



- ИТОГИ ПЕРВОГО ПОЛУГОДИЯ
- ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПЛАВНОСТИ ХОДА ПОЕЗДОВ
- НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОСЕТИ
- ИСПЫТАНИЯ ПУТИ С ПОДШПАЛЬНЫМИ ПРОКЛАДКАМИ
- НЕИСПРАВНОСТИ БЕЗБАЛЛАСТНОГО ПУТИ ВСМ
- О НАДЕЖНОСТИ ПУТЕВЫХ МАШИН

# путь

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ,  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

## И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

### 9 • 2024





# Достижения путевого комплекса за первое полугодие 2024 г.



Участники екатеринбургского совещания (фото предоставлено Управлением пути и сооружений ЦДИ)

Итоги полугодовой работы путевого комплекса были рассмотрены в середине июля текущего года на совещании в Екатеринбурге. По отчетам руководителей все ключевые показатели деятельности выполнены, и инфраструктурный блок развивается согласно плану. Так, всеми видами ремонта оздоровлено 2114,2 км пути и уложено 788 стрелочных переводов. При этом 126 новых переводов имеют исполнение по инновационному проекту 8365, что позволит повысить их ресурс в два раза по сравнению с типовыми переводами и, соответственно, сократить трудозатраты на обслуживание. Всего в текущем году планируется уложить 290 таких переводов. Планово-предупредительная выправка машинизированными комплексами выполнена в объеме 6838 км пути и 7944 стрелочных переводов.

На 2024 г. утверждена Программа устранения 2222 мест с нарушениями плавности хода высокоскоростных, скоростных и пассажирских поездов за счет комплексных мероприятий: ремонтов и выправки пути и стрелочных переводов, шлифовки рельсовых нитей, сварки стыков, сплошной замены рельсов новыми и т. д. На 1 июля устранено 936 мест.

Ведется большая работа по усилению кривых малого радиуса, которые представляют собой участки повышенного риска — в этом году на них произошло 11 сходов. Всего на сети насчитывается 4832 таких кривых, с начала года усилена 2221 кривая.

В результате перечисленных превентивных мер стало возможным повысить установленные скорости движения пассажирских поездов на 137 км пути, грузовых — на 156 км. Неуклонно сокращается число и протяженность участков с ограничениями скорости: если в 2015 г. их общая длина на сети составляла 17,3 тыс. км, то к середине нынешнего года — 3,1 тыс. км.

Службе пути удалось сократить потери поездо-часов от отказов технических средств 1-й и 2-й категорий на 16 % по отношению к прошлому году и снизить количество технологических нарушений на 14 %, минимизируя тем самым факторы риска, связанные с нарушениями графика движения и задержками поездов.

Нарушения безопасности движения за полугодие выразились в двух крушениях и семи сходах в организованных поездах, а также двадцати двух сходах при маневрах. В качестве главной причины этих происшествий лидирует нарушение геометрии рельсовой колеи и негодность шпал (сходы при маневровых передвижениях).

За шесть месяцев текущего года произошло 60 изломов рельсов, из них два пропущено (не обнаружено) средствами дефектоскопии. За аналогичный период 2023 г. это опасное событие произошло тоже 60 раз при пяти пропусках. В ходе разборов установлено, что в качестве основных причин изломов выступают дефекты 69.1, 69.2 (коррозионно-усталостные трещины подошвы), 26, 56, 67 (пороки сварных стыков из-за нарушений технологии сварки), 21, 22, 24 (повреждения головки усталостного характера).

Сварка стыков ведется опережающими темпами как силами дистанций пути, так и подрядными организациями. Для выполнения годового задания (19000 стыков) в дистанциях сформировано 140 бригад, которые уже сварили 10001 стык алюминотермитным способом. Подрядные организации перевыполнили план первого полугодия на 23 % (по плану 17809 стыков, фактически сварено 21850).

(Окончание на с. 7)





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. ШЕПИТЬКО, д.т.н.,  
А.С. ЯНОВСКИЙ

#### РЕДАКЦИЯ

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

#### Телефоны:

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

#### Адрес редакции

107996, Москва, Рижская площадь, д. 3  
Телеграфный адрес: Москва, РЖ Путь  
e-mail: 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 30.08.2024

Формат 60х84 1/8. Офсетная печать.

Заказ № 24143 от 28.08.2024

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

## В НОМЕРЕ

### Цифровые технологии

- Гришан А.А. — Цифровизация планирования работ по  
улучшению плавности хода пассажирских поездов..... 2  
Королёв В.В. — Управление стрелочным хозяйством  
на основе искусственной нейросети..... 4

### На второй странице обложки

- Яновский А.С. — Достижения путевого комплекса за  
первое полугодие 2024 г. .... 7

### Конструкции и сооружения

- Коссов В.С., Тимаков М.В., Протопопов А.Л. и др. —  
К вопросу использования цифровых двойников при ис-  
следовании процессов термообработки, правки и свар-  
ки рельсов ..... 8  
Федоренко Е.В. — Новые подходы к проектированию  
земляного полотна ВСМ ..... 11  
Гречаник А.В., Дылёв Е.О. — Эксплуатационные  
испытания пути с подшпальными прокладками ..... 13  
Лесов К.С., Бондаренко А.А., Абдужабаров А.Х.  
и др. — Результаты усиления земляного полотна ..... 15

### Содержание, ремонт и реконструкция

- Колесников К.В., Прохоров В.М., Шапетько К.В.  
и др. — К вопросу о плавности хода и комфорте  
проезда пассажиров ..... 18  
Савин А.В., Соломатин Е.В. — Неисправности  
безбалластного пути для высокоскоростного  
движения ..... 22  
Пассек Вад.В., Воробьёв С.С., Орлов Г.Г. и др. —  
Использование насыпи однопутной железной дороги в  
зоне вечной мерзлоты при сооружении вторых путей.... 25

### Путевая техника

- Гринчар Н.Г. — О надежности путевых машин..... 28

### Подготовка кадров

- Шведенко А.А. — Значение вспомогательных  
профессий в путевом хозяйстве ..... 31

### Итоги конкурса рационализаторских предложений

- «Идея ОАО «РЖД»—2024» ..... 32

### На обложке

Первая страница — На магистралях России

Фото Широкова К.А.



# ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПЛАВНОСТИ ХОДА ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ



**ГРИШАН А.А.,** ОАО «Российские железные дороги», Центральная дирекция инфраструктуры, начальник службы по организации скоростного и высокоскоростного движения поездов

На пленарном заседании IV Железнодорожного съезда 15 декабря 2023 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин поставил задачи повышения скорости перевозок, качества и уровня обслуживания пассажиров. Показателями качества перевозок являются плавность хода поездов и комфортность следования пассажиров.

В условиях конкуренции железнодорожного транспорта с воздушным и автомобильным обеспечение комфортности следования пассажиров становится приоритетным направлением, определяющим имидж компании, а также спрос на железнодорожные перевозки. Распоряжением ОАО «РЖД» от 21.09.2023 № 1727 утверждена Дорожная карта по реализации работ, гарантирующих комфортность следования пассажиров и плавность хода поездов на период с 2023 по 2025 г. на направлениях Москва—Санкт-Петербург, Москва—Красное, Москва—Нижний Новгород, Москва—Адлер, Москва—Казань (далее — Дорожная карта по плавности хода).

Поддержание комфортности включает в себя диагностику и анализ состояния пути; определение факторов, влияющих на плавность хода и комфорт; организацию устранения причин, способствующих появлению дискомфорта.

С учетом постоянно растущего объема диагностики состояния пути и номенклатуры получаемой информации в Центральной дирекции инфраструктуры ведется постоянная работа по сопровождению и дальнейшему развитию подсистемы плавности хода Единой корпоративной автоматизированной системы управлением инфраструктурой (ЕК АСУИ ПХ).

Данная система позволяет:

- принимать отступления по плавности хода из внешней системы;
- регистрировать рабочие задания на основании принятых данных;
- организовывать учет и контроль устранения выявленных отступлений;
- обеспечивать анализ собираемых данных посредством отчетных форм.

Опытная эксплуатация подсистемы ЕК АСУИ ПХ с 2020 г. реализована в структурных подразделениях

Октябрьской (Тверская и Вышневолоцкая дистанции пути), Московской (Московско-Смоленская дистанция пути), Горьковской (Владимирская дистанция пути), Юго-Восточной (Воронежская и Кочетовская дистанции пути) и Северо-Кавказской (Шахтинская дистанция пути) дирекций инфраструктуры.

В 2022 г. ее используют во всех дистанциях пути (инфраструктуры) на направлениях Москва—Санкт-Петербург—Бусловская, Москва—Нижний Новгород, Москва—Смоленск, Москва—Адлер в границах Октябрьской, Московской, Горьковской, Юго-Восточной и Северо-Кавказской дирекций инфраструктуры.

В соответствии с Распоряжением Центральной дирекции инфраструктуры от 11.08.2022 № ЦДИ-873/р организовано тиражирование опытной эксплуатации подсистемы ЕК АСУИ ПХ на дистанции пути (дистанции инфраструктуры), обслуживающие скоростные, высокоскоростные и основные пассажирские направления, по всей сети.

Перспектива развития ЕК АСУИ ПХ:

переход на более современные методы, исключая влияние «человеческого фактора»;

совершенствование системы планирования и выполнения работ;

автоматизированное формирование программы плавности хода на основе данных ЕК АСУИ.

В рамках первого этапа реализации подсистемы ЕК АСУИ ПХ достигнуто:

формирование с использованием программного обеспечения TRACK ICAR (разработчик — АО «Фирма Твема») загрузочных файлов, полученных в результате расшифровки измерений параметров плавности хода портативным акселерометром «Аксиома», с дальнейшей их загрузкой (отправкой) в подсистему ЕК АСУИ ПХ;

формирование подраздела ЕК АСУИ ПХ «Осмотры ПХ», состоящего из двух элементов: «Диагностические проезды ПХ» и «Рабочие задания на осмотр ПХ»;

цветовая визуализация информации о рабочих заданиях на осмотр мест нарушения плавности хода с вышедшими сроками их проведения;



формирование отчетных форм в ЕК АСУИ ПХ по плавности хода: «Ведомость данных по состоянию плавности хода за 12 месяцев по маршруту», «Ведомость выявленных отступлений по километрам», «Анализ выполнения работ по осмотрам плавности хода на пути».

В рамках реализованного этапа на сегодняшний день имеется возможность в режиме реального времени управлять организацией проведения осмотров мест нарушения плавности хода, планировать работы по устранению причин нарушений с помощью формирования инцидентов по отступлениям и неисправностям, непосредственно влияющим на плавность хода поездов, и контролировать качество их выполнения.

Разработчиком системы — Отраслевым центром разработки и внедрения информационных систем (ООО «ОЦРВ») — организована методологическая поддержка пользователей в рамках сопровождения и устранения поступающих замечаний. Организовано проведение семинаров по обучению причастных сотрудников структурных подразделений и региональных дирекций инфраструктуры работе в подсистеме ЕК АСУИ ПХ. Продолжение совместной работы предполагает уменьшение количества замечаний по работе с данной системой, а также улучшение качества и информационной емкости предложений, поступающих от опытных структурных подразделений.

В целях перевода ЕК АСУИ на использование отечественного программного обеспечения, включенного в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, в Центральной дирекции инфраструктуры в рамках Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 г. разработаны и утверждены Функциональные требования на выполнение работ по темам: «Разработка автоматизированной системы управления производственными активами ЦДИ — филиала ОАО «РЖД»» и «План перевода производственной системы управления инфраструктурой на импортонезависимую платформу, обеспечивающую сбалансированное ресурсно-сервисное содержание инфраструктуры» (разработчик — ООО «Галактика Транспорт», программное обеспечение — ЕАМ.Бетанкур). Полный переход на отечественную платформу планируется завершить в январе 2026 г.

Для реализации представленных выше Дорожной карты по плавности хода и Функциональных требований предусмотрено формирование программы плавности хода на участках обращения скоростных и высокоскоростных поездов по устранению выявленных нарушений, которая должна обеспечивать:

автоматизированное формирование годового плана устранения нарушений плавности хода на текущий год (Программа ПХ);

синхронизацию годового плана Программы ПХ с адресными планами по текущему содержанию пути в части основных видов работ — планово-предупредительная выправка пути и стрелочных переводов, одиночная выправка пути, шлифовка рельсов, алюминотермитная сварка, установка металлокомпозитных стыков;

согласование Программы ПХ на текущий год сотрудниками службы пути в рамках своих дирекций инфраструктуры, центров диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры и дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры, управления пути и сооружений и службы по организации скоростного и высокоскоростного движения поездов.

