толщины оболочек до 40 см приводит к росту механических напряжений до 20 %.

Установлено, что применение пневмоустройств по сравнению со стандартной шпалой вследствие уменьшения общей площади оправления конструкции пути на земляное полотно увеличивает нагрузку на грунт до 350 кПа, превышая допускаемые значения напряжений на основной площадке при эксплуатации пути. Однако непродолжительный период воздействия, малое количество циклов «нагрузка—разгрузка» при использовании устройства и применение единичных экземпляров его на участке компенсирует эту особенность нагруженности пути.

Выводы

1. Разработаны трехмерные модели типового участка пути, а также пути специальной конструкции с подрельсовым устройством выравнивания рельсовой нити для дальнейшего математического моделирования в среде конечно-элементного анализа.

2. Проведен расчет напряженно-деформированного состояния вышеуказанных конструкций пути в характерных сечениях для оценки возможности применения пневмоэлементов в качестве инструмента выравнивания рельсовой нити в профиле для оперативного восстановления перевозочного процесса.

3. Оценка и сравнительный анализ механических напряжений не выявил значительного увеличения

напряжений в элементах верхнего строения (кроме основной площадки), а также возникновения зон концентрации внутренних силовых факторов вследствие перераспределения жесткости пути.

4. Особенностью применения пневмоустройств в качестве подрельсового основания является рост нагрузженности основной площадки земляного полотна вследствие сокращения площади взаимодействия с вышележащими элементами. Данная отличительная черта подрельсового устройства нивелируется непродолжительностью применения, малым количеством циклов нагружения, а также немногочисленностью установленных устройств.

Список источников

1. Сычёв В.П., Сычёва А.В. Оперативное восстановление рельсовой нити по уровню // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 3. С. 20–21. EDN: QCCHCN.
2. Патент № 2786891 РФ, Е01B 23/00. Подрельсовое устройство и способ оперативного восстановления рельсовой нити по уровню / Сычёв В.П. № 2022119094; заявл. 13.07.2022; опубл. 26.12.2022; Бюл. № 36.
3. Альбом элементов и конструкций верхнего строения железнодорожного пути: утв. главным инженером Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД» В.М. Ермаковым 19.12.2011.
4. Овчинников Д.В. 3D-моделирование напряженно-деформированного состояния элементов пути // Железнодорожный транспорт. 2023. № 3. С. 50–53. EDN: YIKCZQ.
5. Исследование особенностей динамической реакции верхнего строения железнодорожного пути от подвижного состава на основе модели трансверсально-изотропной пластины на деформируемом основании / А.А. Локтев, А.В. Сычёва, Е.В. Запольнова, В.П. Сычёв, В.Г. Дмитриев // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2018 № 2. С. 55–65. EDN: XNSMXB.
6. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при различных условиях эксплуатации на основе моделирования методом конечных элементов / А.Ю. Абдурашитов, Д.В. Овчинников, В.П. Сычёв, А.В. Сычёва // Известия Транссиба. 2023. № 1 (53). С. 62–73. EDN: BIARZU.
7. Rail life cycle evaluation depending on the operating conditions / V.P. Sychev; D.V. Ovchinnikov; A.Yu. Abdurashitov; V.A. Pokatsky; A.V. Sycheva // International Transport Scientific Innovation: ITSI-2021: AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2476, No 1. 020010. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0104545>.
8. Верификация математических моделей и проведение расчетов предельного состояния и эксплуатационного ресурса по комплексному показателю долговечности рельсов с учетом кодов дефектов 21.1;21.2;53.1;69 / Д.В. Овчинников, В.А. Покацкий, А.Ю. Абдурашитов, П.В. Сычёв // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2018. Т.13, № 13 (13). С. 16–28. EDN: YQOLNJ.

THE STRESSED STATE OF THE TRACK WHEN USING A DEVICE FOR ALIGNMENT OF THE RAIL THREAD

Sychev Vyacheslav — Dr.Sci., Professor of the Department of Transport Construction, Russian University of Transport. Moscow, Russia. vp@vpm770.ru
Sycheva Anna — Ph.D., Associate Professor of the Department of Buildings and Structures in Transport, Russian University of Transport.

