



- ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ НК
- О ДЛИННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЯХ
- МОСТЫ И ПОВЫШЕННЫЕ ОСЕВЫЕ НАГРУЗКИ
- КОМПОЗИТНЫЕ ШПАЛЫ УЛУЧШАЮТ ПУТЬ
- ОБ УВЕЛИЧЕНИИ РЕСУРСА ПОДКЛАДОК
- ПАРАМЕТРЫ ПРОТИВОПУЧИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

# путь

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ,  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

7 · 2024



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО И ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

В конце мая в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) прошла международная научно-практическая конференция «Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта» (RnD RnAT 2024), посвященная развитию скоростного и высокоскоростного движения в России. Мероприятие было организовано УрГУПС совместно с Российской академией транспорта и Объединением производителей железнодорожной техники. В конференции участвовали более 200 ученых, представителей студенческой молодежи, руководителей ведущих транспортных предприятий, а также делегация Чжэнчжоуского железнодорожного профессионального технического института (КНР).

На пленарном заседании ректор УрГУПС, председатель Уральского отделения Российской академии транспорта **А.Г. Галкин** отметил, что история транспортного образования связана с подготовкой специалистов для эксплуатации техники. Сегодня же появилась абсолютно другая цель — создание новой техники, а это значит нужны конструкторы и технологи. Поэтому на базе университета создается совершенно новая структура — Институт транспортного машиностроения. Он предусматривает открытие новых специальностей, обучение студентов, проведение научных исследований и инженерных разработок по заданию отрасли. Институт имеет все шансы стать главной образовательной и научно-производственной площадкой уральского региона в сфере транспортного машиностроения.

Президент Российской академии транспорта **А.С. Мишарин** отметил, что развитие высокоскоростных магистралей ускорит развитие регионов, увеличит грузоперевозки на 74 млн т груза брутто, даст прирост доходов бюджета до 12,8 трлн руб. Обсуждение на конференции перспективных направлений развития скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок, российской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов, создание отечественного высокоскоростного поезда, развития транспортной инфраструктуры является источником новых идей, заложит позитивный интерес к проблеме молодых ученых. Александр Сергеевич подчер-

кнул, что страна находится в интенсивном процессе трансформации экономики; сейчас время полураспада компетенций составляет 2–3 года, раньше оно достигало 10 лет.

Президент Объединения производителей железнодорожной техники **В.А. Гапанович** в своем докладе аргументировал необходимость научного обеспечения создания ВСМ, отметил первоочередную важность разработки нормативной документации.

В рамках конференции проходил круглый стол «Совершенствование и пути развития железнодорожной инфраструктуры ВСМ». Собравшиеся обсудили возможные конструкции пути при организации железнодорожного сообщения внутри городской агломерации. В связи с ростом грузовых и пассажирских перевозок возникла потребность в разделении специализации инфраструктуры. Создание выделенных пассажирских линий обеспечит ускорение пассажирского движения за счет изменения технологии перевозок, увеличит провозную и пропускную способности дорог, а также оптимизирует потребность в развитии инфраструктуры, содержании и обслуживании устройств и ремонтно-путевых работ.

Представленный алгоритм формирования комплексного плана развития производственных баз путевого ремонтного комплекса позволит оптимизировать процесс планирования и обеспечит более эффективное использование ресурсов.

Опыт содержания и эксплуатации пути указывает на необходимость повышения плавности движения поездов для снижения энергетических и экономических затрат. Высокие скорости движения вызывают потребность в пересмотре геометрии трассы пути для снижения силового воздействия на путь и подвижной состав. Расчеты подтверждают, что применение биклоотидных и биклотоидных кривых позволяет снизить силовую нагрузку, а также колебания состава в кривой.

Анализ экспериментального цифрового моделирования пути с помощью беспилотных воздушных судов показал, что данная технология дает возможность составлять обновляемые цифровые модели участков пути, отслеживать их геометрические изменения на всех этапах жизненного цикла.

Участники круглого стола рассмотрели применение беспилотных летательных аппаратов для формирования масштабных планов железнодорожных станций; причины появления выплесков и ликвидацию их с использованием специализированных машин МВУ1800, ЭО2626-01, KGT-4RS, усилением основной площадки геосеткой, георешеткой и геотекстилем, цементацией, стабилизацией полифиллизаторами грунтов; проектирование камнеулавливающих стен из габионов для усиления земляного полотна на скально-обвальных участках.

ГОРЬКАНОВА Т.Н.

Фото предоставлено  
прес-службой УрГУПС



Участники пленарного заседания



Учредитель — ОАО «Российские железные дороги»

Научно-популярный  
производственно-технический  
журнал

Издается 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. БЕЛТЮКОВ, 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. ТАРАБРИН, к.т.н.,  
М.Ю. ХВОСТИК, к.т.н.,  
А.М. ХРАМЦОВ,  
Т.В. ШЕПІТЬКО, 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: pph@inbox.ru  
Сайт: <http://pph-magazine.ru>  
Электронная версия журнала: <http://elibrary.ru>;  
<https://rucont.ru>; <http://www.ivis.ru/>  
Аннотации статей: [www.rzd-expo.ru](http://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 28.06.2024

Формат 60х84 1/8. Офсетная печать.

Заказ № 24098 от 25.06.2024

Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм +»,  
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

## В НОМЕРЕ

### Контроль и диагностика

Тарабрин В.Ф., Бугаенко В.М., Чистякова О.Е.

и др. — Инновационные решения в области  
неразрушающего контроля рельсов ..... 2

Лесов К.С., Хальфин Г.-А.Р. — Диагностическое

средство для оценки технического состояния  
промежуточных рельсовых скреплений ..... 6

### Содержание, ремонт и реконструкция

Чечельницкий А.И., Певзнер В.О., Шарова В.О. —

Проблемы длинных профильных неровностей пути и их  
решения ..... 8

Кондратов В.В., Слестников М.С. — Динамическое

воздействие на мосты вагонов с повышенной осевой  
нагрузкой ..... 10

### Конструкции и сооружения

Бондаренко А.А. — Композитные шпалы повышают

эффективность путевого хозяйства ..... 14

Рихтер Е.Е. — К вопросу увеличения ресурса

контррельсовых подкладок ..... 18

Глотов Д.С., Никифоров О.М., Гончарук А.Г., и др. —

Новые материалы и технологии для железнодорожных  
мостов ..... 21

Костин Д.В. — Обеспечение стабильности

производства с использованием средств предиктивной  
аналитики ..... 23

Исаков А.Л., Бухов С.И. — Определение параметров

противопучинных конструкций земляного полотна ..... 24

### Зарубежная техника

Космин В.В. — Балласт или плита? ..... 27

### Проблемы и решения

Збрыський М.Т., Самко А.В., Зайцев А.А. —

Разработка методики по оценке влияния нового  
строительства на эксплуатационные характеристики  
рельсовой колеи ..... 28

### Из истории транспорта

Кеткина А.Г. — Жизнь, наполненная служением

Отечеству ..... 31

### На обложке

Первая страница — На магистралях России

Фото Ковалёва И.Ю.

# ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ

ТАРАБРИН В.Ф., АО «Фирма ТВЕМА», генеральный директор, канд. техн. наук,  
БУГАЕНКО В.М., АО «Фирма ТВЕМА», заместитель генерального директора,  
ЧИСТЯКОВА О.Е., АО «Фирма ТВЕМА», начальник отдела лаборатории неразрушающего контроля  
и технической диагностики, КОНОНОВ Д.А., АО «Фирма ТВЕМА», руководитель проектов лаборатории  
неразрушающего контроля и технической диагностики

**Аннотация.** Приведены данные по новым разработкам, выполненным АО «Фирма ТВЕМА», в части создания новых образцов средств неразрушающего контроля ультразвуковым и вихретоковым методами, устанавливаемых на мобильные средства диагностики рельсов. Отражены результаты внедрения новой технологии высокоскоростного ультразвукового контроля рельсов.

**Ключевые слова:** дефектоскопия рельсов, ультразвуковой контроль, достоверность контроля, скользящая искательная система, инновационные разработки, вихретоковый контроль, колесная искательная система, высокоскоростные комплексы.

На проведенном ОАО «РЖД» в апреле текущего года заседании Координационного совета по неразрушающему контролю (НК) (далее — Координационный совет) и технической диагностике (ТД) сформулированы основные проблемы и задачи по развитию технических средств и технологий. В области дефектоскопии рельсов — это повышение скорости и достоверности дефектоскопии; снижение количества непроконтролированных участков, особенно в зоне болтового стыка; автоматическая подстройка параметров контроля и расшифровки данных; снижение влияния «человеческого фактора»; определение принципов диагностики будущей ВСЖМ-1.

Опыт разработки и производства средств НК и ТД в АО «Фирма ТВЕМА» составляет более 30 лет; до 20 % дохода тратится на НИОКР по полному набору всех видов диагностического оборудования, применяемого для контроля железнодорожной инфраструктуры. Остро стоит задача обеспечения максимальной работоспособности и быстрого внедрения

новых технических средств. Средства дефектоскопии поставлены в 21 страну, средства технической диагностики — более чем в 30 стран, включая страны с высокоскоростным движением, несмотря на санкционное давление.

В последние годы приоритетным направлением развития дефектоскопии рельсов, принятым ОАО «РЖД», является переход к преимущественному применению мобильных средств. Съёмными средствами сплошного контроля рельсов выполняется только 30 % всего объема дефектоскопии.

В то же время мобильными средствами производства АО «Фирма ТВЕМА» в ОАО «РЖД» выполняется 90 % объема контроля рельсов. Такой показатель, как выявляемость острodefектных рельсов на 1000 км проверенного пути, по данным Дирекции диагностики и мониторинга по сети за 2023 г., у мобильных средств фирмы не уступает съёмным средствам и на 30–40 % выше, чем у мобильных средств других производителей. Эти показатели стабильны на протяжении ряда лет.

На Координационном совете мы представили последние инновационные разработки по совершенствованию средств НК.

В 2022 г. прошла функциональные испытания и была рекомендована к внедрению на сети система скоростного ультразвукового неразрушающего контроля рельсов «ЭХО-КОМПЛЕКС-3.1» (рис. 1).

В данном комплексе применяются новая искательная система, новые акустические блоки, модернизированный многоканальный дефектоскоп; предусмотрен адаптивный порог выявления дефектов с возможностью подстройки чувствительности в каждом цикле излучения—приема в зависимости от уровня шумовых сигналов; используются новая технология ультразвукового контроля однократно отраженным лучом, специальная ветка программного обеспечения, автоматизированная расшифровка данных контроля.

Новая технология, реализованная в системе «ЭХО-КОМПЛЕКС-3.1» [1], имеет следующие преимуще-

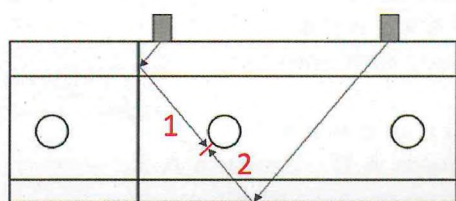


Рис. 1. Выявление дефектов новой технологией контроля:

1 — путь ультразвукового луча при выявлении дефекта 53.1 традиционным способом, однократно отраженным от торца лучом;  
2 — путь ультразвукового луча при выявлении дефекта 53.1 однократно отраженным от подошвы лучом по новой технологии

ства перед традиционной, действующей на мобильных и съемных средствах дефектоскопии:

перенос зоны сканирования с участка между первым болтовым отверстием и торцом рельса, наиболее подверженного воздействию негативных факторов содержания пути, на участок между первым и вторым болтовым отверстием, менее подверженный такому воздействию, а следовательно, с более высоким качеством поверхности катания, т. е. с более высокой вероятностью обеспечения качественного акустического контакта;

снижение количества непроконтролированных болтовых отверстий, в том числе первых, за счет того, что каждое болтовое отверстие озвучивается прямым и однократно отраженным от подошвы и торцевой поверхности лучом;

повышение вероятности выявления дефектов 53.1 [2], в том числе развивающихся от первого болтового отверстия, а также дефектов 33.1;

реализация возможности выявления поперечных дефектов 21.2, развивающихся вниз от расслоений, в том числе протяженных.

Испытания проводились на высокоскоростном диагностическом вагоне «СПРИНТЕР» № 303Л Нижегородского РЦДМ на скоростях до 120 км/ч. В процессе испытаний проконтролировано около 3700 км.

Актом испытаний на полигоне Горьковской дирекции инфраструктуры система рекомендована к внедрению на сети.

Представлено также еще одно предложение по модернизации скоростных диагностических вагонов. В 2021 г. модернизирован вагон «СПРИНТЕР-ИНТЕГРАЛ» № 300Л. Дефектоскопное оборудование, установленное на обеих ходовых тележках [3], предусматривает размещение искательных систем нового типа (рис. 2).

Модернизация обеспечила достижение следующих технических результатов:

- повышение достоверности результатов контроля в целях обнаружения дефектов рельсов;

- выявление дефектов, имеющих неблагоприятную ориентацию;

- повышение вероятности бесперебойной работы оборудования в целом в случае повреждения какого-либо компонента искательной или центрирующей системы;

- минимизация зависимости результатов контроля от нарушения геометрии поверхности ввода ультразвука (поверхности катания рельса; требований к содержанию болтового стыка (ступеньки); смятия головки рельса, в том числе в области сварного стыка; вертикального и бокового износа головки рельса);

- как следствие, снижение объема непроконтролированных участков.

В процессе подконтрольной эксплуатации, проведенной в феврале 2023 г. на полигоне Московского РЦДМ на базе диагностического комплекса инфра-

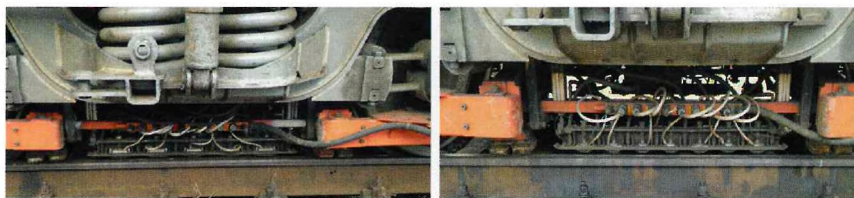


Рис. 2. Размещение искательных систем на двух ходовых тележках

структуры «СПРИНТЕР-ИНТЕГРАЛ-2» № 300Л, проконтролировано 2423 км пути.

Проведенные испытания и эксплуатация технологии скоростного ультразвукового контроля рельсов с применением двух систем дефектоскопии показали свою эффективность по снижению количества непроконтролированных участков на 30 %, повышению достоверности выявления дефектов на 33 %, повышению надежности работы дефектоскопного оборудования.

При использовании дефектоскопной модернизированной системы на двух ходовых тележках совместно с системой «ЭХО-КОМПЛЕКС-3.1» мобильное средство дефектоскопии рельсов будет обладать преимуществами обеих систем, что должно привести к беспрецедентному сокращению количества и протяженности непроконтролированных участков, кардинальному повышению достоверности контроля.

Еще одна инновационная разработка фирмы — совмещенный вагон-дефектоскоп с двумя типами искательных систем — скользящей и колесной [4] — для поставки на Октябрьскую дирекцию инфраструктуры (рис. 3, а).

На испытательных участках станций Рыбацкое и Перово проверена работоспособность одновременно

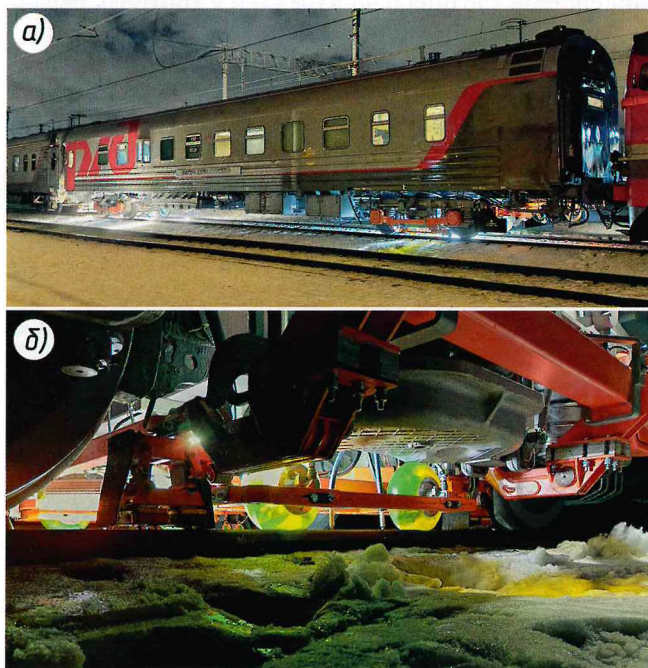


Рис. 3. Совмещенный вагон со скользящей и колесной искательными системами (а) и колесная искательная система (б)

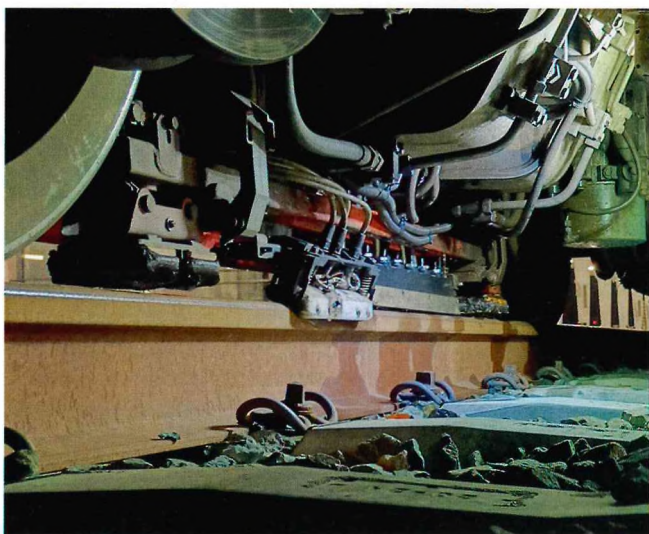


Рис. 4. Система вихретокового неразрушающего контроля рельсов

скользящей и колесной систем, в том числе в заснеженных условиях. Выполнены контрольные проезды на полигонах Октябрьской и Московской дирекций инфраструктуры с совместной работой искательных систем при рабочей скорости до 80 км/ч, в том числе в условиях низких температур (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

Общая наработка составила более 1000 км контролируемого пути. Сравнительные проезды выявили снижение непроконтролируемых участков в 3,5 раза по сравнению с типовым вагоном АО «Фирма ТВЕМА» и в 15 раз по сравнению с вагонами других производителей. Благодаря колесной искательной системе кардинально изменяется контроль первого болтового отверстия (рис. 3, б).

Как известно, труднее всего выявляются дефекты в зоне первых болтовых отверстий болтовых стыков. Выкрашивания на концах рельсов, раздавливания головки на концах рельсов, наплавленный слой, вертикальные ступеньки, сверхнормативные зазоры [5] — все это препятствует выявлению дефектов



Рис. 5. Дефектоскоп-робот

в указанной области классическими скользящими системами. Колесные системы, обладая мягкой эластичной обволакивающей оболочкой, сводят проблемы в этой области к минимуму.

Вместе с тем сегодня нет нормативов по применению колесных систем, что требует соответствующих доработок нормативной базы и затрудняет их внедрение.

Еще одним шагом к совершенствованию средств диагностики на сети явилось создание и испытание системы вихретокового неразрушающего контроля рельсов для мобильных средств диагностики (рис. 4).

Этот метод неразрушающего контроля, широко применяемый в других странах, особенно с высокоскоростным движением поездов, не применяли в нашей стране, хотя по сравнению с традиционно используемым на мобильных средствах магнитодинамическим методом он имеет следующие преимущества:

- оценка глубины дефектов в целях предотвращения развития поперечных трещин и формирования задания для рельсошлифовальных поездов;

- повышение достоверности идентификации и классификации дефектов рельсов совместно с ультразвуковым методом;

- автоматизация паспортизации рельсового хозяйства.