В дальнейшем программой цифровизации предусмотрено развитие автоматизации производственных процессов в части плавности хода и комфортности следования пассажиров. Дополнительно планируется реализация следующих функций:

интеграция данных о плавности хода в автоматизированную систему управления производственными активами ЦДИ (АСУ ПА) из ЕК АСУИ СДМИ;

контроль исполнения Программы ПХ, оперативное планирование и согласование рабочих заданий на осмотр мест с нарушением плавности хода, установление контрольных функций закрытия рабочих заданий, автоматизированное перепланирование и подтверждение исполнения рабочих заданий;

создание отчетных форм по контролю своевременного и полного планирования рабочих заданий, своевременности и качеству их исполнения, количеству сформированных рабочих заданий, а также рабочих заданий на устранение нарушений ПХ, о выявленных местах с некачественным устранением и периодическим дискомфортом;

статистика многократного выявления нарушений плавности хода на одних и тех же километрах.

На сегодняшний день Программа ПХ формирует-ся вручную, что значительно увеличивает трудозатраты и повышает риск ошибок в процессе поиска, обработки, внесения и обобщения информации, учитывая ее значительный объем (Программой ПХ на 2024 г. предусмотрено устранение более 2 тыс. мест с нарушениями).

В апреле 2024 г. на совещании рабочей группы по вопросу улучшения плавности хода поездов и повышения комфортности следования пассажиров и взаимодействия «колесо—рельс» совместно с ведущими производителями и разработчиками измерительных систем и программного обеспечения, научно-исследовательскими институтами рассматривались проблемные вопросы в части цифровизации. На совещании Центральной дирекцией инфраструктуры определена задача — в конечном итоге создать автоматизированную систему, интегрирующую в себе весь комплекс информации о состоянии пути, полученной различными диагностическими средствами. В дальнейшем по результатам анализа будут выдаваться рекомендации по устранению причин, вызывающих нарушения плавности хода поездов и комфортности следования пассажиров.

Комплекс проводимых работ направлен на решение поставленной Центральной дирекцией инфраструктуры задачи по ежегодному до 2030 г. поэтапно-му снижению не менее чем на 5 % количества выявляемых мест с нарушениями плавности хода по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года.



# УПРАВЛЕНИЕ СТРЕЛОЧНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОСЕТИ



КОРОЛЁВ В.В., Российский университет транспорта, канд. техн. наук

**Аннотация.** Искусственные нейросети позволяют автоматизировать процессы принятия решений при анализе больших объемов данных. В статье рассмотрены принципы и преимущества системы управления стрелочным хозяйством, основанной на искусственной нейросети, и ее потенциал для оптимизации работы железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, цифровые технологии, цифровая железная дорога, нейросети, проектирование.

Искусственные нейронные сети представляют собой мощные инструменты, способные решать сложные задачи, в том числе определять закономерности в обширных наборах данных и делать на их основе точные прогнозы. Сегодня искусственные нейронные сети широко применяются для распознавания лиц, в работе голосовых ассистентов, при обработке информации и многое др. (рис. 1). Одна из ключевых и наиболее важных особенностей нейронной сети — способность к обучению.

В общем представлении нейронная сеть — это система нейронов, которые передают сигналы друг дру-

гу. При подаче сигнала на вход один нейрон проходит через тысячи других, и на выходе можно и не получить ожидаемый ответ (рис. 2). Для достижения нужных результатов необходимо настраивать параметры сети.

Изучив основные принципы работы искусственной нейронной сети, ее можно определить как математическую модель естественной нейросети, которая реализуется с помощью программного и аппаратного обеспечения.

Нейронные сети играют важную роль в решении задач классификации. Исследования показывают, что для этой цели чаще всего применяют искусственные нейронные сети прямого распространения. Эффективность использования нейронных сетей для классификации обусловлена их способностью генерировать множество регрессионных моделей. Кроме того, применение искусственных нейронных сетей

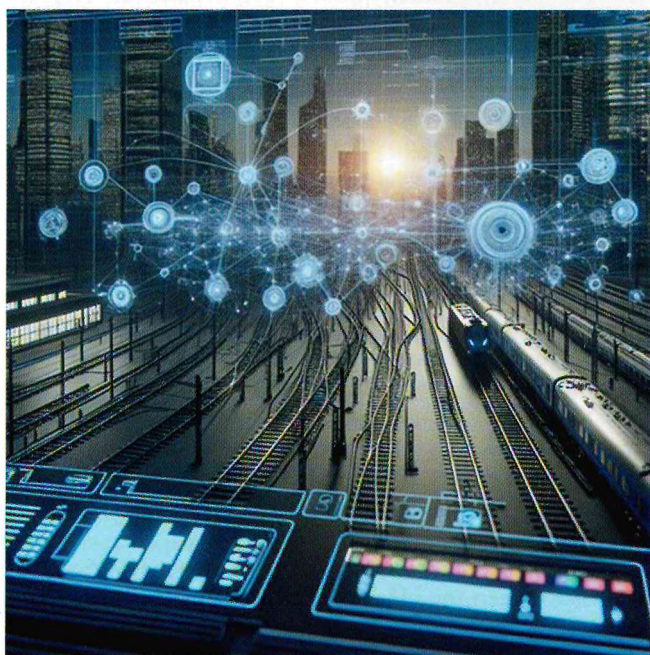


Рис. 1. Изображение, сгенерированное нейросетью по запросу названия данной статьи

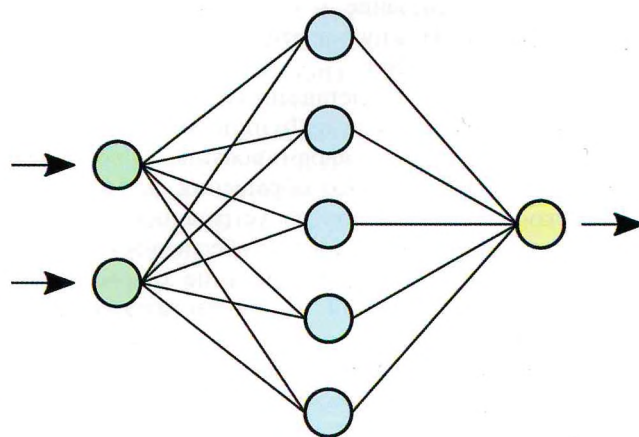


Рис. 2. Схема простой нейросети: зеленый цвет — входные нейроны; голубой — скрытые; желтый — выходной



целесообразно в случаях, когда исходные данные неполные или неточные.