Moscow, Russia. anna@vpm770.ru

Ovchinnikov Dmitry — Ph.D., Senior Researcher at the Department of Scientific Works, Samara State University of Railway Engineering. Samara, Russia. ovchinnikov@samgups.ru

Abstract. The article substantiates the possibility of using a sub-rail device for alignment in the profile of a rail thread during rapid track restoration based on shells filled with pressurized air. A simulation of the installation of the device on a standard structure with rails R65 and intermediate fasteners ZhBR-Sh was carried out. In the environment of finite element analysis, mathematical models of a section of track with a sub-rail base for leveling the rail thread are constructed. The results of calculations of the stress-strain state of the track under the device did not reveal restrictions on the use of this design in terms of the ultimate stress state.

Keywords: railway track, rail, underrail device, modeling, finite element analysis.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ



БАХТИН С.А., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), профессор,
РАЩЕПКИН А.А., СГУПС, доцент,
СОЛОВЬЕВ Л.Ю., СГУПС, доцент

За последние годы в связи с переходом на технологии информационного моделирования (ТИМ/BIM) проектирование и организация строительства претерпели значительные изменения. Правительством РФ принят ряд документов, разработаны нормативные документы (ГОСТы, Своды правил, ведомственные стандарты Росавтодора).

В 2020 г. утвержден профессиональный стандарт 1393 «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве» (вид профессиональной деятельности 16.151 — информационное моделирование объектов капитального строительства (ОКС)), в котором определены должности, трудовые функции и компетенции участников процесса ТИМ.

Предвиде такое развитие технологий проектирования, на факультете «Мосты и тоннели» Сибирского государственного университета путей сообщения уже длительное время изучаются (в небольшом объеме) полноценные ТИМ-комплексы

AutodeskCivil, AutodeskRevit (цикл дисциплин инженерной графики), а с 2020 г. в рамках дисциплины САПР — пакет Tekla.

В полной мере соответствуя новым требованиям, в 2022 г. на факультете открылась магистратура по программе «Информационное моделирование в транспортном строительстве». Это направление подготовки предназначено не только для выпускников бакалавриата, но и для дипломированных специалистов (мостовиков и тоннельщиков), уже имеющих опыт в области проектирования и строительства.

В учебном плане есть дисциплины для достижения основной цели, указанной в стандарте 1393: получение обучающимися компетенций в области создания, использования и сопровождения информационных моделей ОКС на всех этапах его жизненного цикла (от этапа изысканий до этапа эксплуатации). В ходе обучения учащиеся выполняют два курсовых проекта и несколько расчетно-графических работ.

В рамках дисциплины «Технологии информационного моделирования ОКС на этапе проектирования» (при работе над курсовыми проектами) обучающиеся получают практические навыки создания семейств элементов мостового перехода, объединения их в общие сборки, загрузки элементов в общий проект, сборки элементов в самом проекте, создания разрезов и оформления листов чертежей проектной документации (рис. 1–4). Создаваемые модели имеют уровень проработки 5D (3D-модель, сметный раздел, строительная часть).

В рамках дисциплины «Управление процессами информационного моделирования ОКС на всех этапах его жизненного цикла» магистранты рассматривают ключевые

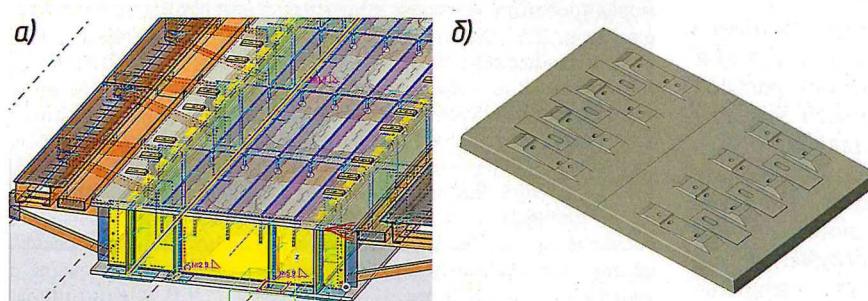


Рис. 1. Информационная модель сталежелезобетонного пролетного строения (а) и один из ее элементов — плита БМП (б)

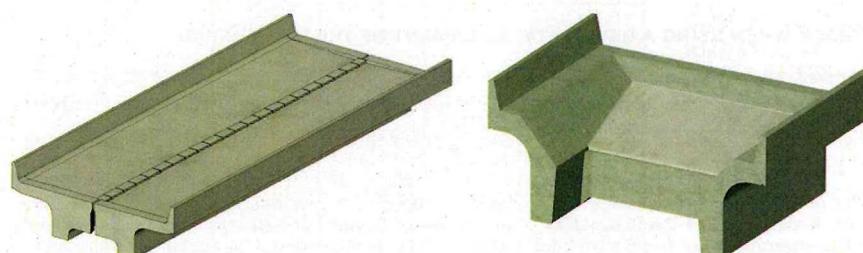


Рис. 2. Семейства пролетного строения и опоры

вопросы организации разработки информационной модели:

разработка цели и стратегии внедрения ТИМ;

создание плана реализации проекта, включая перечень исходных данных и сроки реализации;

определение ключевых участников;

разработка цели задач применения информационного моделирования;

разработка организационных ролей и функций сотрудников;

разработка карт сценариев информационного моделирования;

определение требований к содержимому и структуре модели;

разработка процедур совместной работы (среда общих данных, форматы обмена данными, взаимодействие участников ТИМ-проекта);

внедрение сметной информации в информационную модель ОКС.

Учебные занятия проводят кандидаты и доктора наук, а также преподаватели-производственники с большим опытом проектирования и строительства мостов и тоннелей.

Преподаватели, занятые подготовкой магистров, разрабатывают программные средства в области ТИМ. В частности, ими созданы программы для сборки информационной модели и проверки ее на ошибки (коллизии) (аналог Autodesk NavisWorks) (IFC-сканер) и презентации цифровых информационных моделей (VR-сканер), а также виртуальный тренажер для изучения технологий монтажа мостовых конструкций (рис. 5).

На программное обеспечение «IFC-сканер» получено свидетельство о государственной регистрации*, сервис запущен в эксплуатацию и учебный процесс.

Безусловно, процесс подготовки специалистов в области ТИМ учитывает зарубежные достижения — преподаватели практически «с колес» переводят обучение с западного ПО на отечественные, локализуемые в России программные комплексы (NanoCAD, ModelStudio, MidasCIM). Выявлены недостатки предложения ТИМ-программ на российском рынке — практически все они рассчитаны на проектирование и строительство площадных объектов промышленного и гражданского строительства.

ТИМ-программы, имеющие функционал и учитывающие особенности моделирования линейных объектов транспортного строительства, практически отсутствуют (кроме Midas CIM, но и этот пакет пока

*Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023681894. IFC-Сканер / Ращепкин А.А., Вагнер И.А., Прибыtkov С.С., Соловьев А.Л.; патентообладатель ООО «БРИДЖ-ИТ». № 2023680574; заявл. 06.10.2023; опубл. 19.10.2023; Biol. № 10.