В АО «Фирма ТВЕМА» разработан и изготовлен восьмиканальный дефектоскоп и специализированная искательная система, которые обеспечивают контроль на скорости более 160 км/ч.

Специализированное программное обеспечение и автоматизированная расшифровка обеспечивают выделение дефектных областей, регистрацию данных, определение критериев дефектности по параметрам глубины и протяженности дефекта. Разработана и согласована ПКБ ВНИИЖТ, ООО «НЦ мостов и дефектоскопии» Технологическая инструкция по сплошному контролю дефектоскопом вихретоковым многоканальным «ЭМД-2». Дефектоскоп внесен в Государственный реестр средств измерений.

Следующей инновационной разработкой фирмы явилось создание системы ультразвукового контроля перьев подошвы при вводе ультразвуковых колебаний исключительно с поверхности катания. Как известно, пока нигде в мире не решен вопрос сплошного контроля перьев подошвы рельсов, дефекты которых, даже при очень малых размерах, нередко приводят к изломам рельсов под поездами. Научными поисками и лабораторными испытаниями системы контроля перьев подошвы добились уверенного выявления модели дефектов в середине и в кромке пера подошвы, получили возможность оценки сигналов по разверткам А и В. Испытания опытного образца в условиях эксплуатации запланированы на май—июнь 2024 г. в двух вариантах подвижных единиц.

Учитывая необходимость автоматизации процессов диагностики в сложных условиях, разработан опытный образец дефектоскопа-робота (рис. 5), который предназначен для контроля одной нити пути

ультразвуковым методом на сортировочных станциях с большим количеством путей, длинных мостах, в тоннелях с автоматическим перемещением со скоростью до 6 км/ч. Управляется робот пультом по радиоканалу на расстоянии до 150 м или согласно заданию на движение по маршруту. Регистрация данных измерений возможна в самом приборе или в режиме онлайн на планшете. Испытания опытного образца в условиях эксплуатации планируются на третий квартал 2024 г.

Следует отметить, что в последние годы большое количество мобильных средств выведено из эксплуатации, так как многие из них используются более 10–15 лет. При этом объемы обновления постоянно снижаются, составляя в настоящее время единицы процентов от общего парка мобильных средств диагностики. Такая ситуация неизбежно ведет к моральному и физическому старению парка. В условиях постоянного роста грузонапряженности, дефицита кадров по обслуживанию пути, а также перевода мобильных средств в статус основных средств оценки состояния путевой инфраструктуры старение парка будет иметь самые негативные последствия. Внедрение же инновационных средств, реализация глубокой модернизации, к сожалению, сдерживаются длительными процедурами согласования.

Набирает обороты строительство высокоскоростной магистрали Москва—Санкт-Петербург. Наш опыт использования на зарубежных дорогах мобильной и съемной диагностической техники свидетельствует о том, что практически на всех высокоскоростных магистралях мира применяются высокоскоростные специализированные диагностические комплексы-поезда на базе вагонов обращающегося подвижного состава. Они работают в графике поездов на скоростях 200–350 км/ч, контролируя параметры в скоростном режиме.

Для контроля всех параметров инфраструктуры, в том числе требующих более низких скоростей (дефектоскопия рельсов, сканирование габаритов приближения строений, георадиолокация и т. д.), уточнения данных высокоскоростных комплексов применяются самоходные диагностические комплексы на базе автомотрис. Они работают на скоростях до 120 км/ч в технологические «окна» по обслуживанию инфраструктуры. Также иногда применяются съемные средства для уточнения параметров неисправностей.

Разработанные фирмой в последнее время диагностические системы могут использоваться для формирования высокоскоростных комплексов-поездов.

Полнокомплектный инфраструктурный самоходный комплекс на базе двухсекционной автомотрисы «ПИОНЕР-ИНТЕГРАЛ» эффективно работает в Московском узле на центральных диаметрах, Московском центральном кольце, крупных узлах станций, диагностируя около 3000 км в месяц.

В настоящее время на производстве полностью оборудован аналогичный комплекс с самыми новыми системами диагностики, расширенным перечнем контролируемых параметров, включая контроль всех элементов стрелочных переводов и скоростными системами дефектоскопии, работающий со скоростью до 120 км/ч. В случае заинтересованности со стороны ОАО «РЖД» его уже в текущем году можно поставить на линию Санкт-Петербург—Москва для отработки технологии диагностики высокоскоростной линии.

Безусловно, приведенные выше высокотехнологичные образцы дефектоскопического оборудования отражают современное развитие средств неразрушающего контроля, обеспечивающие повышение безопасности движения поездов и бесперебойности перевозок.

#### Список источников

1. Патент № 2777298 РФ G01N 29/04. Способ ультразвукового контроля рельсов / Тарабрин В.Ф., Юрченко Е.В., Чистякова О.Е., Кононов Д.А., Кисляковский О.Н.; патентообладатель АО «Фирма ТВЕМА». № 2021136508; заявл. 10.12.2021; опубл. 02.08.2022; Бюл. № 22.
2. Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 23.10.2014 № 2499р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».
3. Патент № 2472143 РФ B61K 9/08. Мобильное устройство для ультразвукового контроля рельсов / Тарабрин В.Ф., Юрченко Е.В., Чистякова О.Е., Кононов Д.А., Кисляковский О.Н., Скворченков П.В., Неведин М.В., Кононов Д.А.; патентообладатель АО «Фирма ТВЕМА». № 2023104555; заявл. 01.03.2023; опубл. 08.06.2023. Бюл. № 16.
4. Патент РФ № 222475. G01N 29/04. Устройство для ультразвукового контроля рельсов / Тарабрин В.Ф., Юрченко Е.В., Чистякова О.Е., Кононов Д.А., Кисляковский О.Н., Неведин М.В. // Заявл. 24.10.2023. Опубл. 27.12.2023. Бюл. № 36.
5. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 № 2288р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс». 2023. Опубл. 08.06.2023. Бюл. № 16.

#### INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE FIELD OF NON-DESTRUCTIVE RAIL TESTING

**Tarabrin Vladimir** — Ph. D., General Director, Firma TVEMA JSC. Russia, Moscow. tarabrin@tvema.ru

**Bugaenko Victor** — honoured transport worker of the RF, Deputy General Director for Science and Technology, Firma TVEMA JSC. Russia, Moscow. bugaenko@tvema.ru

**Chistyakova Olga** — Head of the Department, NDT and Diagnostics Lab, Firma TVEMA JSC. Russia, Moscow.

**Kononov Dmitry** — Project Manager, NDT and Diagnostics Lab, Firma TVEMA JSC. Russia, Moscow.

**Abstract.** This article addresses innovations developed by TVEMA for non-destructive testing through the use of ultrasonic and eddy current methods. The state-of-the-art products are to equip various mobile means for rail testing. The article describes the results of new high speed ultrasonic rail testing technology implementation.

**Keywords:** rail testing, ultrasonic testing, testing consistency, sliding probe, innovations, eddy current testing, wheel probe, high speed diagnostic complexes.

# ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ



ЛЕСОВ К.С., Ташкентский государственный транспортный университет, канд. техн. наук,  
ХАЛЬФИН Г.-А.Р., Ташкентский государственный транспортный университет, канд. техн. наук

Повышение устойчивости бесстыкового пути — одна из важнейших задач, решаемых ведущими научно-исследовательскими институтами, университетами и научными центрами [1–4]. Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что при всем многообразии имеющихся моделей и расчетных методов недостаточно изучены состояние промежуточных рельсовых скреплений и продольные силы, влияющие на устойчивость бесстыкового пути [5–7].

Проводимые исследования направлены на создание и совершенствование средств диагностики и мониторинга промежуточных скреплений в бесстыковом пути [8]. Разработка методики для оценки технического состояния упругих клемм обеспечит безотказность работы пути и продлит его срок службы, а значит и сократит расходы на обновление [9].

Для измерения усилия нажатия клеммы скрепления Pandrol Fastclip на рельс разработано диагностическое средство, которое позволит прогнозировать надежность конструкции и повысить безопасность движения поездов. На изобретение получен патент в Агентстве по интеллекту-

альной собственности Республики Узбекистан [10].

Диагностическое средство ДС-F01 состоит из цилиндрического корпуса 1 с вертикальным штоком и рукояткой 4 для вращения штока (рис. 1).

В нижней части прибора имеется специальный захват 3, обеспечивающий возможность фиксации концевой части клеммы скрепления типа Pandrol Fastclip.

Использование ДС-F01 для измерения усилия нажатия клеммы на подошву рельсов основано на разработанной Методике оценки технического состояния конструкции узлов рельсовых скреплений (рис. 2).

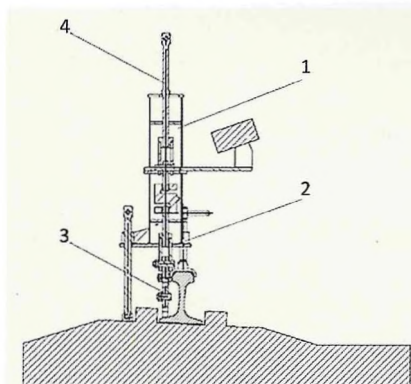


Рис. 1. Конструкция диагностического средства ДС-F01 в разрезе:  
1 — цилиндрический корпус; 2 — система рычагов; 3 — захват; 4 — рукоятка



Рис. 2. Блок-схема оценки технического состояния промежуточных рельсовых скреплений

Основной задачей применения диагностического средства ДС-F01 является оценка стабильности усилия нажатия клемм скрепления в условиях длительной эксплуатации верхнего строения пути. Результаты исследований позволяют оценивать фактические значения погонных сопротивлений продольному перемещению рельсовых плетей, прогнозировать угон пути, оценивать вероятность выброса пути, планировать сроки и объемы путевых работ по повышению усилия нажатия клемм на подошву рельсов, обосновывать необходимость снижения скоростей движения поездов по состоянию узлов рельсовых скреплений.

Измерения проводят на клеммах внутри и снаружи рельсовой колеи не менее, чем на 25 подряд расположенных шпалах, для левого и правого рельсов. На двухпутном участке левым считается рельс, расположенный с левой стороны при движении поезда в правильном направлении. На однопутном участке за левый принимают рельс, расположенный слева по ходу нумерации километров.

По разработанной методике диагностическим средством ДС-F01 измерены усилия нажатия скреплений, расположенных на «дышащих» концах плети бесстыкового пути перегона Жалоир—Кучлук ПК14+651 — ПК16+716 Ташкентской дистанции пути АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Полученные результаты (рис. 3) показывают, что после пропущенного тоннажа усилия нажатия клемм скреплений Pandrol Fastclip уменьшились по сравнению с нормативными значениями на 3 %, но находятся в допустимых пределах согласно ГОСТ Р 59428—2021. Поэтому можно сделать вывод, что на данном участке бесстыкового пути отсутствует опасность угона рельсовых плетей и безопасность движения поездов обеспечена.

**Заключение.** Для дальнейшего расширения полигона наиболее прогрессивной и востребованной конструкции верхнего строения пути — бесстыкового пути, необходимо внедрение комплекса диагностических средств, позволяющих контролировать состояние промежуточных рельсовых скреплений.

#### Список источников

1. Коган А.Я., Лебедев А.В. Устойчивость бесстыкового пути при различных конструкциях скреплений и условиях их эксплуатации // Вестник Всероссийского научно-иссле-

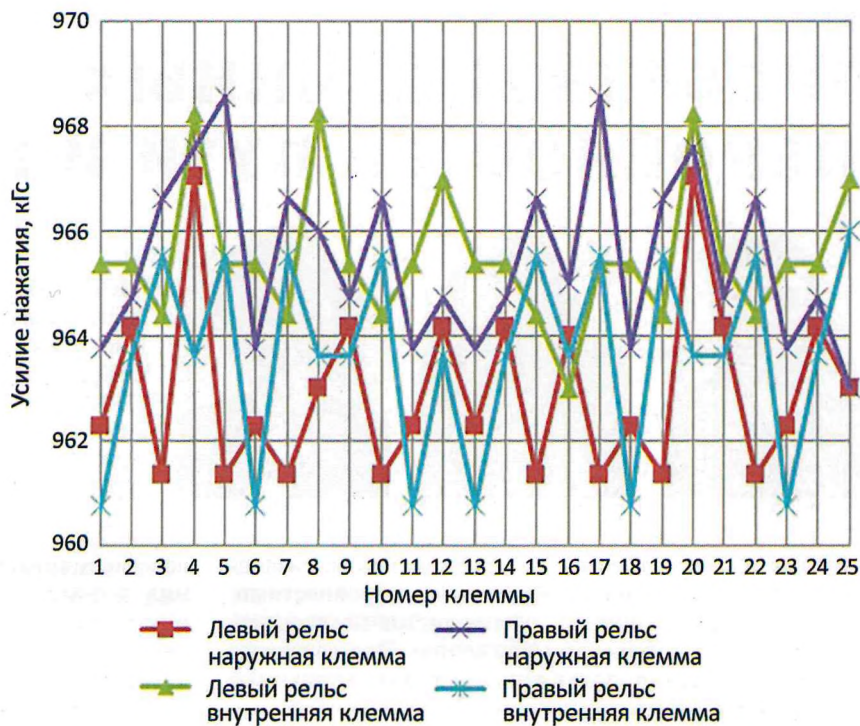


Рис. 3. Результаты измерения диагностическим средством ДС-F01 усилий нажатия клемм

довательского института железнодорожного транспорта. 2007. № 2. С. 3—9.

2. Першин С.П. Повышение устойчивости бесстыкового пути // Железнодорожный транспорт. 1961. № 7. С. 37—40.

3. Новакович В.И., Ершов В.В., Курилина И.А. Сопротивление рельсошпальной решетки перемещениям // Путь и путевое хозяйство. 2004. № 2. С. 5—7.

4. Ершов В.В. Устойчивость бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 3. С. 13—15.

5. Бондаренко А.А., Юрченко Д.А., Маёров Г.Р. Надежность и ресурсосбережение элементов верхнего строения // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 2. С. 12—13.

6. Бондаренко А.А., Зяблов Д.А., Маёров Г.Р. Повышение работоспособности промежуточных скреплений // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 8. С. 28.

7. Khalfin G.-A. Research of running resistance to longitudinal movement of rails on JSC «O'zbekiston Temir Yulary» // Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. 2020. Vol. 16, Iss. 2. Article 3.

8. Лесов К.С., Хальфин Г.-А.Р. Диагностическое средство для косвенного определения усилия нажатия клемм скрепления Pandrol Fastclip // Universum: технические науки. 2022. № 5—4 (98). С. 54—56.

9. Lesov K., Halfin G.-A. Assessment of the condition of intermediate rail fasteners by diagnostic tools // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2022. Special Iss.: Integrated Innovation on Technical Science and Economic Development. P. 82—84. URL: <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd50006.pdf>.

10. Патент IAP 05742, МПК E01B 35/00. Устройство для измерения силы прижатия клеммы скрепления к рельсу / Мамадалиев А.Ю., Досметов С.К., Эргашев У.Э., Бегматов Н.И., Хальфин Г.Р.; патентообладатель Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. № IAP20160168; заявл. 10.05.2016; опубл. 31.01.2019; Бюл. № 1. С. 77.

УДК 625.03

# ПРОБЛЕМЫ ДЛИННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ И ИХ РЕШЕНИЯ



**ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ А.И.**, ОАО «РЖД»,  
Центральная дирекция инфраструктуры, начальник  
Дирекции диагностики и мониторинга  
инфраструктуры, канд. техн. наук,  
**ПЕВЗНЕР В.О.**, АО «Научно-исследовательский  
институт железнодорожного транспорта»  
(АО «ВНИИЖТ»), докт. техн. наук,  
**ШАРОВА В.О.**, АО «ВНИИЖТ», ведущий инженер

В течение длительного времени проблемы, связанные с протяженными профильными неровностями, интересовали, в основном, специалистов по скоростному и высокоскоростному движению. Это связано с тем, что колебания подвижного состава, вызванные наличием периодических длинных неровностей, могут совпадать с частотами собственных колебаний обрессоренных масс (кузовов) скоростного подвижного состава, вызывая резонансные явления, в значительной мере ухудшающие показатели плавности хода. Соответственно, и нормирование таких неровностей относилось к участкам скоростного и высокоскоростного движения. Для примера приведем параметры оценки профильных неровностей (табл. 1), принятые в нормах EN и германских железных дорог (DB).

В отечественной практике оценка длинных неровностей согласно Распоряжению 436/р от 20.02.2020 относится к дополнительным параметрам, которые нормируются далеко не всегда.

Изменившиеся условия работы железных дорог, вызванные массовым внедрением вагонов с осевой нагрузкой 25 тс и увеличением масс грузовых поездов до 7100 т и выше (до 9 тыс. т, а двоярных — до 14 тыс. т), повысили нагрузки на путь и, в первую очередь, на нижнее строение. При временных интервалах между поездами меньших, чем период релаксации пути, вертикальные прогибы рельсовой колеи полностью не

восстанавливаются, и происходит процесс накопления деформаций. В результате это приводит к возникновению упругих и остаточных деформаций земляного полотна. На опасность перехода интенсивных упругих деформаций в остаточные указывал еще в 30-х годах прошлого века проф. Б.Н. Сергеев.

При этом нельзя не учитывать тот факт, что большинство российских железных дорог построено в XIX и начале XX в., когда путь был рассчитан на значительно меньшие нагрузки.

Проведенные в последнее время исследования позволили выявить ряд факторов и установить некоторые закономерности, которые необходимо учитывать при организации технического обслуживания пути.

1. Появление длинных профильных неровностей является индикатором наличия остаточных деформаций земляного полотна, что свидетельствует о превышении уровня силовой нагруженности пути, превышении показателей его несущей способности. Нужно отметить, что на российских дорогах практически не контролируются величины абсолютных деформаций пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Наблюдения, проведенные в 2014–2016 гг. на Октябрьской дороге на участке Ковдор—Пинозеро показали, что за этот короткий период в условиях пропуска всего около 30 млн т (в том числе 3 млн т при нагрузке 27 тс/ось) абсолютные осадки пути, замеренные от внешних реперов, составили от 12 до 18 мм.

Применение современных спутниковых технологий позволяет получить обобщенные оценки деформаций пути в обеих плоскостях при относительно небольших затратах. Эта информация должна лечь в основу разработки прогнозов изменения состояния пути на основных магистральных ходах.

2. В ходе исследований была установлена статистическая связь между параметрами длинных неровностей и количеством отступлений по геоме-

Таблица 1

## Нормативы содержания пути на скоростных и высокоскоростных линиях

Скорость, км/ч	Европейские нормы амплитуд, мм, профильных неровностей					
	EN			DB		
	Уровень амплитуд					
	Планового устранения	Немедленного реагирования	Предельно допустимые	Планового устранения	Немедленного реагирования	Предельно допустимые
Неровности длиной 3–25 м						
141–160	15–17	17–23	>23	8–10	10–23	>23
161–200	12–14	14–20	>20	7–9	9–20	>20
201–230	12–14	14–20	>20	7–9	9–20	>20
231–250	10–12	12–16	>16	6–8	8–16	>16
Неровности длиной 25–70 м						
161–200	20–23	23–33	>33	14–18	18–33	>33
231–250	20–23	23–33	>33	14–18	18–23	>33
231–250	18–20	20–28	>28	12–16	16–20	>28

трии пути II и III степеней. Чем больше амплитуда длинной профильной неровности, тем больше на ней фиксируется коротких неровностей (см. рисунок).

3. Наиболее важный вывод, полученный в ходе исследований, заключается в том, что нельзя рассматривать проблемы длинных неровностей только с точки зрения пути без учета их влияния на изменившиеся показатели взаимодействия пути с подвижным составом.