Далее рассмотрим области, где технология нейронных сетей может быть применена в отношении стрелочного хозяйства как части путевого хозяйства.

При проектировании стрелочной продукции перед инженерами стоит задача разработать стрелочный перевод, который соответствует техническому заданию заказчика или решает стратегические потребности железнодорожного транспорта. Установив необходимые условия, можно получить модель, удовлетворяющую всем этим критериям. Однако в настоящее время нейросети не являются искусственным интеллектом, способным самостоятельно предлагать варианты, не основанные на анализе имеющихся данных или прогностических моделей.

Для успешного развития нейронной сети необходимо иметь доступ к базе данных, содержащей как существующие, так и планируемые модели, элементы, конструкции и другие компоненты стрелочной продукции [1]. Кроме того, для улучшения работы сети необходимо также иметь доступ к новым разработкам и изобретениям, которые по различным причинам не получили должного внимания. Каждый год защищаются диссертации, регистрируются патенты и публикуются материалы о самых амбициозных проектах или устройствах, которые, к сожалению, по различным объективным обстоятельствам не воплощаются на практике [2, 3].

Эта база данных может стать важным информационным ресурсом для развития и совершенствования нейросетей, позволяя создавать абсолютно новые конструкции, учитывая те аспекты, которые могли быть упущены человеком в своих исследованиях. Кроме того, технологию нейросетей можно применять для анализа дефектов и повреждений стрелочных переводов. При этом разрабатываются прогностические модели, способные предсказывать появление определенных дефектов или выход из строя элементов стрелочной продукции на основе обширного объема статистических данных и показателей, используемых в качестве граничных условий [4, 5].

Данная технология позволяет специалистам получать точные и непрерывные сведения о состоянии продукции, что поможет выявить элементы, требующие улучшения, информацию о выполнении необходимых работ для обеспечения бесперебойного функционирования стрелочной продукции, а также анализирует нормативные требования для более точного решения необходимых задач [6, 7].

Применение технологии, основанной на нейросетях, поможет сократить время проведения неотложных работ, а также оптимизировать расходы на текущее обслуживание инфраструктуры. Благодаря этой технологии специалисты смогут получить всестороннюю информацию о состоянии стрелочного хозяйства и рекомендации по приоритетным направлениям деятельности, учитывая доступные ресурсы, время и экономическую эффективность.

На начальном этапе прогнозы и предложения могут быть с большой погрешностью. Однако с накоплением опыта и обучением нейронных сетей эта технология будет давать более точные решения, соответствующие в конечном итоге максимальным требованиям и имеющие минимальный процент ошибок. В предыдущих публикациях журнала по исследованиям в данной области отмечено, что сегодня многие предприятия и коллективы уже пробуют внедрять и тестировать новые цифровые технологии, однако пока это остается локальным явлением [8, 9].

Для эффективного развития железнодорожной отрасли необходимо создать единый комплексный подход, основанный на общей базе данных и применении современных технологий, в частности, управление стрелочным хозяйством, который может быть успешно распространен на другие сферы железнодорожного транспорта. Это позволит не только получить полное представление о текущей ситуации, но и найти решения для обеспечения эффективной работы железнодорожной системы и быстрого анализа новых перспективных проектов.

В настоящее время нейросети все еще не достигают уровня человеческого мозга по обработке информации [10], но с каждым годом этот показатель становится все выше. Инновационным решением эффективного управления стрелочным хозяйством и его обслуживанием является система на основе искусственной нейросети. Это имеет важное значение как для обеспечения безопасности движения, так и для повышения пропускной способности. В результате автоматизированные программы становятся все более популярными и востребованными.

Универсальная система, способная оперативно реагировать на меняющиеся условия на железнодорожном пути, разрабатывается с помощью искусственной нейронной сети. Повышение эффективности использования инфраструктуры может быть достигнуто благодаря применению алгоритмов машинного обучения, которые оптимизируют управление стрелочным хозяйством.

Хочу отметить, что данная статья создана с использованием рерайтера, который базируется на технологии нейронных сетей.

#### Список источников

1. Королёв В.В. Цифровой двойник стрелочного перевода // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 1. С. 6–8. EDN: CZDMBO.
2. Патент на полезную модель № 188269 РФ, МПК E01B 9/54, E01B 7/02. Цельнолитая подкладка с подушкой / Б.Э. Глюзберг, П.А. Гелюх, В.В. Королёв [и др.]; заявитель РУТ (МИИТ). № 2018140750; заявл. 19.11.2018; опубл. 04.04.2019; Бюл. № 10. EDN: ZRUFDV.
3. Патент на полезную модель № 203554 РФ, МПК E01B 7/22. Плитное основание стрелочных переводов / Б.Э. Глюзберг, В.В. Королёв, А.А. Локтев [и др.]; заявитель РУТ (МИИТ). № 2020138312; заявл. 23.11.2020; опубл. 12.04.2021; Бюл. № 11. EDN: VITPII.



4. Кочнев В.А., Локтев А.А. Особенности моделирования движения транспортных средств для построения беспилотных систем // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2022. Т. 18. С. 96–105. EDN: VCNQIB.

5. Алгоритм определения параметров основания зданий и сооружений с помощью обработки георадиолокационных изображений / А.А. Локтев, Д.А. Локтев, В.В. Королёв, А.А. Кузнецов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 4. С. 11–17. DOI: 10.25791/pribor.4.2022.1331.

6. Шишкина И.В. Необходимость разработки стрелочных переводов шестого поколения «ГЕКСА» // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 1. С. 16–18. EDN: IZZWIV.

7. Шишкина И.В. Статистика и контроль качества стрелочной продукции // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 9. С. 32–33. EDN: VRXFYF.

8. Королёв В.В. Информационное моделирование стрелочных переводов // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 8. С. 37–39. EDN: JJVUVY.

9. Королёв В.В. Стрелочная продукция в эпоху цифрового проектирования // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 6. С. 17–19. EDN: ERFPRE.

10. Королёв В.В. Технология искусственного интеллекта в стрелочном хозяйстве // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 12. С. 18–19. EDN: KFQOYB.