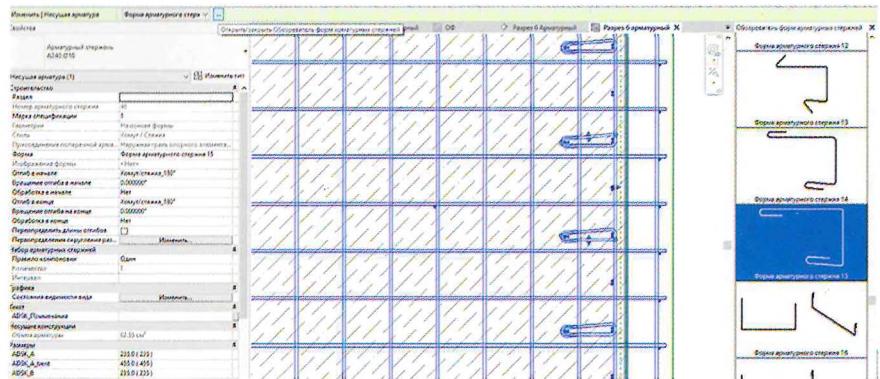


Рис. 3. Создание армирования элемента моста

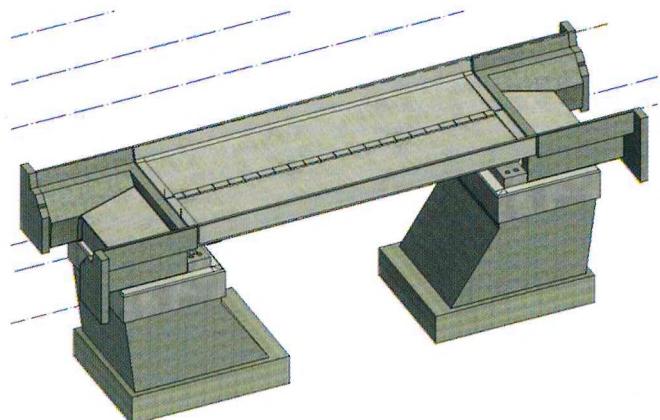


Рис. 4. Итоговая модель моста

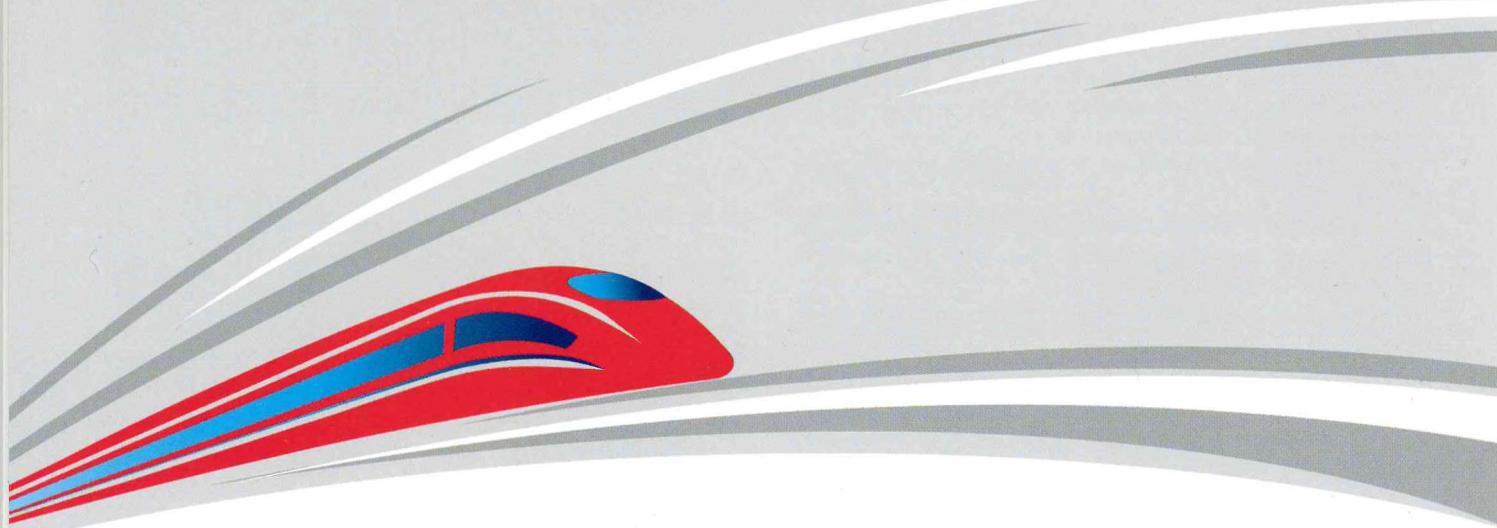


Рис. 5. Виртуальный тренажер для изучения технологий монтажа мостовых конструкций

далек от совершенства). Радует наличие приемлемых отечественных аналогов и программ для важной составляющей ТИМ — ПО для сборки информационной модели и проверки ее на ошибки (коллизии) (аналоги Autodesk Navis Works).

Несмотря на все вызовы времени факультет «Мосты и тоннели» СГУПС продолжает лучшие традиции мосто- и тоннелестроительного образования страны. В большинстве своем преподаватели вуза несут «положительный заряд», начиная с безупречного изложения материала на лекциях, высокой требовательности к студентам, инициирования у них потребности найти в каждом проекте свою «изюминку».

Рекламно-информационное сотрудничество — эффективная поддержка в продвижении вашего бизнеса



Наши отраслевые журналы ориентированы на широкий круг читателей – от руководителей и специалистов до студентов и учащихся железнодорожных учебных заведений.

- Журнал «Железнодорожный транспорт» издается с 1826 г.
- Журнал «Путь и путевое хозяйство» издается с января 1957 г.
- Журнал «Локомотив» издается с 1957 г.
- Журнал «Вагоны и вагонное хозяйство» издается с 2005 г.
- Журнал «Железные дороги мира» издается с 1961 г.
- Журнал «Автоматика, связь, информатика» издается с 1923 г.

Нас читают во всех регионах России, в десятках стран ближнего и дальнего зарубежья, на предприятиях магистрального и промышленного железнодорожного транспорта.

Наше сотрудничество будет полезным для налаживания взаимовыгодных контактов, деловых партнерских отношений.

**По вопросам размещения рекламы
обращаться в ЦНТИБ ОАО «РЖД»**

Телефон: (499) 262-54-29

Факс: (499) 262-69-11

E-mail: cntib@css-rzd.ru

Почтовый адрес: 107996, г. Москва, Рижская площадь, д. 3