Эксперимент, проведенный на Малошуйской дистанции Северной дороги, показал, что при хорошем состоянии пути показатели вертикальной динамики грузовых вагонов ( $K_d$ ) лежат в уровне оценки «хорошо» и не превышают 0,45. При этом на пути имелись длинные неровности с амплитудами до 100 мм при длинах до 125 м. Это говорит о том, что сами по себе длинные неровности при обычных скоростях движения грузовых поездов не представляют угрозу безопасности движения.

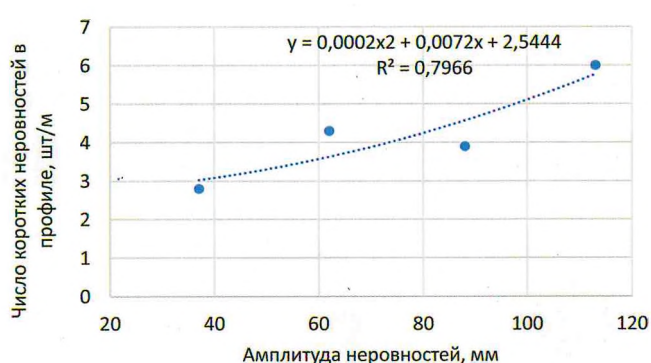
Полученные характеристики позволили верифицировать параметры расчетной модели колебаний грузовых вагонов в программном комплексе «Универсальный механизм» и провести теоретическую оценку показателей динамики при различных параметрах длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями (табл. 2). Каких-либо экстремальных значений показателей динамики выявлено не было.

Картина резко изменилась при введении в расчет продольной силы, вызванной наличием тяги и электродинамического торможения. Величина тяги у электровозов с коллекторными двигателями достигает 500 кН при таком же ограничении в режиме рекуперации, а у электровозов с асинхронными двигателями — 800 кН. При этом необходимо учитывать, что в современных условиях применение кратной тяги и торможения несколькими локомотивами не является исключением.

Коэффициент динамики при сочетании длинных и коротких неровностей с учетом силового параметра от тягового подвижного состава независимо от плана пути превосходит уровень оценки «допустимый», т. е. больше 0,65 (табл. 3).

Физический смысл полученных результатов необходимо рассматривать в следующем ключе. Из строительной механики известны расчеты потери устойчивости сжатого стержня, когда при превышении определенного уровня нагружения происходит его искривление. Эти расчеты описываются известными зависимостями Эйлера. Понятно, что если стержень имеет начальное искривление, потеря устойчивости возникает значительно раньше.

В нашем случае поезд можно рассматривать как многомассовый



Зависимость количества коротких неровностей II степени от амплитуд длинных неровностей на участках с грузонапряженностью от 80 до 125 млн т·км брутто/км в год

стержень, состоящий из цепочки вагонов, соединенных шарнирами (автосцепками), имеющими возможность ограниченного перемещения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Если такой поезд находится на повторяющихся длинных неровностях, то его можно рассматривать как условный стержень с искривлениями.

Поскольку автосцепки закреплены на раме вагона, в какой-то момент в одном из шарниров под действием продольных сил могут возникнуть «силы искривления», приводящие к обезгрузке тележек, которые

Таблица 2  
Показатели динамики при различных параметрах длинных неровностей в сочетании с периодическими короткими неровностями

План пути	Длинная неровность + короткая неровность	$K_d$
Прямая	L100 A60 +A5 L5	0,12
	L50 A60+A10 L10	0,1
	L150 A60+A20 L10	0,2
Кривая R=533 м	L50 A60 + A5 L5	0,2
	L100 A60 + A10 L10	0,57
	L150 A60 + A20 L10	0,62

Примечание: L — длина неровности, м, A — ее амплитуда, мм.

Таблица 3  
Показатели динамики при различных параметрах длинных неровностей в сочетании с периодическими короткими неровностями с учетом продольной силы тяги

План пути	Длинная неровность + короткая неровность	$K_d$
Продольная сила 500 кН		
Прямая (тяга)	L50 A60+A10 L10	0,72
	L100 A60 +A15 L10	0,78
	L150 A60+ A20 L10	0,8
Кривая R=533 м (торможение)	L50 A60+A10 L10	0,75
	L100 A60 A15 L10	0,8
	L150 A60+ A20 L10	0,87
Продольная сила 800 кН		
Прямая (тяга)	L50 A60+A10 L10	0,82
	L100 A60 +A15 L10	0,87
	L150 A60+ A20 L10	0,9
Кривая R=533 м (торможение)	L50 A60+A10 L10	0,78
	L100 A60 A15 L10	0,8
	L150 A60+ A20 L10	0,9

Примечание: L — длина неровности, м, A — ее амплитуда, мм.

# ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МОСТЫ ВАГОНОВ С ПОВЫШЕННОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ



**КОНДРАТОВ В.В.**, Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС), канд. техн. наук,  
**СЛАСТНИКОВ М.С.**, АО «Научно-производственное предприятие «Промтрансавтоматика», инженер

**Аннотация.** Приведены результаты исследований динамических воздействий вагонов с осевыми нагрузками 23–27 тс при скоростях движения 30–80 км/ч. Показано, что динамические воздействия подвижного состава на пролетные строения мостов определяются в основном взаимодействием ходовых частей экипажей с верхним строением пути и зависят от характера и величины неровностей на поверхностях катания рельсов и колес. Поскольку массы ходовых частей различных типов четырехосных грузовых полувагонов отличаются незначительно, динамическое воздействие на мосты этих полувагонов в большей степени определяется скоростью движения поезда и сочетанием неровностей в контакте «колесо—рельс» и практически не зависит от типа экипажа и осевой нагрузки.

**Ключевые слова:** мосты, пролетные строения, динамический коэффициент, подвижной состав, поддрессоренная масса, неподдрессоренная масса, неровности, рельсы, колеса.

Возможность пропуска по мостам определенных поездных нагрузок определяется не только грузоподъемностью искусственных сооружений, но и техническими параметрами экипажей подвижного состава, а

также характером взаимодействия поезда с пролетными строениями мостов.

Для того чтобы определить возможность пропуска подвижного состава по мосту, сравнивают классы

связаны с кузовом только шкворнем. Если в этом месте на пути будут находиться какие-то короткие неровности, создается угроза схода подвижного состава.

При движении в режиме максимальной тяги на подъеме в составе, оказавшимся на двух последовательных длинных неровностях, возникают разнонаправленные силы — сила тяги с головы и составляющая сил массы на уклоне в другой половине поезда. Механизм обезгруживания тележек будет аналогичен. В этом заключается опасность движения тяжеловесных поездов по участкам пути с длинными неровностями в режиме тяги или электродинамического торможения.

Вышесказанное позволяет заключить, что для обеспечения допустимого уровня коэффициента динамики груженого вагона в соответствии с ГОСТ 33211–2014 существует три варианта решения:

- устранить длинную профильную неровность;
- ликвидировать короткую профильную неровность (просадку, перекося);
- устранить влияние силовой составляющей (режим тяги или торможения).

Режим ведения поезда (силового воздействия на подвижной состав) зависит от профиля и плана пути, веса поезда, рода тяги, обеспечения тормозами и многих других менее значимых факторов. Поэтому, исходя из конкретных участков пути, силовая составляющая не может быть переменной. Следовательно, область воздействия на величину коэффициента ди-

намики определяется устранением длинной профильной неровности пути или короткой.

Устранение коротких неровностей относится к работам, выполняемым при текущем содержании пути преимущественно с помощью ручного механизированного инструмента без перерыва в движении поездов. Устранение длинных профильных неровностей может производиться как в рамках текущего содержания, так и при капитальном ремонте или модернизации пути. Работы выполняются с применением комплекса путевых машин в «окно», т. е. с перерывом в движении поездов.

Расчеты и сравнение затрат на работы по устранению неисправностей с учетом потерь от непропущенных из-за «окна» грузов по двум вариантам показали, что разница в зависимости от класса железнодорожной линии составляет от 60 % на 5 классе, до 400 % на 1 классе. Остается сформулировать следующий вывод: для обеспечения безопасности движения поездов при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в сочетании с периодически повторяющимися просадками II степени необходимо выполнять первоочередное устранение просадок. При сочетании длинной неровности с периодически повторяющимися просадками II степени, близкими к III степени, требуется обеспечить немедленное (в течение суток) устранение просадок. Устранять длинные неровности следует при проведении плановых ремонтов пути, в том числе при планово-предупредительной выправке.

элементов пролетных строений моста  $K$  с классом нагрузки  $K_0$ . В соответствии с [1]

$$K = \frac{k}{k_n(1+\mu)}, \quad (1)$$

где  $k$  — допустимая на элемент пролетного строения временная нагрузка;  $k_n$  — эталонная нагрузка по схеме С1;  $(1+\mu)$  — динамический коэффициент для эталонной нагрузки по схеме С1 [2],  $1+\mu = 1 + 18/(30+L)$ ;  $L$  — длина пролета мостовой конструкции или длина загрузки линии влияния.

Значения  $k$  и  $k_n$  определяют для одной и той же линии влияния (по ее длине и положению вершины).

Класс нагрузки определяют по формуле

$$K_0 = \frac{k_0(1+\mu_0)}{k_n(1+\mu)}, \quad (2)$$

где  $k_0$  — эквивалентная нагрузка от классифицируемого подвижного состава;  $(1+\mu_0)$  — динамический коэффициент для классифицируемого подвижного состава.

Рассмотрим характер динамического воздействия экипажей подвижного состава на пролетные строения моста. Примем, что экипаж моделируется системой двух масс: подрессоренной и неподрессоренной (рис. 1).

Если в качестве обобщенных перемещений заданы абсолютные перемещения  $q_1$  и  $q_2$  соответственно подрессоренной  $M$  и неподрессоренной  $m$  масс, то потенциальная и кинетическая энергии вагона запишутся следующим образом:

$$T = \frac{M\dot{q}_1^2}{2} + \frac{m\dot{q}_2^2}{2} = \frac{M\dot{q}_1^2}{2} + \frac{m(\dot{q}_{sp} + \dot{u})^2}{2}; \quad (3)$$

$$\Pi = \frac{C(q_1 - q_2)^2}{2} = \frac{C(q_1 - q_{sp} - u)^2}{2}, \quad (4)$$

где  $C$  — жесткость рессорного подвешивания;  $q_{sp}$  — упругое перемещение пролетного строения;  $u$  — неровность пути.

Вклад в уравнения Лагранжа от долей потенциальной и кинетической энергии по формулам (3) и (4) составит:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) = M\ddot{q}_1; \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} \right) = m\ddot{q}_{sp} + m\ddot{u}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q_1} = C(q_1 - q_{sp} - u); \quad \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} = -C(q_1 - q_{sp} - u). \quad (6)$$

Тогда уравнения движения примут следующий вид:

$$\text{для подрессоренной массы} \quad M\ddot{q}_1 + Cq_1 - Cq_{sp} = Cu; \quad (7)$$

$$\text{для неподрессоренной массы} \quad m\ddot{q}_{sp} - Cq_1 + Cq_{sp} = -Cu - m\ddot{u}. \quad (8)$$

Следовательно, в расчетной схеме для учета влияния каких-либо неровностей пути или поверхностей катания колес на динамическое взаимодействие подвижного состава с пролетным строением необходимо приложить к массам силы (рис. 2).

Случайная неровность  $u(t)$  в контакте «колесо — рельс» задается своей спектральной плотностью  $S(\omega)$

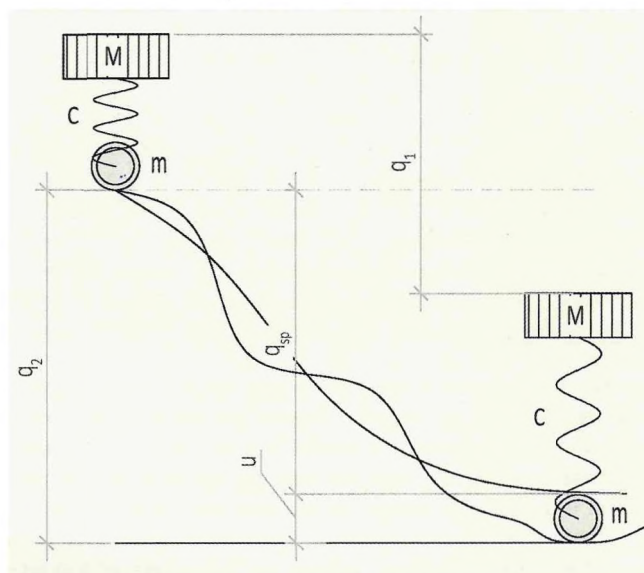


Рис. 1. Схема обобщенных перемещений подвижного состава

[4]. Следовало бы рассматривать две спектральные плотности — для функций  $u(t)$  и  $\ddot{u}(t)$ . Последняя имеет вид  $\omega^2 S(\omega)$ . Однако, учитывая узкополостность рассматриваемых процессов, можно пользоваться одной функцией спектральной плотности, умножая ее для задания ускорений на квадрат частоты собственных колебаний системы «неподрессоренные массы экипажа — путь на мосту»  $\omega_0$ , которая составляет около 35 Гц, или  $219,8 \text{ с}^{-1}$ .

На основе приведенного анализа можно оценить динамическое воздействие экипажа поезда на пролетное строение. Период вертикальных колебаний подрессоренных частей грузовых вагонов  $T$  составляет около 0,46 с [5]. Соответствующая ему частота колебаний  $k = 2\pi/T = 13,56 \text{ с}^{-1}$ . При этом нагрузка  $P_1$  на подрессоренную массу вагона составит

$$P_1 = Cu = k^2 Mu \approx 184 Mu. \quad (9)$$

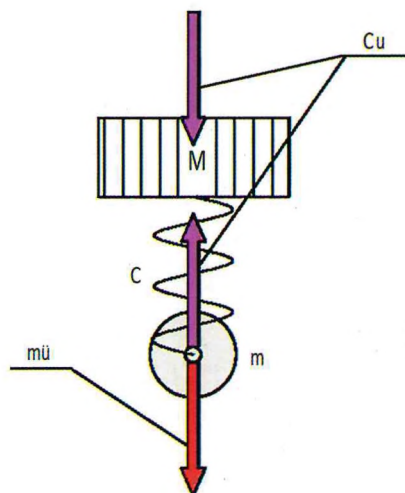


Рис. 2. Схема приложения нагрузки к подвижному составу и пути

**Характеристика четырехосных полувагонов с погонной нагрузкой более 7 тс/м**

Модель полувагона	Тип тележки	Осевая нагрузка, тс	Погонная нагрузка вагона, тс/м	Длина вагона по осям автоцепок, м	Масса тележки, т
12-9548-01	18-6863	27,00	7,76	13,92	5,05
12-2123 (с глухим кузовом)	18-9800	25,00	8,26	12,10	4,92
10-4022 (для апатитов)	18-100	23,25	7,90	11,72	4,80
20-9749 (хоппер для горячих окатышей)	18-100	23,50	7,83	12,00	4,80

Подставив в формулу (9) массу в тоннах, а смещение в метрах, получим силу в килоньютонах. Эта сила одинакова при движении вагона по разным пролетным строениям, но зависит от характера и величины неровностей в контакте «колесо—рельс».

Динамическое воздействие на неподрессоренную массу вагона и соответственно воздействие неподрессоренной массы на пролетное строение можно описать формулой

$$P_2 = m\omega_0^2 u. \quad (10)$$

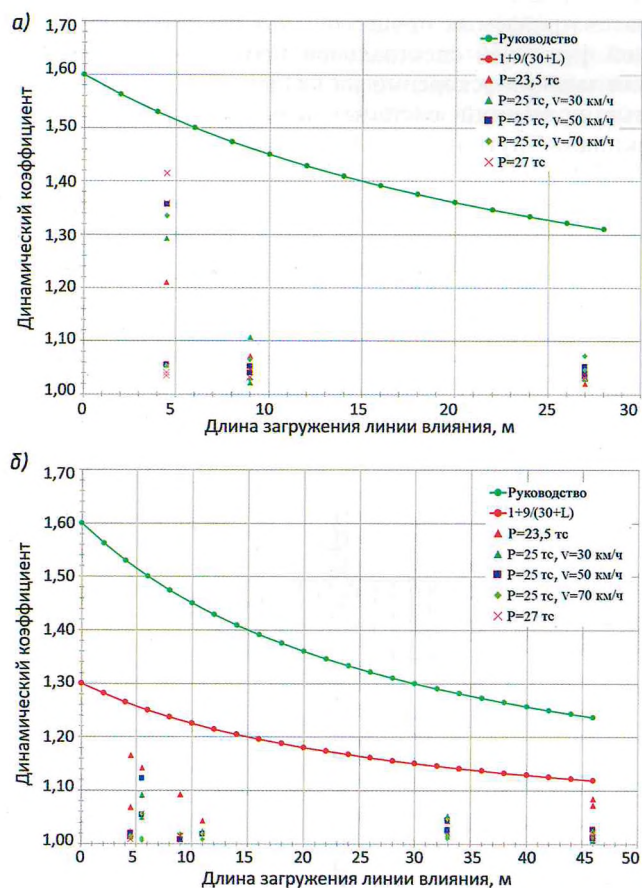
При  $\omega_0 \approx 219,8 \text{ с}^{-1}$  сила  $P_2 = 48312mu$ .

Масса  $m$  составляет до 0,1М, поэтому при величине

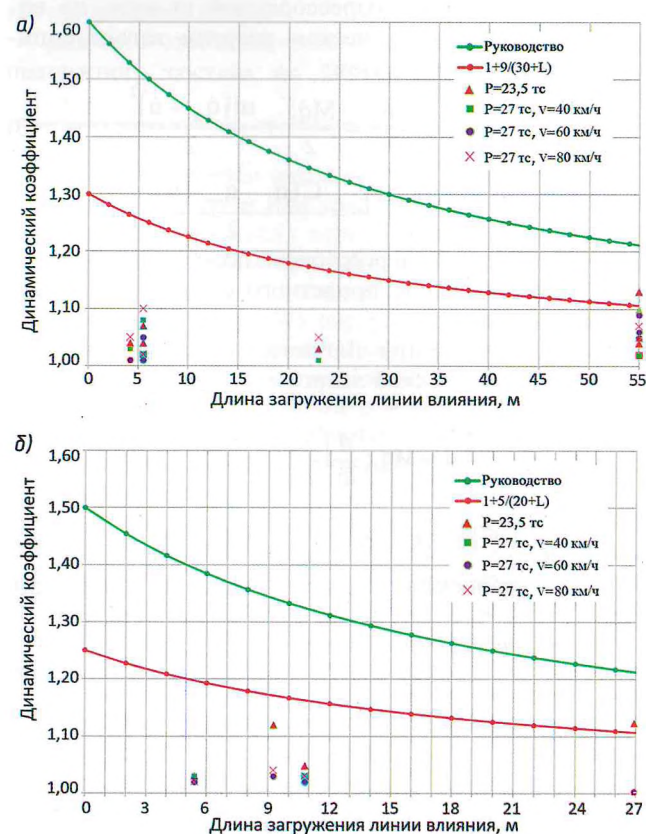
не неровностей определенного типа «и» силы  $P_2$  будут превышать  $P_1$  примерно в 20–25 раз. Таким образом, динамические нагрузки грузовых вагонов на пролетные строения мостов, обусловленные неровностями пути и колес экипажей, определяются взаимодействием ходовых частей подвижного состава и верхнего строения пути на мосту. Массы тележек грузовых четырехосных вагонов разных моделей отличаются до 5 % массы тележек модели 18–100 (см. таблицу), вследствие чего динамические нагрузки на мосты рассматриваемых вагонов должны быть близки по величине при одинаковых неровностях в контакте «колесо—рельс» и практически не зависеть от осевых нагрузок.

Динамические воздействия грузовых вагонов на мостовые конструкции оценивались на основе измерений колебаний пролетных строений при испытаниях мостов на линиях Ковдор—Мурманск (полувагонов моделей 12-2123 и 10-4022) и Качканар—Смычка (полувагонов моделей 12-9548-01 и 20-9749), выполненных в 2014 и 2017 гг. АО «НИИ мостов».