#### A SWITCHBOARD MANAGEMENT SYSTEM BASED ON AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

**Korolev Vadim** — Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the department «Transport construction», Russian University of Transport, Moscow, Russia. Korolevadim@mail.ru

**Abstract.** Artificial neural networks represent an innovative approach to switch management, allowing you to automate decision-making processes based on the analysis of large amounts of data. The article discusses the principles and advantages of a switchboard management system based on an artificial neural network and its potential for optimizing the operation of railway transport.

**Keywords:** turnout, digital technologies, digital railway, neural networks, design.

**Citation:** Korolev V.V. A switchboard management system based on an artificial neural network // Railway Track and Track Facilities, 2024, 9, pp. 4–6. (in Russian).

## Памяти профессора Н.И. Карпущенко

Двадцать пятого июня этого года ушел из жизни доктор технических наук, профессор Николай Иванович Карпущенко, посвятивший всю свою жизнь служению путевому хозяйству российских железных дорог. Вначале, после окончания в 1960 г. НИИЖТа (сейчас СГУПС) трудился на производстве, а затем на кафедре пути родного вуза, где уже в 1985 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. В 1986 г. ему было присвоено звание профессора.

С 1981 по 2013 г. Николай Иванович работал заведующим кафедрой «Путь и путевое хозяйство», а затем до последних дней — профессором этой кафедры.

Николай Иванович как ведущий ученый в области путевого хозяйства внес значительный вклад в развитие теории надежности железнодорожного пути, в решение проблем работы пути на участках обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов, в вопросы устройства и эксплуатации кривых участков, в том числе в изучение износа колес и рельсов. Перу

Николая Ивановича принадлежит более 230 научных трудов.

Неоценимый вклад как педагог Николай Иванович внес в подготовку путейских кадров. Под его руководством защищена 21 кандидатская диссертация. Тысячи выпускников НИИЖТа с благодарностью вспоминают годы учебы под его руководством.



Отличительной чертой Николая Ивановича было умение твердо, но максимально тактично отстаивать свою позицию на совещаниях любого уровня. Всегда можно было рассчитывать на его помощь и поддержку в решении принципиальных вопросов путевого хозяйства, в оценке диссертационных работ.

Ему в полной мере было присуще столь ценное человеческое качество как надежность.

Светлая память о Николае Ивановиче Карпущенко — ученом, педагоге, товарище — навсегда сохранится в наших сердцах.

ПЕВЗНЕР В.О., докт. техн. наук,  
АРДЫШЕВ И.К., аспирант



## Достижения путевого комплекса за первое полугодие 2024 г.

Успешно реализуется устранение дефекта 46 (седловина в сварном стыке) наплавкой поврежденного места. При плане 4910 ликвидировано 8710 дефектов, т. е. больше запланированного количества на 76 %.

Всего за первое полугодие заменено 51374 дефектных рельса. Основные причины изъятий: трещины и выкрашивания на поверхности катания, дефекты в зоне сварных стыков, контроленепригодность. Число дефектных рельсов, продолжающих лежать в пути, увеличилось по сравнению с прошлым годом на 702 шт. (было 83641, стало 84343).

Для своевременного назначения шлифования рельсов и составления плана их наплавки в центрах диагностики и мониторинга введен ежемесячный учет преддефектных рельсов. В частности фиксируются расслоения на поверхности катания с пропаданием донного сигнала от 30 до 70 мм, которые в дальнейшем перерастают в дефекты 10, 11, и смятия в сварных стыках глубиной 0,5–1,0 мм, со временем развивающиеся в дефекты 46, 47.

С 2020 г. грузонапряженность на сети возросла на 7 %, а протяженность участков с рельсами, пропустившими более 700 млн т брутто, увеличилась на 15 %. Это ведет к ускоренному развитию расстройств пути: с 2021 г. рост отступлений II степени на 1 тыс. км составил 31 %, а количество неудовлетворительных километров увеличилось на 32 %. В целях недопущения развития этой нежелательной тенденции в Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры создана система ЕК АСУИ СДМИ для получения адресной аналитики развития неисправностей и составления долгосрочного прогноза состояния пути.

Продолжается внедрение рельсов нового поколения на участках с особо тяжелыми условиями эксплуатации. Так, за первое полугодие уложено 31,6 км рельсов ДТ370 и 65,9 км износостойких ДТ400ИК. Благодаря своим качествам они имеют повышенный ресурс, что на практике выражается в сокращении их замен, уменьшении расходов на текущее содержание и потерь от задержек поездов. Тяжелые рельсы Р71 прошли приемочные испытания 12.04.2024, и на четвертый квартал текущего года планируется их укладка на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ». Они призваны снизить удельный выход на 30 % и сократить затраты на текущее содержание на 1,8 %.

Протяженность земляного полотна на сети составляет 86,7 тыс. км, из них 8,9 тыс. подвержены дефектам и деформациям. Наибольший процент де-

фектности земляного полотна сосредоточен на Дальневосточной и Забайкальской дорогах. Для ликвидации больных мест служба пути наращивает производственные мощности, приобретая землеройную технику и создавая механизированные колонны. Если в 2022 г. ремонт и укрепительные работы текущего содержания были выполнены в объеме 5690,3 км земляного полотна, то планы текущего года возросли до 7913,7 км.

Значительно повысилось качество обслуживания искусственных сооружений благодаря внедрению инновационной техники — беспилотных летательных аппаратов, подводных дронов и т. д. Согласно задачам текущего года 9771 сооружение должно быть отремонтировано с выводением из неудовлетворительного состояния.

В рамках модернизации БАМа для увеличения его провозной способности запущено движение по вторым путям в Амурской области между станциями Имангракан и Тас-Юрях. Для этого потребовалось проложить 20 км пути и построить семь мостов. Введены в строй двухпутные вставки на перегонах Сети — Федосеев (отсыпано 275 тыс. м<sup>3</sup> земляного полотна, возведено 11 мостов и одна водопропускная труба, уложено 7,7 км нового пути и два стрелочных перевода) и Амган — Туян (14,2 км пути, четыре стрелочных перевода, 11 мостов).

Устойчивое функционирование путевого комплекса обеспечивает большой коллектив сотрудников (122331 чел.), профессиональные компетенции которых постоянно повышаются благодаря продуманной системе обучения и нарабатываемому опыту. Однако кроме знаний работник, деятельность которого непосредственно связана с движением поездов (зона повышенной опасности), должен иметь необходимые психо-физиологические качества: стрессоустойчивость, достаточную скорость переключения внимания, помехоустойчивость и т. д. На Ишимской дистанции Свердловской дороги реализуется пилотный проект определения психо-физиологических способностей дорожных мастеров с целью минимизации рисков нарушения движения поездов и технологии производства путевых работ.

Знакомство с передовым опытом ремонта и текущего содержания пути поможет участникам екатеринбургского совещания справиться с задачами второй половины текущего года.

ЯНОВСКИЙ А.С.



# К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ, ПРАВКИ И СВАРКИ РЕЛЬСОВ\*

КОССОВ В.С., Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (АО «ВНИКТИ»), докт. техн. наук, ТИМАКОВ М.В., АО «ВНИКТИ», заведующий лабораторией, ПРОТОПОПОВ А.Л., АО «ВНИКТИ», канд. техн. наук, ЛИТВИНОВ М.А., АО «ВНИКТИ», инженер 1-й категории

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований АО «ВНИКТИ» в области обслуживания и эксплуатации пути. Рассмотрено влияние разных технологий сварки и термообработки сварного стыка рельсов на их потребительские свойства. При помощи компьютерного моделирования решены задачи сварки, теплообмена (закалки), получены значения остаточных напряжений и твердости после термообработки, смоделированы изменения остаточных напряжений после холодной правки рельсов.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, алюминотермитная сварка, электродуговая сварка, термообработка рельсов, зона термического влияния сварного стыка, правка рельса, твердость рельса.

Также моделируют разные варианты системы охлаждения поверхности рельса: в первом варианте поток воздуха направляют только на головку, а во втором и третьем его дополнительно (в объеме 20 и 40 % от количества воздуха, подаваемого на головку) направляют на шейку. Для всех вариантов с общим процессом нагрева определяют твердость поверхности и остаточные напряжения.

На рис. 4 представлены картины распределения остаточных продольных напряжений, возникающих после термообработки сварного стыка, при различных схемах обдува.

Дополнительный обдув на шейку рельса при 20 % расходе воздуха от головки улучшает напряженно-деформированное состояние сварного соединения, снижает продольные растягивающие напряжения в шейке и увеличивает до 15 % сжимающие напряжения в головке и подошве. При увеличении расхода воздуха на обдув шейки до 40 % уровень остаточных растягивающих напряжений в шейке остается без изменений; при этом уровень остаточных сжимающих напряжений в головке увеличивается еще на 15 %.

Графики распределения твердости вдоль головки рельса при тех же режимах термообработки представлены на рис. 5. Два последних варианта формируют лучшие распределения твердости в головке.

Следовательно, электроконтактная сварка превосходит алюминотермитную по следующим показателям: меньшие (до 50 %) остаточные сжимающие продольные напряжения в головке; меньшая (до 25 %) просадка по твердости; меньшая (в 4–5 раз) ширина зоны с пониженной твердостью.

Исследование процесса холодной правки рельса на цифровом двойнике [4] показало, что она увеличивает уровень продольных растягивающих напряжений в головке рельса, ухудшая ее напряжен-

но-деформированное состояние, полученное после дифференцированной закалки. Так, после холодной правки уровень сжимающих напряжений уменьшается на 35–45 %, а в некоторых зонах сжимающие напряжения превращаются в растягивающие.

На рис. 6 представлены результаты расчетов холодной правки.

Дефекты контактно-усталостного характера в рельсах определяются как внутренними остаточными напряжениями, формируемыми при производстве рельсов в процессе термической обработки, правки и сварки [5] их в плети, так и напряжениями от подвижного состава.

Для создания цифровых двойников взаимодействия пути и подвижного состава и оценки безопасности методами компьютерного моделирования в АО «ВНИКТИ» уже более 25 лет применяется специализированный программный комплекс «Универсальный механизм». С его помощью создан банк моделей практически всех типов эксплуатируемых тепловозов и электровозов, грузовых и пассажирских вагонов, скоростных поездов и специального подвижного состава. Модели верифицированы по результатам экспериментальных данных, полученных при ходовых динамико-прочностных испытаниях, испытаниях по воздействию на путь и специально проводившихся стендовых исследованиях.

Моделирование движения грузовых поездов используется для оценки условий безопасного движения по участкам со сложным профилем (например, перевальные участки на маршруте Смоленниково—Находка, имеющие спуски и подъемы до 30 ‰ и кривые, в том числе S-образные с радиусом до 200 м) при различных режимах ведения (тяга, торможение, включая рекуперативное, и выбег).

Для объективной оценки напряженно-деформированного состояния рельсошпальной решетки и ее элементов (рельсы, стыковые накладки, скрепления и

\*Окончание. Начало в № 8, 2024 г.



т. д.) используется групповое силовое воздействие на путь от колес не менее трех вагонов.

Для установления фактической силовой нагрузки эксплуатируемого подвижного состава на рельсы и верификации результатов моделирования проведены испытания в условиях горно-перевального участка Слюдянской дистанции пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры.

Выполненный статистический анализ силового воздействия на наружный и внутренний рельсы в кривой радиусом 300 м грузовых вагонов представлен в виде гистограмм. Средние значения вертикальных сил от полувагонов с осевой нагрузкой 230 кН составили 118 кН; от полувагонов с осевой нагрузкой 245 кН — 133 кН; максимальные — соответственно 150–160 и 165–175 кН. Максимальные значения боковых сил достигали 80–85 кН. Полученные распределения вертикальных и бо-

ковых сил используются для расчета ресурса рельсов.

На следующем этапе предстоит разработка цифрового двойника процесса накопления контактно-усталостных повреждений при многоосном напряженном состоянии рельса. Данная модель должна учитывать следующее:

амплитуду и размах деформаций, вызываемых внешними нагрузками;

уровень остаточных напряжений;

физико-механические свойства материала рельса.

При помощи такой модели можно рассчитать количество циклов нагружения до зарождения трещины, а значит, оценить пропущенный тоннаж.