Динамический коэффициент равен отношению максимальных амплитуд колебаний пролетного строения при воздействии поездной нагрузки к статическому прогибу этого пролетного строения при нагружении его рассматриваемой нагрузкой.



**Рис. 3. Экспериментальные и нормативные значения динамического коэффициента к поездной нагрузке для элементов стальных пролетных строений:**  
а — со звеньевым путем; б — мостов с бесстыковым путем



**Рис. 4. Экспериментальные значения динамического коэффициента к поездной нагрузке:**  
а — для элементов стальных пролетных строений по сравнению с нормативными значениями; б — для железобетонных пролетных строений мостов с бесстыковым путем

На рис. 3 приведены графики зависимостей динамического коэффициента от длин пролетов испытанных элементов и типов экипажей поезда, показаны экспериментальные и нормативные значения динамического коэффициента к поездной нагрузке, полученные при испытаниях стальных пролетных строений на участке Ковдор—Мурманск.

Зеленая кривая отражает зависимость динамического коэффициента от длин пролетов мостовых конструкций в соответствии с Руководством [3] при укладке на мостах звеньевых пути в соответствии с формулой  $1 + 18/(30 + L)$ ; красная — при укладке на мостах бесстыкового пути в соответствии с формулой  $1 + 9/(30 + L)$ .

Результаты испытаний показали, что при укладке бесстыкового пути на мостах существенно снижаются динамические воздействия на пролетные строения, что позволяет обеспечивать пропуск более тяжелых поездных нагрузок (см. формулу (2)) за счет снижения динамического коэффициента ( $1 + \mu_0$ ) [3].

Результаты экспериментов на линии Качканар—Смьчка, по сравнению с нормативными значениями динамического коэффициента, представлены на рис. 4.

Приведенные на рис. 3, 4 данные подтверждают, что динамическое воздействие поездной нагрузки на мостовые конструкции не зависит от осевых нагрузок и определяется величиной неподрессоренных масс экипажей поезда и характером неровностей в контактах «колесо—рельс». При укладке на мосту бесстыкового пути указанные неровности зависят от степени износа поверхностей катания рельсов и колес подвижного состава. Вследствие этого динамическое воздействие вагонов с тележками 18–100 может оказаться сильнее, чем полувагонов моделей 12-9548-01 или 12-2123 (см. рис. 3, б, 4, а).

При разных неровностях на поверхностях катания колес динамическое воздействие на мосты будет сильнее от тех полувагонов, которые имеют большие дисбаланс колес и износ их поверхностей катания. В целом с увеличением скорости движения подвижного состава динамические воздействия на пролетные строения возрастают, хотя при определенных неровностях на поверхностях катания колес динамические силы в контакте «колесо—рельс» при разных скоростях соизмеримы, что согласуется с ранее проведенными исследованиями во ВНИИЖТе [6].

Аналогичные результаты получены при испытаниях железобетонных пролетных строений (см. рис. 4, б),

для которых нормативное значение коэффициента динамики определяется по формуле  $1 + 10/(20 + L)$  [3].

## Выводы

1. Динамические воздействия подвижного состава на пролетные строения мостов определяются в основном взаимодействием ходовых частей экипажей с верхним строением пути и зависят от характера и величины неровностей на поверхностях катания рельсов и колес. Поскольку массы ходовых частей различных типов четырехосных грузовых полувагонов отличаются незначительно, динамическое воздействие на мосты этих полувагонов в большей степени определяется скоростью движения поезда и сочетанием неровностей в контакте «колесо—рельс» и практически не зависит от типа экипажа и осевой нагрузки.

2. Экспериментальные значения динамического коэффициента к поездным нагрузкам с осевым давлением до 27 тс включительно не превосходят его нормативных значений. Результаты испытаний эксплуатируемых мостов со звеньевым и бесстыковым путем показывают, что при оценке грузоподъемности пролетных строений на мостах с бесстыковым путем значение динамического коэффициента к поездным нагрузкам ( $1 + \mu_0$ ) следует принимать меньше, что снижает классы поездных нагрузок и в итоге позволяет пропускать по мостам более тяжелый подвижной состав.

## Список источников

1. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов ОАО «РЖД»: Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2015 № 3227р.
2. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*. Введ. 20.05.2011. Изм. 29.12.2020. М.: ОАО «ЦПП», 2011.
3. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам ОАО «РЖД»: Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2015 № 3226р.
4. Кондратов В.В. Влияние динамических эффектов в элементах пролетных строений железнодорожных мостов на безопасность движения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 26–32.
5. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона: учебник. М.: Транспорт, 1978. 352 с.
6. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 559 с.

## DYNAMIC IMPACT OF FREIGHT CARS WITH INCREASED AXIAL LOAD ON BRIDGES

**Kondratov Valery** — Ph.D., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS), Associate Professor of the Department of Bridges St. Petersburg, Russia. imostov@yandex.ru  
**Slastnikov Maksim** — joint stock company «Scientific and Production Enterprise «Promtransavtomatika», engineer. St. Petersburg, Russia.

**Abstract.** Current article presents the results of study of the dynamic effects of wagons with axial loads from 23 to 27 tnf at speeds from 30 to 80 km/h. It is shown that the dynamic effects of rolling stock on bridge spans are determined mainly by the interaction between the railway bogies and the upper structure of the track and depend on the nature and magnitude of irregularities on the surfaces of rails and wheelsets. Since the masses of the railway bogies of various types of four-axle freight cars differ slightly in size, the dynamic effect on the bridges of these cars is largely determined by the speed of the train and the combination of irregularities in the wheel-rail contact, and hardly depends on the type of wagons and the magnitude of the axial load.

**Keywords:** bridges, span structures, dynamic coefficient, rolling stock, mass, sprung mass, unsprung mass, track irregularities, rails, wheelset.

# КОМПОЗИТНЫЕ ШПАЛЫ ПОВЫШАЮТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА



**БОНДАРЕНКО А.А., Самарский государственный университет путей сообщения, докт. техн. наук**

На российских дорогах в основном применяются железобетонные шпалы, в меньшей степени — деревянные. Многолетний опыт эксплуатации пути на железобетонном основании свидетельствует о его повышенной вибрации при движении поездов по сравнению с деревянным основанием. При этом обостряется проблема вибрации не только железнодорожного полотна, но и прилегающих территорий. В ряде случаев вибрацию снижают, применяя композитные шпалы, которые по своим характеристикам близки к деревянным.

На уровень вибрации существенно влияют также свойства подстилающего грунта. Только радикальное

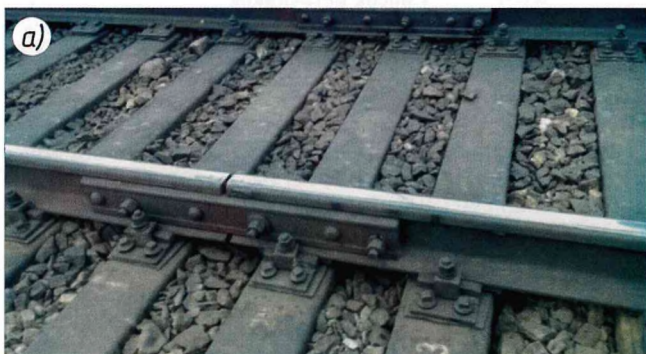
его усиление может стать долгосрочным решением проблемы. Но поскольку на сети много участков с грунтами, способствующими усилению вибрации пути, вариант их замены исключается в связи с экономической нецелесообразностью. Применение и утилизация железобетонных и деревянных шпал также влечет за собой много проблем.

Далее рассмотрено применение шпал из полимерных композитных материалов (рис. 1, а), способствующих повышению эффективности и экологичности ведения путевого хозяйства, особенно в условиях многолетнемерзлых грунтов будущих участков Северного широтного хода, заболоченной местности, низких температур и др. Шпалы из полимерных композитных материалов также нашли свое применение в метрополитенах, трамвайных путях (рис. 1, б).

Композитные шпалы широко применяются за рубежом (например, в Японии их успешно используют уже около 40 лет), в том числе на участках бесстыкового пути и обращения подвижных составов с осевой нагрузкой до 36 т. Изготавливают их из экструдированного стекловолокна и полиуретана. Этот материал по жесткости близок к древесине, но во много раз прочнее. В Японии композитные шпалы и брусья используют в стрелочных переводах и на мостах, где требуется высокая прочность в сочетании с точностью геометрических размеров.

Основной недостаток таких шпал — высокая стоимость. Однако в ряде случаев снизить уровень вибрации очень важно. При этом альтернативные решения, такие как замена грунта на более виброустойчивый, обойдутся еще дороже, чем замена шпал на композитные.

Агентство транспортной инфраструктуры Финляндии решило проверить, как работают композитные шпалы при экстремально низких температурах. Университет Тампере (Tammerfors universitet) планировал испытать шпалы FFU японского концерна SEKISUI при минимальной температуре  $-40^{\circ}\text{C}$ . Однако во время проведения опытов температура шпал была



**Рис. 1. Применение композитных шпал (из презентации заместителя генерального директора ООО «АКСИОН РУС» Т.А. Бочарова):**

а — на главном ходу; б — в городском рельсовом транспорте

ниже заданного уровня. Такое экстремальное охлаждение позволило убедиться, что материал не становится хрупким при промерзании.

Шпалы охлаждали приблизительно в течение суток — до тех пор, пока не выравнялась температура на их поверхности и внутри, а затем нагружали при комнатной температуре настолько быстро, насколько это было технически возможно, для того чтобы температура испытуемого образца не могла значительно измениться.

По результатам тестирования композитные шпалы показали значительную прочность и без разрушения выдерживали большую нагрузку, чем деревянные или железобетонные. При низкой температуре композитный материал становился немного более жестким, но при этом сама шпала оставалась гибкой. Ее также испытывали на изгиб, приложив значительную нагрузку — момент 100 кН·м. По окончании теста не было обнаружено никаких повреждений или дефектов.

Во время тестирования не удалось сломать или повредить шпалу из-за ограниченной мощности оборудования. По этой же причине оказалось невозможно определить ее максимальное сопротивление. Однако при приложенной максимально возможной нагрузке прогиб шпалы составил около 27 мм во время испытания при низкой температуре и около 30 мм при комнатной температуре. Очевидно, что в условиях эксплуатации такие экстремальные нагрузки возникнуть не могут. Можно с уверенностью заключить, что композитная шпала более прочна и гибка по сравнению с железобетонной.

Изготавливают такие шпалы из сконструированных полимерных композиционных материалов, которые должны включать в себя в качестве основных компонентов полимерную матрицу из переработанного полиэтилена высокой плотности и полиэтилена низкой плотности, а также из армирующего наполнителя (допускается использовать компоненты группы тальков и стекловолокна), улучшающего характеристики и свойства шпал, в соответствии с технологическим процессом, утвержденным предприятием-изготовителем.

Геометрические размеры композитных шпал соответствуют размерам деревянных обрезных шпал I типа. Поскольку они на 100 % состоят из переработанных материалов — повторно использованного пластика, без применения вредных химических добавок, по окончании срока эксплуатации их можно повторно использовать при производстве шпал. Таким образом, пластиковые отходы не попадают на свалки, не загрязняют окружающую среду.

В соответствии с утвержденной ОАО «РЖД» Программой и методикой приемочных испытаний

шпал композитных для железных дорог широкой колеи специалистами АО «ВНИИЖТ» на Экспериментальном кольце в Щербинке проведены комплексные испытания композитных шпал АО «Фирма ТВЕМА», для изготовления которых использовалась полимерная матрица из переработанного полиэтилена высокой плотности в качестве основного компонента со стеклонаполненным полимером.

При испытаниях применили стандарт AREMA и приведенные в нем минимальные величины рабочих характеристик (при их отсутствии в российских и межгосударственных стандартах). Результаты испытаний показали, что значения физико-механических характеристик, влияющих на эксплуатационную надежность и работоспособность композитных шпал, выше, чем деревянных.

На рис. 2 представлена схема испытаний для определения модуля упругости и модуля разрушения композитных шпал.

При испытании нагрузку доводят до 100 кН, затем снижают до 0 кН и повышают повторно до разрушения образца, фиксируя силу разрушения по шкале испытательной машины.

При первичном и вторичном нагружениях фиксируют деформации ( $y$ ) и напряжения ( $z$ ) при нагрузке от 0 до 100 кН через 5 кН.

Модуль упругости при изгибе  $MoE$  (рис. 2, б) определяют по формуле

$$MoE = \frac{m}{48l} L^3,$$

где  $m$  — угол наклона кривой «нагрузка—прогиб», скорректированной с учетом первичной просадки, не отражающей свойства материала;  $l$  — мо-

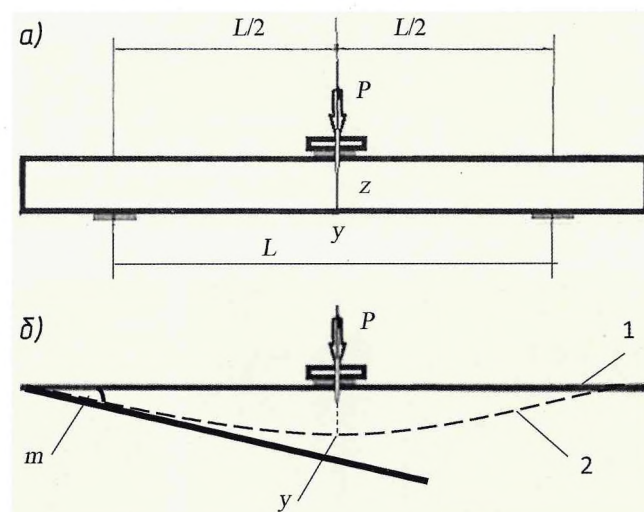


Рис. 2. Схема испытаний для определения модуля упругости и модуля разрушения композитных шпал:

а — схема нагружения шпалы; б — схема изгиба оси шпалы под нагрузкой: 1 — ось шпалы; 2 — кривая «нагрузка—прогиб»;  $L$  — пролет нагружения;  $P$  — нагрузка;  $y$  — деформации;  $z$  — напряжения

мент инерции поперечного сечения шпалы;  $L$  — пролет нагружения,  $L \geq 0,8$  м.

Значение  $l$  определяют по формуле

$$l = \frac{1}{12bd^3},$$

где  $b$  — ширина шпалы, см;  $d$  — высота шпалы, см.

Модуль разрушения  $MoR$  определяют по формуле

$$MoR = \frac{13LP}{2bd^2},$$

где  $P$  — фактическая нагрузка при разрушении образца, кН.

Композитные шпалы из полимерного материала больше подвержены температурному воздействию, чем деревянные; при отрицательных температурах их модуль упругости изменяется до двух раз. При зимних полигонных испытаниях зафиксированы изломы композитных шпал на участках с неравномерно уложенным и уплотненным щебеночным балластом.

Большая на 10–15 % масса композитных шпал, по сравнению с деревянными, а также текстурированные нижние и боковые плоскости обеспечивают до 1,5 раз большее сопротивление поперечному сдвигу.

Стендовые и лабораторные испытания, а также практическая проверка композитных шпал на прочность в условиях Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» с пропуском по участкам с кривыми радиусами 400 и 800 м более 800 млн т груза показали, что прочностные характеристики композитных шпал в полтора раза выше, чем деревянных.

При наработке 500 млн т груза брутто среднее изменение ширины колеи составило 1,1 мм. Подуклонка и возвышение рельсов практически остались теми же.

Композитные шпалы должны быть устойчивыми к воздействию климатических факторов внешней среды в соответствии с климатическим испол-

нением У и категорией размещения 1 по ГОСТ 15150–69. Они обладают лучшими физико-механическими характеристиками, чем деревянные, а следовательно, более высокими эксплуатационной надежностью и работоспособностью. Их можно использовать при ремонтах пути на новых материалах, а также при одиночной замене деревянных шпал.

Применение композитных шпал целесообразно при технико-экономическом обосновании их эффективности по сравнению с деревянными и железобетонными шпалами, а также с плитами безбалластного мостового полотна (БМП), с учетом определения сфер их рационального применения и разработки нормативной документации.

Результаты эксплуатации композитного безбалластного мостового полотна (КБМП), а также композитных шпал на железнодорожных мостах за период 2018–2023 гг. (рис. 3) свидетельствуют об их эффективности.

Композитные шпалы успешно прошли испытания на соответствие нормам и требованиям пожарной и экологической безопасности — получены соответствующие сертификаты и заключения.

Основные эксплуатационные характеристики — сопротивление поперечному сдвигу, повреждаемость, трещинообразование, износостойкость, стабильная геометрия рельсовой колеи — значительно превосходят характеристики деревянных шпал. Материал шпал является к тому же диэлектриком, устойчивым к агрессивным средам, и не подвержен электрокоррозии. Срок службы композитных шпал (более 50 лет) в три раза больше, чем деревянных, в условиях высоких влажности и температур.

Содержание пути в метрополитенах, на промышленных предприятиях и городском рельсовом транспорте значительно дороже и трудозатратнее, чем на железных дорогах. Поэтому там уже эксплуатируются более 200 тыс. композитных шпал. Основные получатели — Московский и Санкт-Петербургский метрополитены с наработкой более



Рис. 3. Применение на Калининградской дороге изделий из композитных материалов: а — шпалы на железобетонном мосту; б — плиты на путепроводе; в — плиты на металлическом мосту

300 млн т. В России новую технологию внедряют метрополитены, а также горнообогатительные комбинаты и крупные компании, такие как ЕВРАЗ, «Норильский Никель», «Северсталь», «Атомспецтранс» и др.

В ГУП «Мосгортранс», теперь входящем в Московский метрополитен, композитные шпалы уложены на большинстве участков трамвайных путей, в основном в кривых. Нарботанная практика метрополитена свидетельствует о том, что композитные шпалы существенно снижают как затраты на обслуживание, содержание и ремонт пути, так и показатели уровня шума.

Сфера применения композитных шпал может быть существенно расширена. Для реализации цифровой технологии оценки состояния, планирования и контроля качества работ по содержанию и ремонту инфраструктуры с учетом взаимодействия с цифровой моделью дороги на Северо-Кавказской магистрали проходят испытания композитные пикетные электронные шпалы со встроенными радиоэлектронными перекодируемыми устройствами. При производстве шпалы в нее закладывают электронные метки с возможностью кодирования при укладке паспортных данных, данных диагностики, железнодорожных и географических координат и др.

На Свердловской дороге с 2021 г. проходят испытания композитные шпалы на участках, где вагоны имеют осевую нагрузку более 27 тс, а также проходят составы с калийными удобрениями, в короткие сроки разрушающими железобетонные шпалы. Например, согласно акту обследования одного из опытных участков станции Березники-Сортировочная (на прямом участке по ходу километров на подъеме 16,9 ‰ уложен звеньевой путь, осевая нагрузка — 27,72 тс) температурное расширение композитных шпал компании ООО «АКСИОН РУС» соответствует техническим условиям ТУ ВДМА.663500.145-01-2014. После пропуска более 700 тыс. т натурный осмотр участка показал отсутствие повреждений композитных шпал и отверстий скреплений. Испытания продолжатся до 2025 г.

Уникальная технология производства позволяет устанавливать гарантийный срок эксплуатации композитных железнодорожных шпал шесть лет. Практика их применения в метрополитене свидетельствует о том, что они снижают показатели уровня шума. По данным Московского метрополитена, экономический эффект от применения композитных шпал в течение жизненного цикла составляет около 200 млн руб. Вместо расходов на утилизацию возможно также получение прибыли при возврате отработавших шпал на переработку.

## Выводы

1. Композитные шпалы и КБМП обладают лучшими физико-механическими характеристиками, чем деревянные, а следовательно, более высокими эксплуатационной надежностью и работоспособностью. Они могут использоваться при ремонтах пути на новых материалах, а также при одиночной замене шпал на пути с деревянными шпалами, не оказывая вредного влияния на окружающую среду и качество грунтовых и поверхностных вод.