На последнем этапе предстоит разработать цифровой двойник процесса роста трещины в целях прогноза живучести рельса, т. е. оценить вре-

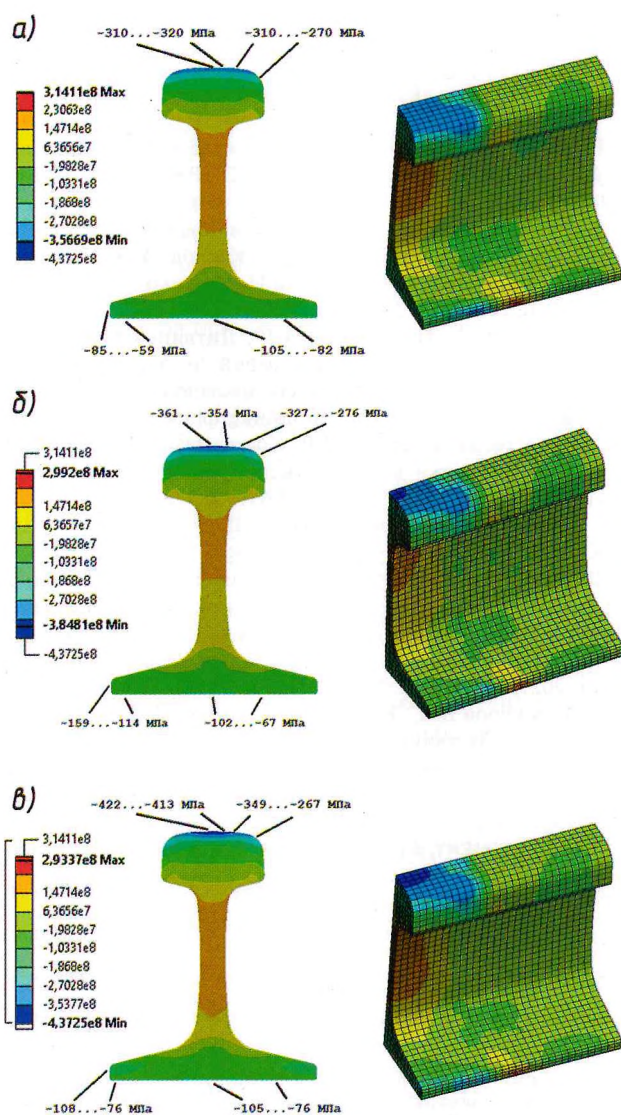


Рис. 4. Остаточные продольные напряжения в рельсе при разных режимах обдува:  
а — 100 % с головки; б — 100 % с головки и 20 % шейки; в — 100 % с головки и 40 % шейки

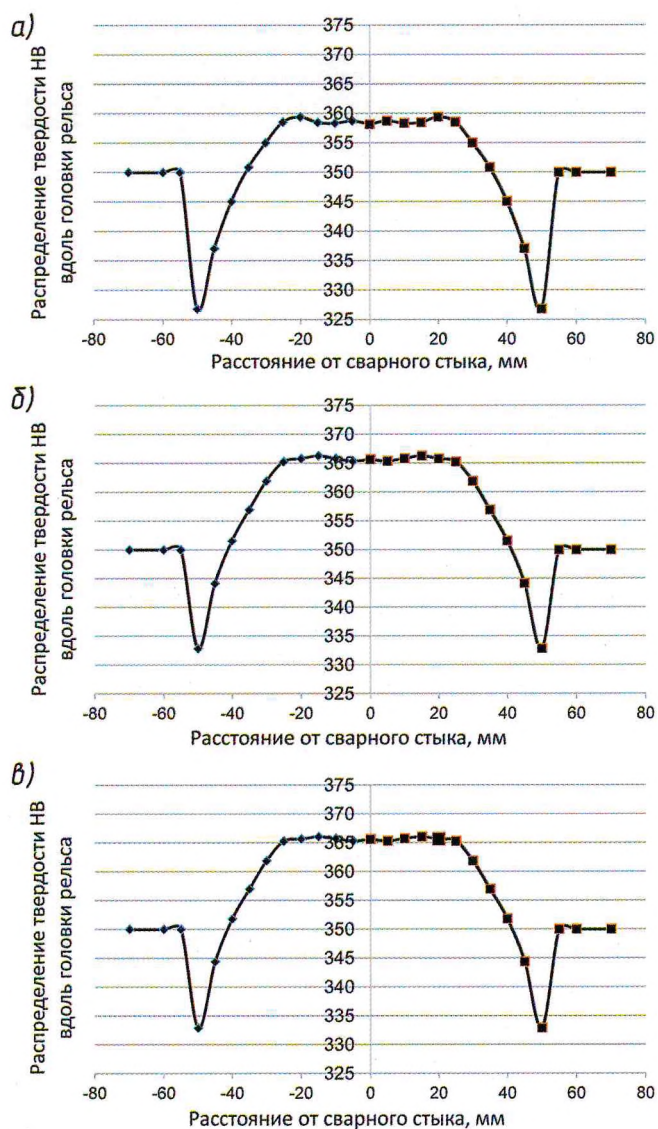


Рис. 5. Графики распределения твердости вдоль головки рельса при тех же режимах обдува:  
а — 100 % с головки; б — 100 % с головки и 20 % шейки; в — 100 % с головки и 40 % шейки



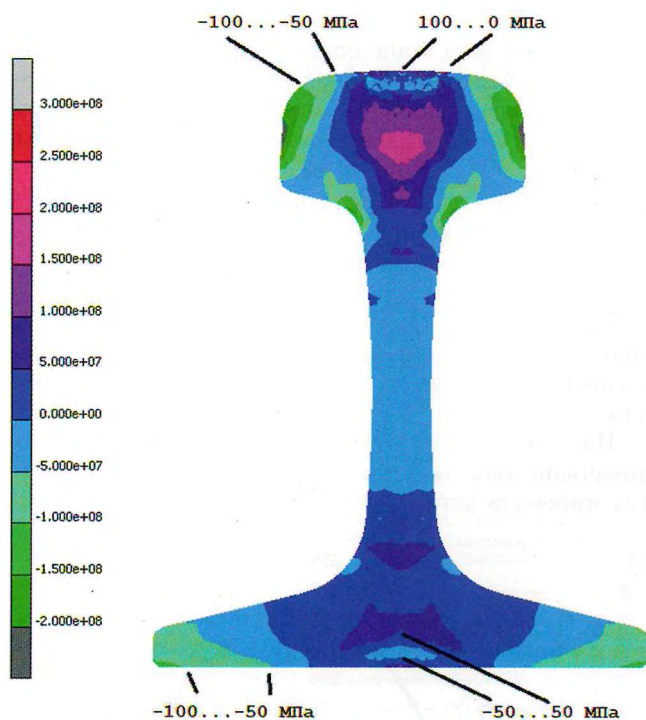


Рис. 6. Продольные остаточные напряжения в рельсе после холодной правки

мя, в течение которого зародившаяся трещина будет расти до критического состояния.