2. Композитные шпалы и КБМП являются прогрессивной конструкцией подрельсового основания. Улучшенные функциональные характеристики дополняются высокой экологичностью производства и утилизации.

В целях обеспечения длительного срока эксплуатации нужно строго следовать инструкциям по подготовке отверстий к монтажу скреплений и технологии зашивки пути.

3. Композитные шпалы обладают большей устойчивостью при наличии влаги (в том числе в болотистой местности), агрессивных сред и резких изменениях температуры окружающей среды. Они могут использоваться при строительстве железных дорог в условиях Севера.

4. Применение композитных шпал целесообразно при технико-экономическом обосновании их эффективности по сравнению с деревянными и железобетонными шпалами, а также БМП, с учетом определения сфер их рационального применения и разработки нормативной документации.

## Список источников

1. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Б.Б. Мандрик-Котов, Е.С. Михалдыкин // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 6 (37). С. 89. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf>.

2. Применение композитных материалов на железнодорожном транспорте / А.В. Савин, А.И. Борц, И.В. Светозарова, А.А. Дорошкевич // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 1. С. 15–17.

3. Лоумала Х., Рантала Т., Моисеенко А.С. Свойства композитных шпал: финский опыт исследования // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 9. С. 37–38.

4. Испытания шпалы компании Vossloh из композитного материала // Железные дороги мира. 2019. № 4. С. 69–71.

5. Новакович В.И., Мироненко Е.В., Хадукаев Н.-А.С. Влияет ли масса шпалы на сопротивление сдвигу в балласте? // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 3. С. 34–36.

6. Новакович В.И., Карпачевский Г.В., Залавский Н.И. Способствует ли большая массивность элементов верхнего строения пути повышению его надежности? // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 4. С. 26–28.

7. Испытания шпал уменьшенной толщины // Железные дороги мира. 2014. № 10. С. 73–75.

# К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА КОНТРЕЛЬСОВЫХ ПОДКЛАДОК\*

РИХТЕР Е.Е., Южно-Уральский государственный университет, Политехнический институт, кафедра «Техническая механика», канд. техн. наук

Для оценки уровня напряжений, действующих в подкладках в условиях эксплуатации, были проведены натурные эксперименты на стрелочном переводе Южно-Уральской дороги [6, 8, 9]. Тензорезисторные преобразователи для регистрации деформаций были размещены по всей длине контрельсового узла. В результате натурных экспериментов изучены процессы изменения деформаций в различных зонах подкладки.

На рис. 6 представлены характерные фрагменты осциллограмм изменения напряжений в исследуемых зонах. Хорошо видно, что с увеличением скорости амплитуда напряжений значительно возрастает. Анализ полученных данных показывает, что уровень действующих в подкладках напряжений может достигать 200–230 МПа и более, а это означает, что с учетом концентрации напряжений в зо-

нах сварных швов ребер упоров максимальные нагрузки могут оказаться существенно выше предела выносливости материала опорной пластины подкладки. Это объясняет усталостный характер разрушения рассматриваемых изделий и необходимость их частой замены [6, 9].

Таким образом, в результате лабораторных и натурных экспериментов установлено, что напряжения в зоне размещения ходового рельса и ребер жесткости упора существенно выше, чем в остальных местах опорной пластины подкладки. По этой причине именно здесь при проследовании поездопотока происходит запуск механизма усталостного повреждения, что в дальнейшем приводит к излому опорной пластины. Простое увеличение ее толщины для снижения уровня действующих напряжений не даст желаемого эффекта, поэтому требуется усовершенствовать саму конструкцию контрельсовой подкладки. В качестве альтернативы существующему варианту (рис. 7, а) предложены конструкции, представленные на рис. 7, б, в.

На конструкции подкладок, представленных на рис. 7, б и в, получены патенты [12, 13]. Сопротивляемость опорных пластин повышена за счет дополнительных ребер жесткости, свисающих вниз. Для сравнения предлагаемых конструктивных изменений выполнены расчетные исследования вариантов подкладок. При этом для полноты картины в расчетах моделировались не только сами подкладки, но и все прочие элементы контрельсового узла: резиновые прокладки, контрельс, ходовой рельс и железобетонный брус. Учитывались вертикальные и боковые составляющие нагрузок.

На рис. 8 представлены расчетные модели напряженно-деформированного состояния всех трех вариантов конструкций с указанием полей напря-

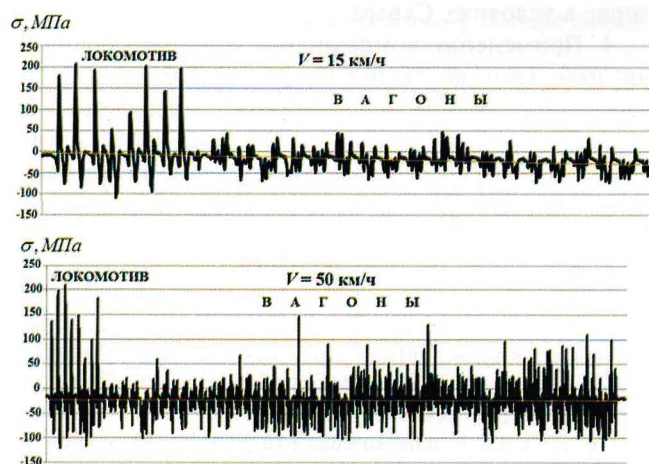


Рис. 6. Характерный вид осциллограмм, полученных при натурном эксперименте (фиксировались напряжения в подкладках при движении поездов со скоростями 15 и 50 км/ч)

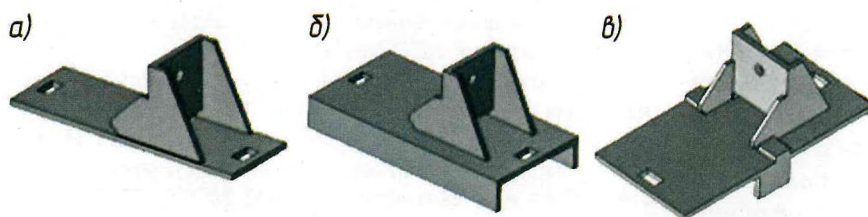


Рис. 7. Варианты конструкции подкладки контрельса:  
а — исходная; б — со свисающими ребрами; в — с уменьшенными свисающими ребрами («ушами»)

№ датчика (см. рис. 5)	Нагрузки, МПа	
	экспериментальные	расчетные
1	7,5	10,1
2	12,4	12,4
3	9,2	9,6
4	8,5	9,7
5	9,4	10,6
6	11,7	12,7
7	11,2	10,5

\*Окончание. Начало в № 6, 2024 г.

жений, выполненных в цвете. Анализ показывает, что вариант «б» отличается существенно меньшим (в 1,9 раза) уровнем действующих напряжений, чем серийная подкладка (вариант «а»). Однако существенным недостатком варианта «б» является большой расход материала (в 1,8 раза) по сравнению с серийной подкладкой. Поэтому наиболее приемлемым решением следует признать вариант «в» — в этом случае напряжения в опасном сечении снижаются в 1,65 раза при увеличении массы подкладки лишь на 15 %.

На рис. 9 представлены кривые эквивалентных напряжений в опасном сечении и массы подкладки в зависимости от протяженности свисающих ребер жесткости.

Для оценки эффективности использования нового варианта конструкции выполнен сравнительный расчет по оценке среднего ресурса серийной (вариант «а») и новой подкладки (вариант «в»).

В основу расчета положена скорректированная линейная гипотеза накопления усталостного повреждения, предложенная С.В. Серенсенем и В.П. Когаевым [14]:

$$\frac{1}{N_G \sigma_{-1}^m} \sum_{i=1}^r n_i \sigma_{a_i \text{ЭД}}^m = a_p, \quad (1)$$

где  $N_G$  — базовое число циклов нагружения (для малоуглеродистых сталей принимается равным 2106–2107);

$\sigma_{-1}$  — предел выносливости материала (для опорной пластины из стали Ст4кп (4пс, 4сп) предел выносливости равен 195–225 МПа);

$m$  — показатель угла наклона кривой усталости в логарифмических координатах для малоуглеродистых сталей и деталей без последующей механической обработки поверхности (величина  $m$  принимается равной 5–6);

$n_i$  — количество циклов на  $i$ -м режиме нагружения подкладки контррельса;

$\sigma_{a_i \text{ЭД}}$  — амплитудное значение приведенных к симметричному циклу эквивалентных напряжений для опорной пластины;

$r$  — максимальный номер уровня напряжений, когда фиксировалось начало повреждения подкладки ( $\sigma_{a_i \text{ЭД}} \geq 0,5\sigma_{-1}$ ), при расчете принято  $r = 250$ ;

$a_p$  — предельное значение суммы относительных повреждений, зависящее от формы цикла нагружения.

В свою очередь,

$$a_p = \frac{\sigma_{a_{\max \text{ЭД}}} \xi - 0,5\sigma_{-1}}{\sigma_{a_{\max \text{ЭД}}} - 0,5\sigma_{-1}}, \quad (2)$$

при этом коэффициент  $\xi = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{a_i \text{ЭД}}}{\sigma_{a_{\max \text{ЭД}}}} t_i,$  (3)

где  $t_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^s v_i}$  — относительная наработка на  $i$ -ом

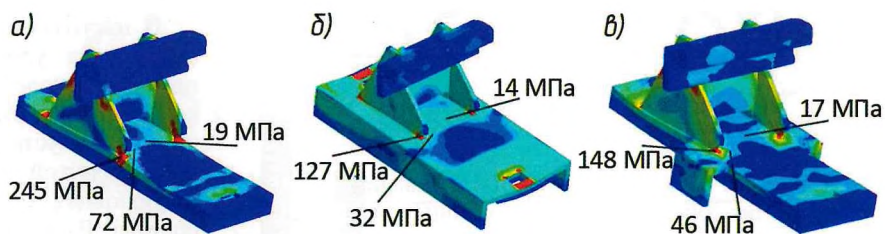


Рис. 8. Дискретные модели различных конструкций (а, б, в) и значения эквивалентных напряжений в характерных зонах подкладок

уровне амплитуд напряжений;

$v_i$  — длительность  $i$ -го блока нагрузок;

$s$  — общее количество уровней напряжений в блоке нагружения (при расчете принято  $s = 250$  в соответствии с количеством колесных пар среднестатистического поезда).

Число блоков нагружения к моменту образования усталостной трещины

$$\lambda_{\text{расч}} = \frac{a_p N_G \sigma_{-1}^m}{\sum_{i=1}^r v_i \sigma_{a_i \text{ЭД}}^m}. \quad (4)$$

Определение среднего ресурса опорной пластины, млн т брутто, выполнялось по следующей формуле:

$$L^{\text{cp}} = \lambda_{\text{расч}} G, \quad (5)$$

где  $G$  — средняя масса железнодорожного состава



Рис. 9. Зависимость эквивалентных напряжений (сплошная линия) и массы подкладки  $M$  (штриховая) от протяженности свисающих ребер жесткости

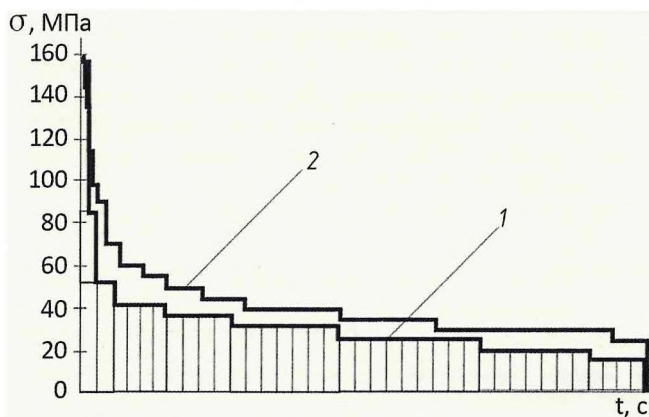


Рис. 10. Блоки нагружения подкладки контррельса при проследовании подвижного состава по стрелочному переводу с различными скоростями движения: 1 —  $V = 15$  км/ч; 2 —  $V = 50$  км/ч

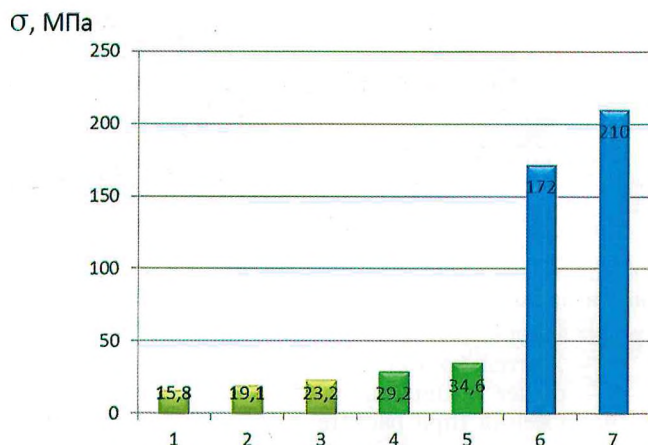


Рис. 11. Оценочная диаграмма напряжений, вызывающих разрушение опорных пластин контррельсовых подкладок:

1, 2, 3 — типовых по результатам наблюдений на различных стрелочных переводах Южно-Уральской дороги; 4, 5 — типовых по результатам расчетов при скоростях соответственно 50 и 15 км/ч; 6, 7 — новой конструкции по результатам расчетов при скоростях соответственно 50 и 15 км/ч

с локомотивом (в расчетах принималась равной 6000 т).

В итоге получены блоки нагружения подкладки при следовании подвижного состава через стрелочный перевод с различными скоростями движения (рис. 10).

В соответствии с изложенной методикой были выполнены расчетные исследования среднего ресурса подкладок серийной и новой конструкций при двух вариантах нагружения, возникающих при движении состава со скоростями 15 и 50 км/ч.

Результаты расчетов и данные наблюдений за разрушением подкладок контррельса представлены на рис. 11.

### Вывод

Результаты, полученные на основе комплекса расчетно-экспериментальных исследований, позволяют рекомендовать новую конструкцию контррельсовой подкладки к внедрению в производство и массовую эксплуатацию.

Эффективность использования опытной конструкции подкладки подтверждается результатами предварительных испытаний, проведенных на трех стрелочных переводах парков Б и Г станции Челябинск-Главный Южно-Уральской дороги. За период испытаний (в течение года) не отмечено случаев разрушения подкладок новой конструкции, тогда как ранее изломы серийных подкладок были очень частыми.

В настоящее время на трех указанных переводах более года успешно эксплуатируются около 20-ти подкладок новой конструкции, которые работают под контррельсом вместе с серийными. Поскольку новые подкладки установлены в самых опасных местах — под отогнутой частью контррельса, на них приходится основная ударная нагрузка от колес подвижного состава. В результате облегчился режим работы типовых подкладок, которые тоже перестали выходить из строя. Остается заключить, что для оздоровления контррельсового узла достаточно установить лишь несколько подкладок новой конструкции в наиболее уязвимых местах — на входах в «горло» контррельса.

### Список источников

1. Рынок стрелочных переводов. Маркетинговое исследование — Итоги 2022. Прогноз на 2023–2030 гг. М.: ООО «Индексбюкс Маркетинг», 2022. 140 с.
2. Расчет и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие / под ред. В.В. Виноградова, А.М. Никонова. Маршрут, 2003. 486 с.
3. Волошко Ю.Д., Орловский А.Н. Как работают стрелочные переводы под поездами. М.: Транспорт, 1987. 120 с.
4. Амелин С.В. Соединение и пересечение рельсовых путей. М.: Транспорт, 1968. 264 с.
5. Надежность железнодорожного пути / под ред. В.С. Лысюка. М.: Транспорт, 2001. 286 с.
6. Podoynikov V.G., Rikhter E.E., Protsenko G.G. Research and Design of Construction of a Bearing Plate of a Counter Rail Attachment Fitting. *Procedia Engineering*. Volume 150C, 2016, Pages 138–143.
7. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации: утв. МПС РФ 16.10.2000. М.: Транспорт, 2000. 128 с.
8. Подойников В.Г., Рихтер Е.Е., Проценко Г.Г. Разработка дискретной модели и расчетные исследования прочности конструкции подкладок контррельса // РСП-Эксперт. 2013. № 12. С. 20–23.
9. Рихтер Е.Е. Совершенствование конструкции подкладки контррельса стрелочного перевода // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (50). С. 14–20.
10. SolidWorks: компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский и др. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 800 с.
11. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. М.: Бином, 2004. 448 с.
12. Патент № 152367 РФ, E01B 5/18. Устройство подкладки узла крепления контррельса железнодорожного транспорта / Подойников В.Г., Рихтер Е.Е., Проценко Г.Г., Лысов Е.Н.; патентообладатель Подойников В.Г. № 2014126667/11; заявл. 01.07.2014; опубл. 27.05.2015; Бюл. № 15.
13. Патент № 192726 РФ, E01B 5/18. Контррельсовая подкладка / автор и патентообладатель Рихтер Е.Е. № 2019118011; заявл. 10.06.2019; опубл. 27.09.2019; Бюл. № 27.
14. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.

### ON THE ISSUE OF INCREASING THE RESOURCE OF COUNTER-RAIL LININGS

**Rikhter Evgeniy** — Ph.D., Associate Professor of the Department of Technical Mechanics, South Ural State, University. Chelyabinsk, Russia. rikhteree@susu.ru: SPIN code: 4366-5553.

**Abstract.** The object of research is the lining of the counter-rail of the switches. The character of lining fracture is analyzed, cycles of laboratory and field experiments are carried out to study the stress-strain state in the dangerous zone of lining. The discrete model of lining is developed and a cycle of calculation researches is carried out. The variants of the counter-rail lining design, which allow to reduce the level of stresses in the danger zone, are offered. Comparative estimation of average life of serial and new counter rail lining design is performed.

**Keywords:** counter-rail lining, laboratory and full-scale experiment, discrete model of the lining, estimation of the average resource, design.

# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

ГЛОТОВ Д.С., Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), аспирант, НИКИФОРОВ О.М., РУТ (МИИТ), аспирант, ГОНЧАРУК А.Г., РУТ (МИИТ), аспирант, ЕСЕВА Е.А., Проектно-изыскательский институт «Мосжелдорпроект» — филиал АО «Росжелдорпроект», начальник группы отдела искусственных сооружений

Постоянное развитие железнодорожной инфраструктуры неотъемлемо подразумевает совершенствование материалов и технологий. Это позволяет строить более прочные и безопасные мосты, что способствует повышению качества и эффективности перевозок, а также сокращению сроков строительства и снижению затрат на их эксплуатацию и обслуживание.

В настоящее время среди новых можно выделить композитные материалы и бетоны ультравысоких технологий (УНРС).

Применение **композитных материалов** — одно из последних достижений в области мостостроительства. Композиты обладают высокой прочностью, жесткостью и низкой массой, что делает их идеальным материалом для возведения мостов. Они также устойчивы к коррозии и химическому воздействию, а это значительно продлевает срок службы искусственного сооружения.

Опыт эксплуатации конструкций из этих материалов показывает, что они являются достойным конкурентом традиционных строительных материалов, таких как дерево, железобетон и сталь.

За **использование бетона ультравысоких технологий (УНРС)** говорят высокие показатели его прочности на сжатие и уровня морозостойкости. Этот бетон имеет улучшенные показатели по сравнению с традиционным и может выдерживать большие нагрузки. При таких характеристиках повышается долговечность конструкции в целом, что делает данный материал отличным выбором для строительства железнодорожных мостов, особенно в условиях с повышенной интенсивностью движения [2]. Также благодаря плотной микроструктуре и стойкости химического характера возможно применение такого бетона при производстве газонепроницаемых стеновых панелей для вакуумной изоляции.

Среди **новых технологий**, которые доказали свою эффективность на практике, можно выделить следующие.

**Безбалластные конструкции верхнего строения пути с низким уровнем вибрации LVT (LowVibrationTrack).** Эта технология уже зарекомендовала себя при реализации многих железнодорожных проектов. В России данные конструкции впервые были использованы в июне 2013 г. в тоннелях №№ 6 и 7 участка Туапсе — Адлер во время реконструкции линии в ходе подготовки к Олимпийским играм в Сочи в 2014 г. [6].

**3D-печать** — одно из самых инновационных технологических решений, которое нашло свое применение в строительстве железнодорожных мостов. Технологии такой печати относят к аддитивному производству. В

данном случае имеется в виду процесс создания ряда объектов, при котором происходит последовательное нанесение слоев материала. Модели, которые в итоге получаются, могут быть применены на каждом из производственных этапов, в частности для изготовления прототипа изделия либо уже готовой продукции. Эта технология позволяет быстро и точно создавать элементы мостов, что значительно сокращает время строительства и улучшает качество конструкции. Более того, 3D-печать позволяет создавать сложные геометрические формы, которые ранее выполнить было практически невозможно.

**Нанотехнологии** — высокотехнологичная отрасль, работающая с отдельными атомами и молекулами. Сверхточность этих технологий разрешает на качественно новом уровне использовать законы природы на благо человека. Наноматериалы способны увеличить адгезию между строительными материалами, что делает конструкцию моста более устойчивой к вибрации. Их применение повышает прочность и долговечность конструкции, а также снижает стоимость эксплуатации. Кроме того, с помощью нанотехнологий можно создать специальные покрытия, которые будут защищать мосты от агрессивного воздействия химических веществ, коррозионных процессов, негативного влияния окружающей среды.

Отметим также, что благодаря нанотехнологиям возможно увеличение прочности уже эксплуатирующихся в пути шпал. Для этого в бетон вводят водный раствор флюатов, молекулы которых при проникновении превращаются в наночастицы новых веществ, происходит прочная закупорка бетона [5].

На сегодняшний день можно выделить несколько основных стратегических направлений инновационного развития.

**Технологии информационного моделирования (ТИМ)**, которые в недалеком будущем будут использоваться при проектировании всех мостовых конструкций. Заметим, что при работе с цифровыми технологиями особое внимание уделяется отечественным производителям специализированного программного обеспечения. Внедрение ТИМ является крайне необходимым элементом для постоянного совершенствования всех строительных процессов. Применение ТИМ позволит снизить количество технических ошибок на этапах проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ за счет использования средств управления и процессов, встроенных в систему; устранить дублирование информации; сократить более чем в два раза время на внедрение вспомогательных процессов.

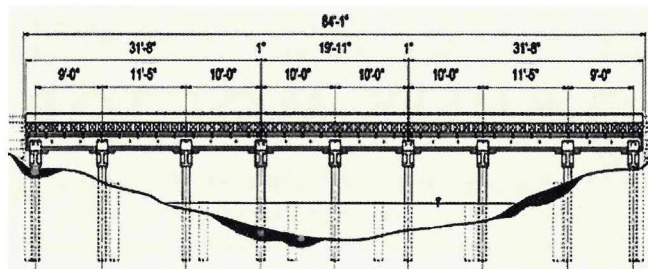


Рис. 1. Схема моста из углепластика

**Геоинформационные технологии.** В настоящее время разработаны дорожные карты по внедрению таких технологий, включая высокоточные методы координатно-временной поддержки в производственных процессах строительства, эксплуатации, ремонта и диагностики инфраструктуры и др. [3].

**Постепенная замена традиционных материалов полимерами.** Одним из таких перспективных материалов является **термопласт вторичного производства на основе полиэтилена высокой плотности**. Изделия из термопластов обладают многими преимуществами с точки зрения экологии. Этот пластик не подвержен коррозии и гниению, разрушению насекомыми или морскими организмами. Конструкции из него более долговечны. Применение термопластов, несомненно, будет расширяться, поскольку постоянно проводятся дополнительные исследования и появляются разработки по улучшению свойств вторичных материалов и технологий их производства [4].

Впервые термопластичный композит был использован в 2010 г. при производстве шпал. Позднее он стал применяться и при строительстве мостов. Первые мосты из термопластика появились в США. Схема моста в поперечном сечении показана на рисунках 1, 2.

Все мостовые элементы при этом произведены из вторичного термопластичного материала. Балки изготовлены с усиленными накладками в верхней части, состоящих из термопластических досок размерами 75×300 мм и 75×250 мм, которые были приклеены и привинчены к балкам. Шпалы из термопласта пере-

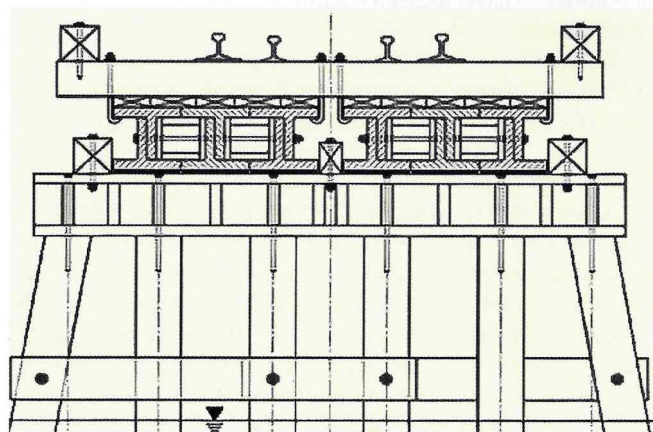


Рис. 2. Поперечное сечение моста из углепластика

дают нагрузку с рельсов на балки и соединяются с ними с помощью J-образных болтов. Внутри трехбалочного кластерного блока находится ряд небольших двутавровых балок длиной 300 мм, скрепленных поперечными болтами для обеспечения взаимодействия между тремя балками. Оголовки свай поддерживаются сваями из термопластика диаметром 300 мм, которые соединены шпильками из нержавеющей стали диаметром 25 мм.

Сваи забиты в грунт на глубину в среднем 20,5 м. На каждой свае установлены опорные части из эластомера толщиной 25,4 мм для равномерного распределения временной нагрузки от балок на оголовки. Опорные части имеют размеры 180×430 мм и 230×430 мм, максимальное отклонение их размеров допускается в пределах 1 мм, изготовлены из материала, твердость которого 50 условных единиц по Шору.

Использование изделий из термопласта в конструкции вышеупомянутого моста подтвердило ряд неоспоримых плюсов этого материала: неподверженность коррозии, экологичность, надежность и многие другие.

Внедрение инновационных материалов, таких как композитные материалы, бетон ультравысоких технологий, вторичные полимерные материалы, а также применение новых технологий, включая 3D-печать и нанотехнологии, позволит создавать более прочные и долговечные конструкции. Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к еще большим достижениям в строительстве железнодорожных мостов, способствуя развитию железнодорожной инфраструктуры и повышая эффективность транспортной системы в целом.

#### Список источников

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р // Министерство транспорта РФ: официальный сайт. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010>.
2. Рыбаков С.В. Инновационные материалы в мостостроении // Аспирантские чтения: сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ). Выпуск 4. Москва: Издательство «Перо», 2021. С. 228–233.
3. Нагимов Н.Ф. Инновации в области мостостроения: прогрессивные материалы и конструктивные решения // Экономика строительства. 2023. № 7. С. 64–68.
4. Овчинников И.Г., Аншваев А.К. Применение полимерных материалов вторичного производства в мостостроении. Первые в мире железнодорожные мосты из термопластика вторичного производства // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 101–105.
5. Цыпин П.Е., Разуваев А.Д. Безбалластная конструкция пути: история, современность, перспективы развития в России // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 1 (74). С. 66–70.
6. Инновационные технологии для железных дорог // Евразия Вести. 2014. № 7. URL: <http://eav.ru/publi.php?publid=2014-07a07>.
7. Воздействие вибраций на искусственные сооружения / Е.А. Пестрякова, Е.А. Есева, А.Г. Гончарук, О.И. Кос, И.Ф. Беленюк // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 2. С. 35–37.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ



**КОСТИН Д.В., АО «ЕВРАЗ», начальник службы технического обслуживания и ремонта рельсового производства**

Предиктивная аналитика позволяет выполнять проактивное обслуживание оборудования. На основе такого анализа данных строится система по прогнозированию состояния используемой техники, что обеспечивает сокращение времени на ее общее обслуживание и повышает качество производства рельсовой продукции.

Базовая автоматизированная система управления технологическим процессом позволяла видеть только факт отказов механизмов, что явно недостаточно для системного подхода к содержанию и ремонтам.

С активным развитием цифровизации во многих сферах у технического персонала появилась возможность отслеживать по соответствующим сигналам работу обслуживаемых устройств в режиме он-лайн с последующим анализом отклонений и прогнозированием неисправностей.

В целях снижения внеплановых простоев и развития проактивных подходов к ремонтам оборудования в 2019 г. началась разработка и внедрение проекта «Системы мониторинга и диагностики» (СМД). За четыре года его реализации автоматизированные системы управления полностью охвачены программно-диагностическим комплексом IbaPDA, пересмотрены и обновлены критерии работоспособности оборудования, внедрена визуализация диагностики.

В прошедшем году была удачно внедрена передача сообщений в систему SAP ERP, которая позволяет накопительным итогом отслеживать всю историю использования оборудования и управлять подходами к проведению его ремонтов.

Система СМД дает пользователю возможность доступа к экрану сменного мастера с отображением событий и постоянным их обновлением, сработавшие критерии выводятся на экран.

При выборе критерия подгружается график сигнала с отображением зоны срабатывания, привязкой к дате и времени. Сработавший критерий показывает, что механизм еще выполняет заданную функцию, но уже имеются отклонения в его функционировании, которые могут привести к поломке.

Для оперативного анализа работы оборудования в корпоративной сети доступен ежесуточный отчет, который формируется и выгружается автоматически. То, что требует особого внимания, выполняется в цветовой индикации.

Анализ состояния механизма выполняется на основе исторических данных с использованием программы IbaAnalyzer и состоит из трех основных шагов:

I — вывод графика с сигналом, который вызвал срабатывание критерия;

II — дополнение сигналами работы механизма;

III — оценка влияния технологического процесса.

По результатам анализа определяется приоритет и срочность применения ремонтных воздействий.

В настоящее время настроена передача данных из системы СМД в SAP TOPO. Это позволяет накопительным итогом хранить историю работы оборудования и ремонтных вмешательств.

Сработавшие критерии автоматически передаются в систему SAP в виде «Сообщения СМД» с приоритетом обработки в течение суток. В сообщениях отражается следующая информация: описание критерия, статистика данных (дата и время первого и последнего проявления, количество срабатываний за сутки).

Поступившие сообщения обрабатываются в системе, после чего формируются рекомендации и выдаются задания на ремонт.

Результаты выполненных работ изучаются, и при необходимости происходит корректировка существующих или создание новых критериев.

Использование предиктивной аналитики на базе Системы мониторинга и диагностики в 2023 г. дало возможность сократить внеплановые простои из-за своевременного технического обслуживания. Достигнутые результаты позволяют рассматривать такой подход к делу как одно из приоритетных направлений в части стабилизации работы оборудования. Поэтому дальнейшие шаги, безусловно, должны быть направлены на развитие как самой системы СМД, так и интеграцию предиктивной аналитики в технологический процесс производства продукции.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОПУЧИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



ИСАКОВ А.Л., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), докт. техн. наук,  
БУХОВ С.И., СГУПС, аспирант

**Аннотация.** В данной статье предлагается подход к расчету параметров противопучинных конструкций, а именно теплоизолирующих покрытий, укладываемых на основную площадку земляного полотна. В основе расчета лежит учет режима промерзания грунтов при обосновании противопучинных конструкций. Проведен сравнительный анализ результатов определения параметров противопучинных конструкций, полученных с использованием предлагаемого метода, и типовых расчетов, выполненных по существующим нормативным методикам. Сравнение показало, что существующие методики проектирования, как правило, значительно завышают толщину теплоизолирующих покрытий.

**Ключевые слова:** морозное пучение, коэффициент пучения, системы промерзания, земляное полотно, показатель пучения, температурный критерий.

Ежегодно при новом строительстве и капитальном ремонте существующих путей затрачиваются значительные ресурсы на предупреждение и ликвидацию деформаций земляного полотна, вызванных морозным пучением. Вода, а точнее количественное содержание влаги в порах грунта, — один из основных факторов, вызывающих морозное пучение. В его основе лежит свойство воды расширяться при промерзании грунта, в частности земляного полотна железных дорог. Кроме того, промерзание грунта запускает процесс «перераспределения» капиллярной и пленочной воды, который, в свою очередь, еще больше усложняет задачу прогнозирования деформаций земляного полотна. Одним из ключевых аспектов мигра-

ции влаги к фронту промерзания при оценке величины морозного пучения является глубина залегания грунтовых вод относительно слоя промерзания земляного полотна.

По уровню залегания грунтовых вод выделяют две системы промерзания грунтов земляного полотна и его основания: открытую и закрытую.

**Открытая** система промерзания обычно встречается в выемках, нулевых местах и низких насыпях при близком расположении грунтовых вод к основной площадке земляного полотна. В этом случае процесс криогенной миграции влаги, возникающий вследствие нарушения равновесного состояния фаз грунта в условиях его высокого влагонасыщения [1], приводит к интенсивному

притоку воды в зону фазовых переходов, что способствует появлению ледяных включений в виде линз и других образований. Как следствие, объем замерзшей воды может в разы превышать исходный объем пор, а морозное пучение развивается не прогнозируемо.

Там, где глубина залегания грунтовых вод под земляным полотном превышает высоту капиллярного поднятия воды (как правило, в насыпях высотой более 2 м), промерзание относят к закрытой системе.

При **закрытой** системе процесс перераспределения влаги происходит аналогично открытой системе, однако, внешний приток влаги в зону промерзания отсутствует, т. е. миграция воды в нее снизу стремится к нулю. В процессе пучинообразова-



Рис. 1. Алгоритм метода определения параметров противопучинных конструкций

ния участвует только та вода, которая изначально содержалась в зоне промерзания грунтов земляного полотна.

Учитывая вышесказанное, предлагается дифференцированный подход к расчету параметров противупучинных конструкций, алгоритм которого показан на рис. 1.

В его основе лежит метод расчета теплоизолирующих устройств в зависимости от режима промерзания грунтов земляного полотна и его основания.

На первом (предварительном) этапе по результатам геологических изысканий определяют глубину залегания грунтовых вод под основной площадкой земляного полотна. Если расстояние от нее до зеркала грунтовых вод меньше высоты капиллярного поднятия, то используют подход для закрытой системы промерзания. Определяющее значение для высоты капиллярного поднятия имеет диаметр условного капилляра, который, в свою очередь, зависит от дисперсности грунта. Чем меньше диаметр, тем выше уровень воды. Ориентировочно высоту капиллярного поднятия в соответствии с [2] принимают следующим образом: для песков крупной зернистости — менее 0,1 м, средней — 0,1–0,4 м, мелкой — 0,4–0,8 м, пылеватой — 0,8–1,2 м, для супесей — 1,2–3,5 м, суглинков — 3,5–6,5, глинистых почв — 6,5–10,0 м.

**Закрытая система промерзания.** Для расчетов при закрытой системе промерзания используется традиционный критерий (1) — неперевышение высоты морозного пучения допустимых нормативных значений:

$$h_{\text{пуч}} \leq [h_{\text{пуч}}], \quad (1)$$

где  $h_{\text{пуч}}$  — высота морозного пучения;  $[h_{\text{пуч}}]$  — допустимое нормативное значение высоты морозного пучения для железных дорог (табл. 1) [3].

Основным нормируемым параметром согласно условию (1) является высота морозного пучения, определяемая зависимостью

$$h_{\text{пуч}} = K_{\text{пуч}} H_f, \quad (2)$$

где  $K_{\text{пуч}}$  — коэффициент пучения;  $H_f$  — глубина промерзания грунта.

Для закрытой системы величину коэффициента пучения  $K_{\text{пуч}}$  предлагается определять по формуле, которая получена с учетом допущения, что влага в зоне промерзания грунта концентрируется в верхней области так, как это показано на рис. 2 [4]:

$$K_{\text{пуч}}^a = 0,09 \frac{\rho_d}{\rho_w} (W_{\text{sat}} - W_{\text{нз}}) S_{\text{cr}}, \quad (3)$$

где  $\rho_d$  — плотность сухого грунта;  $\rho_w$  — плотность воды;  $W_{\text{sat}}$  — влажность полного водонасыщения грунта;  $W_{\text{нз}} = k_w W_p$  — доля незамерзшей воды [5];  $k_w$  — коэффициент, зависящий от числа пластичности грунта и температуры мерзлого грунта;  $W_p$  — влажность грунта на границе пластичности;  $S_{\text{cr}}$  — показатель пучения [6].

Показатель пучения определяется следующим образом:

$$S_{\text{cr}} = \frac{W_0 - W_{\text{cr}}}{W_{\text{sat}} - W_{\text{cr}}}, \quad (4)$$

где  $W_0$  — природная влажность грунта в предзимний период;  $W_{\text{cr}}$  — критическая влажность грунта,

Таблица 1  
Допустимая высота равномерного морозного пучения на железных дорогах

Категория дороги	Скоростная, пассажирская	Особогрузонапряженная	I и II	III	IV
Высота пучения, мм	10	15	20	25	35

при которой в нем прекращается перераспределение влаги, вызывающее морозное пучение [6].

Критическую влажность грунта находят по формуле

$$W_{\text{cr}} = \frac{\sqrt{1 + 3\rho_s W_L (1 + \rho_s W_L) e^{-2,8I_p}} - 1}{2\rho_s}, \quad (5)$$

где  $\rho_s$  — плотность частиц грунта;  $W_L$  — влажность грунта на границе текучести;  $e$  — коэффициент пористости;  $I_p$  — число пластичности.

Показатель пучения  $S_{\text{cr}}$  характеризует степень пучения грунта относительно максимальных значений, реализуемых при полном водонасыщении, когда  $W_0 = W_{\text{sat}}$  и  $S_{\text{cr}} = 1$ . При  $W_0 \leq W_{\text{cr}}$  показатель пучения  $S_{\text{cr}}$  считается равным нулю, и, следовательно, пучение отсутствует (см. рис. 2).

Полученное значение коэффициента пучения  $K_{\text{пуч}}^3$  при подстановке в выражение (2) дает искомую оценку величины морозного пучения при закрытой системе промерзания. При невыполнении критерия (1) принимается решение о проектировании противупучинных мероприятий, выбор которых зависит от причин образования деформаций [7] или требований к категории вновь строящегося земляного полотна и технико-экономического обоснования.

**Открытая система промерзания.** Как было отмечено выше, при открытой системе промерзания вслед-

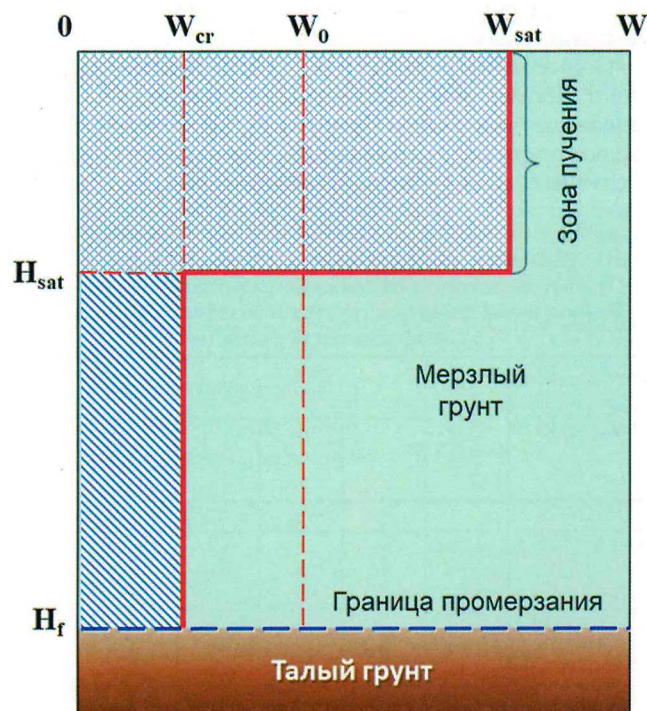


Рис. 2. Схема перераспределения влаги в зоне промерзания

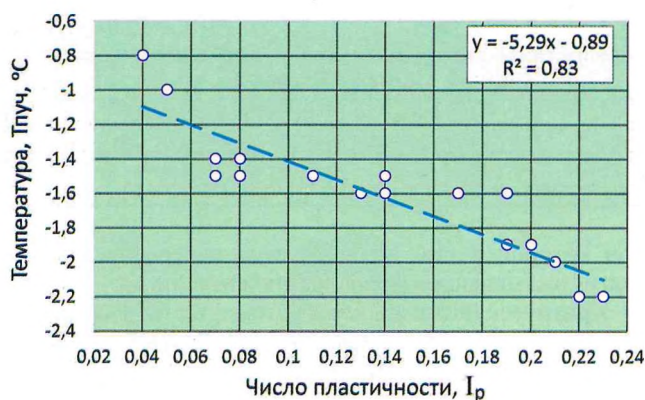


Рис. 3. Зависимость экспериментальных значений температуры начала интенсивного морозного пучения от числа пластичности глинистого грунта

ствие близко расположенных грунтовых вод происходит неконтролируемая миграция (подтягивание) влаги в зону промерзания. В этом случае (в силу неопределенности процесса) получить априорную оценку коэффициента пучения  $K_{пуч}$  для подстановки в (2) не реально и, как следствие, использование критерия (1) является не корректным.

Поэтому для гарантии предотвращения проблем рекомендуется полное выведение зоны интенсивного морозного пучения из глинистых грунтов земляного полотна и его основания в соответствии с температурным критерием

$$T > T_{пуч}, \quad (6)$$

где  $T$  — температура грунта земляного полотна;  $T_{пуч}$  — температура начала интенсивного морозного пучения. Под этим понятием подразумевается такая температура, при которой в грунте развиваются усилия, достаточные для деформации основной площадки с защитным слоем из дренирующего грунта.

Применение критерия (6) предполагает определение в лабораторных условиях температуры начала интенсивного морозного пучения  $T_{пуч}$  в зависимости от характеристики, отражающей способность грунта удерживать воду — числа пластичности  $I_p$ .

На рис. 3 приведены результаты экспериментов по определению параметра  $T_{пуч}$  для глинистых грунтов с числом пластичности, изменявшимся в интервале от 0,04 до 0,23, и коэффициентом пористости, варьирующимся в пределах от 0,6 до 1,0.

Результаты экспериментов показывают, что температура интенсивного морозного пучения  $T_{пуч}$  и число пластичности грунта  $I_p$  имеют устойчивую линейную корреляцию [8], зависимость которой априори можно использовать в соответствующих расчетах. Для более точных расчетов рекомендуется в каждом конкретном случае уточнение параметра  $T_{пуч}$  лабораторным путем.

Для иллюстрации эффективности дифференцированного подхода к определению параметров противопучинных конструкций произвели сопоставительные расчеты толщины пенополистирола (с учетом смятия) при защитном слое 0,6 м, полном водонасыщении грунтов и различных значениях коэффициента пористости (табл. 2) с использованием вышеприведенного алгоритма и существующих утвержденных методик [9, 10]. Расчеты с разделением систем промерзания проводили для климатических условий юга Западной Сибири с помощью программы Freeze-1 [11], в которой полностью реализован предложенный алгоритм. По методике [9], в которой единственным параметром является сумма среднесуточных отрицательных температур, для всех значений числа пластичности, влажности и коэффициента пористости толщина пенополистирола определяется как 8 см.

Из данной таблицы следует, что при расчете с закрытой системой промерзания укладка плит пенополистирола зачастую применяется необоснованно, а при открытой системе — перерасход материала превышает необходимый объем в 2–2,5 раза.

Представленный метод расчета параметров противопучинных конструкций земляного полотна основывается на дифференцированном подходе с учетом особенностей протекания процесса морозного пучения при различных схемах промерзания грунта. Критерии оценки характеристик морозного пучения (1) и (6) обоснованы результатами экспериментальных исследований, подтверждающими их достоверность и применимость при проектировании противопучинных конструкций.

Предложенный метод показал более высокую точность расчетов параметров теплоизолирующих покрытий по сравнению с принятыми методиками, снижая расход материалов и объем трудозатрат на противопучинные мероприятия при строительстве и эксплуатации земляного полотна.

#### Список источников

1. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: общая и прикладная: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1973. 446 с.
2. Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э. Классификация видов воды в приповерхностной зоне земной коры и влажностные свойства строительных грунтов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2012. Т. 17, № 1. С. 20–28.
3. СП 238.1326000.2015. Железнодорожный путь. Введ. 06.07.2015. М., 2015. 71 с.
4. Исаков А.Л., Бухов С.И. К оценке коэффициента морозного пучения глинистых грунтов земляного полотна при закрытой

Таблица 2

Расчетные значения толщины пенополистирола (с учетом смятия) при толщине защитного слоя 0,6 м, полном водонасыщении грунтов и различных значениях коэффициента пористости

Методика	Коэффициент пористости	Толщина пенополистирола, см				
		$I_p = 0,06$	$I_p = 0,10$	$I_p = 0,13$	$I_p = 0,16$	$I_p = 0,20$
ЦПИ-24	—	8				
Инструкция [9]	0,60	9	8	7	—	—
	0,70	—	9	8	8	7
	0,85	—	—	—	9	9
Закрытая система (Freeze-1)	0,60	3	3	3	3	3
	0,70	3	3	3	3	3
	0,85	4	3	3	3	3
Открытая система (Freeze-1)	0,60	4	5	4	3	3
	0,70	4	4	5	5	4
	0,85	4	4	4	4	4

# БАЛЛАСТ ИЛИ ПЛИТА?

Выбор конструкции железнодорожного пути — на балласте или на плите — обусловлен различными техническими и экономическими показателями. Это, прежде всего, первоначальные затраты на их устройство и последующие эксплуатационные расходы (текущее содержание, ремонты). При этом необходимо учитывать эксплуатационно-технические показатели железнодорожной линии в целом: интенсивность и скорость движения, осевые нагрузки и т. п. Во Франции и Испании, например, преобладают конструкции пути на балласте, а в Германии и Китае — преимущественно безбалластные (плитные). Плитная конструкция нашла широкое применение на линиях, построенных за последние два десятилетия. При этом высокоскоростная сеть Японии в настоящее время примерно на 70 % имеет плитную конструкцию, несмотря на то, что в 1964 г. на первой высокоскоростной линии Токио — Осака был уложен обычный путь на балласте. Опыт применения плит при укладке пути в этой стране показал более низкие эксплуатационные расходы, которые позволили уже за девять лет окупить повышенные первоначальные вложения.

Для сравнения работы пути на балласте и на плите под воздействием проходящих поездов в Китае использовали численную модель на основе метода конечных элементов. Эта модель позволяет имитировать изменение геометрии пути под эксплуатационными нагрузками при двух уровнях скоростей — 200 и 300 км/ч. Также были проведены полномасштабные лабораторные испытания при нагрузках 20 и 32 тс/ось (полновесный пассажирский поезд и тяжеловесный грузовой поезд соответственно). Численное моделирование пути проводилось для насыпи из песчано-гравийного грунта, вновь отсыпанной на основание из суглинка и уплотненной современными методами.

Балласт свежий, незагрязненный, утрамбован динамическими стабилизаторами пути. Подушка песчано-гравийная. Рельсы UIC60. Подкладки упругие. Шпалы G44. Плитная конструкция железобетонная, шириной 2,6 м, высотой 0,25 м.

Проанализировав результаты моделирования на основе метода конечных элементов по специальной двухэтапной схеме, пришли к следующим выводам:

путь на балласте демонстрирует более неравномерные осадки;

преобладающая часть осадок возникает именно в балластном слое вследствие перемещения его частиц, а не в земляном полотне;

повышенная изгибная жесткость плитной конструкции приводит к более равномерному распределению нагрузки на земляное полотно, в связи с чем оно меньше деформируется под проходящими поездами;

при одинаковых скоростях движения упругие прогибы пути на балласте незначительно выше. Это справедливо как при скоростях движения до 200 км/ч, так и при скоростях до 300 км/ч. При более высоких скоростях и при росте эксплуатационной нагрузки ухудшение геометрии пути становится еще более ярко выраженным.

Исследования и опыт применения свидетельствуют, что укладка пути на плитах обычно экономически эффективнее, если первоначальная стоимость конструкции не более чем на 30 % превышает стоимость пути на балласте. При этом плитная конструкция пути требует, как правило, сооружения более высокотехнологичного, высококачественного земляного полотна, а балластная конструкция пути дороже в обслуживании из-за необходимости регулярного проведения путевых работ для поддержания его геометрии в пределах допусков.

КОСМИН В.В.

Источник: <https://www.researchgate.net>

системе промерзания // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1 (56). С. 92–98.

5. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. Введ. 01.01.2013. Изм. 25.11.2019. М.: Минрегион, 2012. 109 с.

6. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Н.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. Л.: Стройиздат, 1977. 185 с.

7. ГОСТ 28622-2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. Введ. 01.11.2013. Изм. 01.06.2022. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

8. Исаков А.Л., Бухов С.И. Определение параметров противопучинных конструкций земляного полотна с уче-

том системы промерзания // Инновационные транспортные системы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 5–17.

9. Методика назначения противопучинных мероприятий и выбора их параметров на железных и автомобильных дорогах на базе программного комплекса «Freeze-1»: сайт. 2013. URL: <http://freeze-1.stu.ru/index.htm> (дата обращения 29.01.2024).

10. Технические указания по устранению пучин и просядок железнодорожного пути: ЦПИ-24 / МПС РФ. М.: Транспорт, 1998. 72 с.

11. Инструкции по устройству подбалластных защитных слоев при реконструкции (модернизации) железнодорожного пути: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.12.2012 № 2544р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».

## DETERMINATION OF PARAMETERS OF ANTI-HEAVE STRUCTURES OF THE SUBGRADE

**Isakov Alexander** — D. Sci, Professor, Head of Department «Survey, design and construction of railways and roads», Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia. [mylab.alex@yandex.ru](mailto:mylab.alex@yandex.ru)

**Bukhov Stepan** — graduate student of the Department «Survey, design and construction of railways and roads», Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia. [bsyuhov@mail.ru](mailto:bsyuhov@mail.ru)

**Abstract.** The article presents an approach to the calculation of anti-heaving structures, namely heat-insulating coatings laid on the main platform of the subgrade, which are based on taking into account the freezing regime of the subgrade soils when justifying anti-heaving structures. A comparative analysis of the results of determining the parameters of anti-heaving structures obtained by the proposed method and design solutions made using existing regulatory methods was carried out. A comparison showed that existing design methods as usual overestimate the values of anti-heaving structure parameters.

**Keywords:** frost heaving, frost heave ratio, freezing systems, subgrade, frost heave index, temperature criterion.

УДК 625.12

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ



**ЗБРЫСЬКИЙ М.Т.**, Институт Гипростроймост, Московский государственный строительный университет, инженер,  
**САМКО А.В.**, Институт Гипростроймост, руководитель группы геотехников,  
**ЗАЙЦЕВ А.А.**, Российский университет транспорта (МИИТ), доцент

**Аннотация.** Исследован метод оценки влияния нового строительства на эксплуатационные характеристики рельсовой колеи. Приведена методика оценки влияния строительства на путь, включая анализ неровностей колеи и учет исходного состояния рельсовых нитей. Представлены результаты расчетов по данной методике. Предложены методы аппроксимации формы неровностей. Выводы указывают на значимость учета текущего состояния пути и необходимость комплексной оценки деформирования рельсовых нитей, а не абсолютной величины осадки колеи.

**Ключевые слова:** оценка влияния, новое строительство, геотехнический расчет, эксплуатационные характеристики, неровности рельсовой колеи, транспортное строительство, исходное состояние, методика.

Строительство мостов в непосредственной близости к другим сооружениям городской и транспортной инфраструктуры меняет напряженно-деформированное состояние основания, влияя тем самым на существующие сооружения. Стандартная задача при проектировании — определение степени этого влияния — сводится, как правило, к расчету осадок в статической постановке и сравнению их с допустимыми величинами, установленными СП 22.13330.

Транспортное строительство имеет свою специфику, включая оценку влияния строительства на другие транспортные сооружения и инфраструктуру коммунальных сетей. Среди решаемых задач — учет влияния строительства на путь, а также создание норм с проверенной методикой.

Большая часть проектных организаций и организаций научного сопровождения проектов при оценке влияния строительства на путь выполняет геотехнические расчеты, обычно в плоской постановке, в целях определения абсолютной осадки рельсовых нитей в точке и сравнения ее с некоторой величиной (по аналогии с практикой промышленного и гражданского строительства). Как правило, безопасными считаются общие осадки до 20 мм. При значениях 20–25 мм рекомендуется применять страховочные пакеты; при более 25 мм необходимо останавливать работы и выполнять выправку пути. Но некоторые специалисты назначают страховочные пакеты при общих осадках 8 мм и более. Таким образом, единых подходов нет. Данный критерий оценки, видимо, сводится к приравливанию полученной осадки к просадке из табл. 6.3 [3], что ошибочно.

Мы полагаем, что в данном случае недостаточно определить общую осадку пути для геотехнического прогноза. Осадки в зоне пути влияют на общую геометрию рельсового полотна, а принятые нормы оценки ровности пути позволяют оценить влияние всевозможных отклонений на безопасность движения.

**Нормативные документы.** Традиционно неровности колеи оценивают путеизмерителями. В 2020 г. была введена в действие новая Инструкция № 436 [2] взамен [3]. Эти документы устанавливают развернутые критерии ровности пути и приводят алгоритмы количественной оценки возможных отступлений с классификацией их степени (от I до IV), в зависимости от которой регламентированы корректирующие действия, в том числе ограничение при необходимости скоростей движения и выправка пути (II и III степеней). При IV степени отступлений необходимо полностью останавливать движение.

В [3] определены конкретные виды плоских и пространственных неровностей пути, влияющих на безопасность движения: уширение (сужение) колеи, отвод, уровень, перекося, просадка, положение пути в плане (рихтовка), уклон отвода.

Дополнительные деформации земляного полотна вследствие нового строительства вызывают некоторые виды неровностей пути из перечисленных выше. Прямой способ их определить — выполнить геотехнический расчет в пространственной постановке (рис. 1) с получением деформаций по всей длине рельсовых нитей (рис. 2); затем воспользоваться установленным в [2] алгоритмом для путеизмерителей и определить степень отступления. Такой подход покажет степень влияния нового строительства.

Анализируя характер искривления от достаточно плавно меняющихся осадок, возникших в результате влияния нового строительства, можно прийти к выводу, что из всех представленных в [3] неровностей имеет смысл рассматривать и оценивать только три вида: уровень, просадку и положение пути в плане (в отдельных случаях деформации могут проявляться поднятиями колеи), так как остальные не характерны при новом строительстве.

**Уровень** — взаимное расположение по высоте головок рельсов или относительная разность осадок; при этом в кривых отклонения оцениваются относительно фактического возвышения от проектного.

**Просадка** — вид неровностей в продольном профиле, возникающих из-за дополнительных осадок, определяемых для каждой нити. На длине до 6 м включительно просадка определяется суммой амплитуд двух полуволн. При длине просадки от 6 до 10 м ее оценивают по максимальному перепаду на расстоянии 6 м от одной из вершин.

**Положение пути в плане (рихтовка)** — вид неровностей в плане, возникающих в результате дополнительных горизонтальных перемещений. Рихтовка характеризуется разностью смежных стрел изгиба рельсовых нитей от хорды длиной 20 м; определяется как удвоенное расстояние между экстремумами.

Абсолютная величина осадки в точке в зоне пути не нормируется, так как она неинформативна.

Для определения влияния строительства на путь, включая анализ неровностей колеи, предлагаем следующее:

1) перейти к определению конкретных видов неровностей и их оценке с использованием действующего документа [3]. Как было отмечено ранее, решение пространственной задачи действительно является самым корректным способом (получив напрямую с достаточной степенью вероятности деформированный вид рельсовой нити, можно сделать заключение о негативном влиянии нового строительства), но энергозатратным;

2) перейти от пространственной модели расчета к общедоступному методу решения, а именно к плоской модели.

**Использование расчета в плоской модели и концепция перехода к пространственным неровностям.** Выполненные нами пространственные расчеты показывают, что осадки и горизонтальные перемещения вследствие влияния нового строительства близки по форме к синусоидальной кривой. Это допущение упрощает математическое описание. Для аппроксимации формы неровности пути тригонометрической или другой подходящей функцией необходимо определить абсолютные значения горизонтальных  $S_{гор}$  и вертикальных  $S_{верт}$  перемещений рельсов, длину кривой неровности или длину зоны влияния  $L_{з.в}$  и форму искривления пути.

**Горизонтальные и вертикальные перемещения рельсов** определяют по стандартной плоской модели с использованием специализированных геотехнических

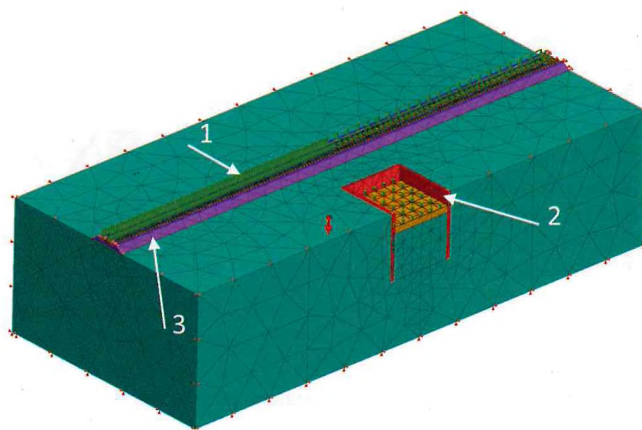


Рис. 1. Конечно-элементная пространственная схема: 1 — нагрузка от железнодорожного состава; 2 — котлован; 3 — верхнее строение пути

программ, основанных на методе конечных элементов.

Для определения длины кривой неровности рельсовых нитей примем допущение о том, что осадки и (или) горизонтальные перемещения одинаково затухают (уменьшаются) во все стороны от источника влияния. Эта предпосылка неплохо коррелирует с результатами пространственных расчетов. Основываясь на этом допущении, можно мысленно перейти в пространство и построить изолинии в плане, отражающие затухание осадок и перемещений с удалением от точки влияния. По пересечениям изолиний осадок, равных 1 мм, с осью пути находим участок, попадающий в зону влияния строительства в терминологии СП 22.133.30. Длину этого участка пути принимаем в качестве длины исследуемой неровности.

Для определения формы искривления пути в пределах зоны влияния можно предложить различные функции для аппроксимации формы неровности. Рассмотрим два варианта и сравним их с условно эталонной формой неровности, полученной на основе решения пространственной задачи в MIDAS FEA NX.

1. Функция нормального распределения (рис. 3,
- 4). Форма кривой нормального распределения опре-

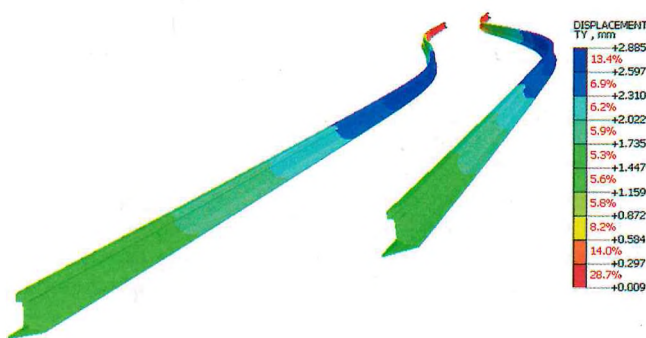


Рис. 2. Определение неровности пути (деформированный вид рельсовых нитей)

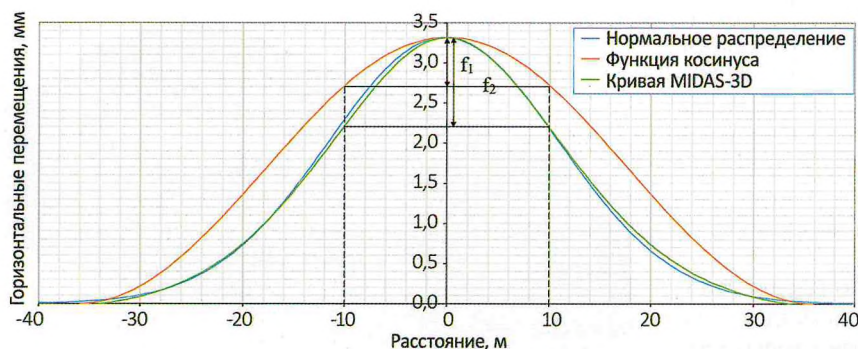


Рис. 3. Аппроксимация полученной кривой в плане

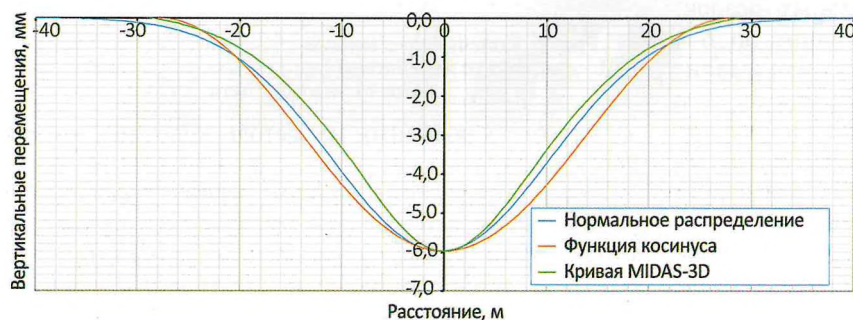


Рис. 4. Аппроксимация полученной кривой в профиле

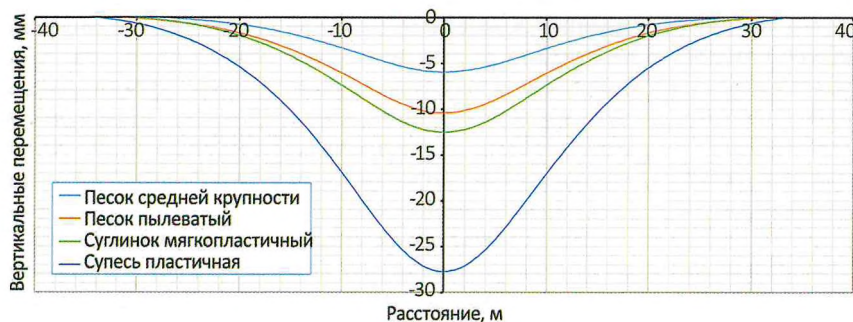


Рис. 5. Вертикальные перемещения в зависимости от грунта основания по приложению А

деляется математическим ожиданием распределенной величины и стандартным отклонением

$$f(s) = Ae^{-t^2},$$

где  $A$  — амплитуда,  $A = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ ;  $t$  — показатель степени,  $t = \frac{x - M}{\sqrt{2}\sigma}$ ;  $x$  — координата;  $M$  — математическое ожидание;  $\sigma$  — стандартное отклонение.

Математическое ожидание удобно принять равным нулю. В качестве амплитуды принимаем наибольшую осадку или наибольшие горизонтальные перемещения.

Стандартное отклонение показывает точку перегиба кривой (смена знака кривизны). Им можно варьировать в некоторых пределах, управляя степенью

кривизны. Можно принять

$$\sigma = kL_{з.в},$$

где  $k$  — поправочный коэффициент, учитывающий специфику задачи;  $L_{з.в}$  — длина зоны влияния.

Поправочный коэффициент, а следовательно, и стандартное отклонение рельсовых нитей в плане и профиле будут различными (см. рис. 3, 4).

2. Функция косинуса. В отличие от кривой нормального распределения формой и кривизной графика функции косинуса управлять нельзя, при условии фиксированных нулевых точек. Общий вид функции (см. рис. 3, 4):

$$f(s) = \frac{A \left( \cos \left( 2\pi \frac{x}{L_{з.в}} \right) + 1 \right)}{2}.$$

Кривая, полученная в MIDAS-3D, отличается по форме от кривой функции косинуса (см. рис. 3) на хорде длиной 20 м, между  $f_1$  и  $f_2$ . Предлагаем это учитывать дополнительным коэффициентом условия работы  $\gamma_d$ , вводимым к итоговому значению неровности. Его смысл такой же, как и коэффициента  $k$  в варианте 1. На основе уже имеющихся данных можно предложить величину  $\gamma_d = 1,5$ , достаточно консервативно отражающую большинство случаев.

Из опыта решения пространственных задач, например, представленных зависимостями на рис. 5 [1], следует, что на итоговую форму и кривизну пути влияет значительное число факторов: грунт основания; удаленность пути от котлована; учет статической подвижной нагрузки; уровень грунтовых вод; включение линз, негоризонтальное залегание

слоев и т. д. Учет жесткости рельсов, как правило, незначительно влияет на максимальные осадки, но придает неровностям более плавную форму. Неучет жесткости рельсов, таким образом, идет в рациональный запас. Следует отметить, что отклонения в плане и профиле также имеют разную форму и требуют в общем случае назначения различных параметров функции аппроксимации.

Мы пока остановились на втором варианте, так как аппроксимация кривой неровности пути функцией синуса или косинуса является распространенным подходом в железнодорожной отрасли [3]. Несмотря на очевидную приближенность допущений предлагаемый метод априори является более достоверным, соответствующим нормам ОАО «РЖД», чем анализ величин максимальных осадок. Приведем два характерных примера.

(Окончание в следующем номере)

# Жизнь, наполненная служением Отечеству

Григорий Моисеевич Будагов — один из талантливейших инженеров путей сообщения XX в. Он принимал активное участие в организации железнодорожного сообщения в Сибири и создании многих известных железнодорожных мостов.

Потомственный дворянин, Григорий Моисеевич родился 2 января 1852 г. в Санкт-Петербурге в семье служащих. Как и полагается русскому дворянину, он получил прекрасное образование. Окончил с серебряной медалью гимназию, затем поступил в Институт Корпуса инженеров путей сообщения императора Александра I, по окончании которого получил звание гражданского инженера «с правом производства строительных работ и правом на чин коллежского секретаря при вступлении в государственную службу».

В институте Будагов слушал курс лекций профессора Н.А. Белелюбского, известного инженера-мостостроителя, новатора в сооружении мостов и применении новых строительных материалов, а позже участвовал в реализации нескольких его проектов, использующих такие материалы (литое железо, железобетон, отечественный цемент).

После института Григория Моисеевича в 1874 г. направили на изыскания железной дороги на участке Сызрань—Самара, а затем он стал начальником дистанции по постройке этой дороги. Молодой инженер прекрасно справился с поставленной задачей. Когда строительство было завершено, Г.М. Будагов получил предложение от инженера К.Я. Михайловского принять участие в создании Волжского моста у Сызрани, которое с радостью принял. В его обязанности входило вести бухгалтерский учет и испытывать цемент. Но самое важное — у Григория Моисеевича появилась возможность наблюдать за работой профессионалов, таких как К.Я. Михайловский, В.И. Березин, Е.К. Кнорре, учиться у них и перенимать полезные умения.

Четыре года, с 1876 по 1880 г., продолжалось сооружение моста. «Самый большой в Европе», «Гордость русского строительного искусства», «Русское чудо» — такими заголовками пестрели газеты Германии, Франции, Англии и др. стран в конце 1880 г. Долгое время он оставался самым длинным — 13 пролетов по 111 м каждый, его общая длина превышала 1485 м.

Следующий железнодорожный мост, на строительстве которого трудился Будагов, мост через Днепр у

Екатеринослава на Баскунчакской (позже Екатерининской) дороге. Это также был один из самых больших мостов России конца XIX в. (15 пролетов по 73,5 м, раскосная система с ездой поверху для экипажей, понизу — для поездов). Работы продолжались четыре года. «За отличную усердную службу и особые труды по постройке Екатерининской железной дороги и моста через Днепр» Г.М. Будагов получил орден Св. Владимира IV степени.

Карьера Будагова складывалась довольно удачно. В 1884 г. он возглавил строительство моста через Днепр у г. Речица на Полесских железных дорогах. Это была его первая самостоятельная стройка, поэтому инженер чувствовал большую ответственность за качество своей работы. Не все шло гладко. Однажды чуть не произошла авария на старых шлюзовых аппаратах. Однако благодаря Григорию Моисеевичу этого не случилось. Его профессиональный авторитет среди сослуживцев в связи с этим заметно вырос. Через год строительство было успешно завершено.

В 1886 г. Будагов трудится в Техническом отделе Управления по постройке Гомель-Брянской железной дороги. Позднее по приглашению того же К.Я. Михайловского он был откомандирован в распо-



Григорий Моисеевич Будагов

ряжение начальника работ по сооружению Самаро-Уфимской линии для окончательных изысканий и составления проектов на участке Уфа—Златоуст. Будагову достался сложный в техническом отношении участок: линия от Уфы пролегла по штольным породам, которые постоянно преподносили строителям различные сюрпризы в виде провалов, обломов, смывов. Все это негативно сказывалось на ходе и сроках работ и создавало дополнительные проблемы. Но возникающие трудности благополучно преодолевались благодаря высокому профессионализму Григория Моисеевича, его прекрасным организаторским способностям, умелому подбору кадров и сложившимся доброжелательным отношениям в коллективе.

В октябре 1890 г. по представлению министра путей сообщения «об отлично-усердной службе и особых трудах» Г.М. Будагову был пожалован Орден Св. Станислава II степени.

К сожалению, по семейным обстоятельствам, не закончив строительство линии Уфа—Златоуст, Григорий Моисеевич вынужден был оставить стройку и в начале 1890 г. уехать в Феодосию. Согласно приказу МПС от 27 января 1891 г. Г.М. Будагов занял должность помощника начальника работ по сооружению Джанкой-Феодосийской железной дороги у Н.П. Меженинова. Строительство этой дороги, которое длилось всего девять месяцев, Будагов называл «курортной стройкой». И это понятно после всех трудностей, с которыми он столкнулся ранее.

В Крыму Г.М. Будагов познакомился с И.К. Айвазовским. Талантливый художник нередко бывал гостем у инженеров-строителей, и они с удовольствием пользовались его гостеприимством.

Вскоре Будагова назначают представителем Уссурийской железной дороги в Санкт-Петербурге. Одновременно он работал в комиссии Всемирного конкурса по составлению проектов Троицкого моста.

В 1892 г. Государственная комиссия окончательно утвердила направление Западно-Сибирской железнодорожной магистрали — от Челябинска на Омск, с последующим переходом Оби у села Кривошеково. Здесь предстояло соорудить грандиозный железнодорожный мост через Обь по проекту профессора Н.А. Белелюбского. Все его каменные опоры закладывались на природном гранитном основании, впервые в мировой практике мостостроения было применено литое железо.

Поскольку Григория Моисеевича всегда больше привлекала «живая» работа, то, когда пришло предложение от В.И. Березина стать его поверенным на строительстве моста через Обь, он быстро согласился.

В марте 1893 г. Григорий Моисеевич приехал в Кривошеково и организовал там подготовительные

работы: разрабатывал карьеры, сооружал причалы, заготавливал конструкции для кессонов. Будагов сформировал личный состав инженеров и техников, сдал подрядчикам работы по сборке и клепке кессонов и ферм, по их погружению в воду, сдал подряд на возведение каменных устоев. Кроме того, была уложена вспомогательная железнодорожная ветка, заготавливали строительный камень, ожидали поставку 350 тыс. пудов железа с Воткинского и рельсов с Тагильского заводов.

Спустя год, 14 июля 1894 г. состоялась торжественная закладка первого камня первой опоры железнодорожного моста через Обь. Так было положено начало великой стройки.

Ответственные задачи сооружения важного объекта требовали от инженера Будагова полной концентрации сил. Мост, как магнит, притягивал к себе большие массы людей. На сооружении мостовых объектов трудилось около пяти тысяч человек, да еще летом прибавлялось 10 тыс. сезонных рабочих. Возникали новые поселения, открывались лавки, магазины. Общественные постройки и дома в поселке Кривошеково переоборудовались для нужд строительства или приспособлялись под конторы и временные жилища. Одной из важнейших задач налаживания быта рабочих и строителей инженер Будагов считал повышение их культурного уровня и образованности. В первую очередь он считал, что необходимо открыть школу. Но ни железнодорожная администрация, ни управление Алтайского горного округа, на земле которого расположился поселок, не принимали никаких мер в этом направлении. Весь груз забот инженер Будагов вместе с единомышленниками взял на себя. Провели учет детей школьного возраста и в одном из барачных на берегу Оби обустроили школу, в которую набрали более 100 учеников. Значительную часть денежных средств на содержание школы из своих сбережений дал сам Григорий Моисеевич. Он подарил деревенским детям много книг, сам преподавал им математику до тех пор, пока не окончилось строительство и его не перевели на новый участок работы. Днем в школе обучались ребята, а вечером — взрослые, таким образом Григорий Моисеевич стремился повысить уровень знаний строителей дороги.

К сожалению, в самый разгар строительных работ между Г.М. Будаговым и подрядчиком В.И. Березиным произошел разлад, и инженеру пришлось оставить стройку. По предложению Н.П. Меженинова Будагов отправился в Томск на сооружение Средне-Сибирской дороги в качестве его помощника. Там как раз начиналось строительство Томской ветви и зданий вокзалов.

Григорию Моисеевичу было поручено руководить работами на одном из самых трудных участков — от Ачинска до станции Иннокентьевская (сейчас станция Иркутск-Сортировочный). В суровых природных условиях, по колено в воде или по грудь в рыхлом мокром снегу строителям приходилось прокладывать путь по 15–16 ч в сутки. На трассе было возведено более 200 мостов, в том числе 15 крупных.

Несмотря на огромные трудности, сооружение дороги было закончено в установленные сроки. За успехи в строительстве Сибирской железной дороги Григорий Моисеевич удостоился ордена Св. Анны II степени.

Общительный, разносторонний человек, Григорий Моисеевич Будагов, как и многие передовые люди того времени, везде, где приходилось жить и работать, старался быть полезным людям и обществу в целом. В Томске, совместно с врачом Б.С. Пируским, Григорий Моисеевич организовал «Томское общество содействия физическому развитию». На средства основателей и добровольные пожертвования в течение двух лет были оборудованы площадки для подвижных игр детей и взрослых, три купальни. По ходатайству Совета обществу был отведен участок земли в долине речки Басандайки для устройства дачных поселений для слабых и нуждающихся детей.

По окончании работ на Средне-Сибирской дороге Г.М. Будагов, будучи действительным статским советником, три года работал в Обществе Московско-Казанской железной дороги, где выполнял обязанности главного инженера по постройке новых линий.

В 1905 г. Г.М. Будагов вместе с министром путей сообщения М.И. Хилковым проехал по Сибирской, Кругобайкальской, Забайкальской железным дорогам. Своими впечатлениями о поездке он поделился, выступив с докладом на собрании Союза деятелей инженеров путей сообщения.

В 1906–1907 гг. Григорий Моисеевич участвует в изысканиях головного участка Уральской железной дороги.

Через несколько лет Г.М. Будагову суждено было вернуться в Сибирь. Его талант, богатый опыт железнодорожного строительства потребовались в связи с модернизацией Сибирской дороги; его назначили начальником работ по переустройству горных участков. В августе 1907 г. Григорий Моисеевич представил в Управление по сооружению дороги программу первоначальных работ, которые предполагалось выполнить в 1907–1910 гг. Летом 1908 г. были утверждены документы об устройстве второго пути на Сибирской дороге и стоимости первоочередных работ. Управление по переустройству горных участков линии во главе с Г.М. Будаговым находилось в

Томске и функционировало с 1 августа 1905 г. до июня 1913 г.

Г.М. Будагову была хорошо знакома эта местность. Григорий Моисеевич спланировал программу работ на четыре года, с 1907 по 1911, в которой к первоочередным задачам относилось возведение земляного полотна по новым технологиям, в частности, железнодорожная насыпь сооружалась с помощью паровых экскаваторов и узкоколейных поездов, ведомых паровозами. Большое значение Будагов придавал организации движения поездов для перевозки грунтов, использованию зимних периодов для заготовки материалов, кладке искусственных сооружений в тепляках и разработке скалистых выемок. Здесь впервые в отечественной практике была выполнена коренная реконструкция пути со смягчением горных уклонов и одновременно с укладкой второго пути на большом протяжении.

При всем при этом, Григорий Моисеевич, как и раньше, много внимания уделяет заботе о людях, организует медицинское обслуживание.

Итогом этой реконструкции стали 1262 км пути, пропускная способность повысилась до 34 пар поездов в сутки. Такое успешное завершение дел стало возможным благодаря личностным качествам Г.М. Будагова как руководителя и практика, его теоретической подготовке и накопленному опыту.

Высоко оценив вклад Григория Моисеевича Будагова в дело строительства железной дороги в Сибири, жители с чувством огромной благодарности в 1907 г. переименовали станцию Курзан Сибирской (с 1934 г. Восточно-Сибирской) дороги в станцию Будагово.

Исключительная работоспособность и любовь к выбранному делу позволили Будагову поучаствовать в сооружении Алтайской дороги (такое название получила линия Новониколаевск—Семипалатинск), в изысканиях и строительстве первого звена Туркестано-Сибирской дороги. В 1916 г. ему довелось поработать на Московско-Рыбинской дороге, а с 1917 по 1921 гг. он занимал должность председателя межведомственного совета по выработке плана железнодорожного строительства.

Больше века уже служат людям мосты и тысячи километров дорог, построенных Будаговым и его коллегами!

Скончался Григорий Моисеевич Будагов 24 декабря 1921 г. в Петрограде и похоронен на Армянском кладбище. Дело Г.М. Будагова продолжил его сын Г.Г. Будагов, тоже ставший инженером путей сообщения.

Публикацию подготовила КЕТКИНА А.Г.  
по материалам книги: Инженеры путей сообщения // Т. 3. М.: ООО «Путь-пресс», 2001



**Кубаньжелдормаш**

Завод основан в 1933 году

## РЕЛЬСОСВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК

# РСС

**Простота и надёжность,  
проверенные десятилетиями**

АВТОНОМНЫЙ РЕЛЬСОСВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК ОСНАЩЁН ДВС И ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПОД СТЫКОВЫЕ БОЛТЫ И РЕЛЬСОВЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ В ОБЪЁМНО-ЗАКАЛЕННЫХ И НЕЗАКАЛЁННЫХ РЕЛЬСАХ ТИПОВ Р50, Р65 И Р75



- Сверление отверстий выполняется железнодорожными свёрлами
- Двухскоростная коробка передач
- В качестве привода станок может комплектоваться двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем
- Возможность оперативно демонтировать рельсосверлильный станок с путей при приближении подвижного состава
- Встроенная система отвода шпинделя в исходное положение в любой момент цикла позволяет прерывать сверление в случае поломки режущего инструмента
- Снятие фаски сразу с двух кромок отверстия
- Раскатчик позволяет повысить прочность отверстия в зоне стыков до 20%, что увеличивает выносливость и соответственно срок службы рельсов
- Сделано в России
- Гарантийное и постгарантийное обслуживание заводом-изготовителем «Кубаньжелдормаш»

На правах рекламы