В соответствии с п. 6 Протокола совещания в Минпромторге России от 30.08.2018 № 56-МД/20 разработаны и утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 13.04.2023 № 931/р «Технические требования к конструкции железнодорожного пути и системы его технического обслуживания, обеспечивающих наработку пропущенного тоннажа 2,5 млрд т брутто».

Разработаны предварительные схемы ремонтов пути для типовых условий эксплуатации. На участках со сложным профилем и планом дополнительно введены выправка и средний ремонт. Таким образом, представленные выше цифровые двойники могут быть использованы для прогнозирования ресурсных показателей пути, обеспечивающих наработку пропущенного тоннажа 2,5 млрд т брутто.

## Заключение

Цифровые двойники процессов изготовления и заковки, холодной правки, сварки электроконтактным, а также алюминотермитным способом, термообработки сварных швов рельсов, взаимодействия подвижного состава и пути, накопления контактно-усталостных повреждений и живучести рельсов позволяют:

отрабатывать технологию по выпуску рельсов с заданными свойствами;

прогнозировать уровни остаточных напряжений в них;

добиваться наиболее благоприятных сочетаний этих факторов;

прогнозировать ресурс, т. е. обеспечивать необходимый пропущенный тоннаж;

оценивать живучесть рельсов при заданных условиях эксплуатации и определять периодичность ремонтных работ.

## Список источников

1. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные Распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2021 № 2888/р.
2. Расчетная оценка остаточных напряжений в алюминотермитных стыках рельсов / В.С. Коссов, А.Л. Протопопов, Г.М. Волохов, О.Г. Краснов, В.Н. Огуенко // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 9. С. 23–28.
3. Коссов В.С., Протопопов А.Л., Литвинов М.А. Моделирование электроконтактной сварки и термообработки сварных стыков рельсов // Тезисы докладов специализированного заседания семинара по механике фрикционного взаимодействия твердых тел им. И.В. Крагельского по проблематике «колесо—рельс» в рамках мероприятий «Десятилетия науки и технологий» / ИПМех РАН, АО «ВНИКТИ». М., 2022. С. 6–7. URL: [https://ipmnet.ru/files/conf/2022\\_11\\_16\\_semKragelskogo/Abstracts\\_semKragelskogo\\_2022\\_11\\_16.pdf](https://ipmnet.ru/files/conf/2022_11_16_semKragelskogo/Abstracts_semKragelskogo_2022_11_16.pdf).
4. Численная оценка остаточных напряжений в длинномерных рельсах после дифференцированной заковки и механической правки / В.С. Коссов, А.Л. Протопопов, Г.М. Волохов, Э.С. Оганьян // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 1–2 (92–93). С. 71–74.
5. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 579 с.

## ON USING DIGITAL TWINS TO EXAMINE PROCESSES OF RAIL HEAT TREATMENT, STRAIGHTENING AND WELDING

**Kossov Valery** — D.Sci., Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock, Joint Stock Company (JSC «VNIKTI»), General Director, Professor. Kolomna, Russia. [ino@vnikti.com](mailto:ino@vnikti.com)

**Timakov Maksim** — JSC «VNIKTI», Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength, Head of laboratory. Kolomna, Russia.

**Protopopov Andrey** — Ph.D., JSC «VNIKTI», Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength, Senior Researcher. Kolomna, Russia.

**Litvinov Maksim** — JSC «VNIKTI», Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength, 1st Category Engineer. Kolomna, Russia.

**Abstract.** The results of experimental and analytical investigations carried out at JSC «VNIKTI» in the field of railway track maintenance and operations are presented. The effect of some rail joint welding and heat treatment procedures on consumer performance of welded joints is studied. Some welding and heat transfer (hardening) problems are solved, post-heat treatment residual stresses and hardness values are derived, and some residual stress modifications following cold straightening of rails are modeled via numerical simulations.

**Keywords:** digital twins, alumino-thermic welding technique, electric arc welding, heat treatment of rails, heat affected zone of a welded joint, rail straightening, rail hardness.

**Citation link:** Kossov V.S., Timakov M.V., Protopopov A.L., Litvinov M.A. On using digital twins to examine processes of rail heat treatment, straightening and welding // Railway Track and Track Facilities. 2024. № 8, 9. PP. 8–9, 8–10. (in Russian).



# НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ВСМ



ФЕДОРЕНКО Е.В., НИП-Информатика, канд. геол.-минерал. наук

**Аннотация.** Проектирование и строительство высокоскоростных магистралей привело к появлению новых критериев проектирования. Расчетная осадка земляного полотна ВСМ должна быть определена на длительный период времени. Это требует пересмотра принципов получения исходных данных для расчетов и самих методов расчетного обоснования проектных решений. Необходимо учесть не только фильтрационную консолидацию, но и длительную осадку вследствие ползучести. В статье описаны проблемы взаимодействия изыскателей и проектировщиков и их урегулирование для получения надежных и экономичных проектных решений.

**Ключевые слова:** высокоскоростная магистраль, расчеты и проектирование насыпей, геотехника, численное моделирование, ползучесть, осадка, консолидация, метод конечных элементов.

Отличительной особенностью верхнего строения пути (ВСП) высокоскоростных магистралей (ВСМ) является использование безбалластной конструкции, которая имеет существенные отличия от традиционного балластного слоя из щебня, что необходимо учитывать при проектировании. Широко применяемая подъемка балластного пути позволяет компенсировать накопленные деформации и обеспечить плавность хода. В случае с безбалластным ВСП возможности изменить высоту головки рельса ограничены. В разработанных документах по проектированию [1, 2] появились критерии такого ограничения. Остаточные деформации основной площадки земляного полотна должны соответствовать следующим требованиям:

максимальная накопленная остаточная деформация основной площадки при безбалластной конструкции за весь срок ее полезного использования должна обеспечить возможность устранения просадок за счет регулировки креплений и не превышать 15 мм;

максимальная накопленная остаточная деформация основной площадки при ВСП на балласте не должна превышать 100 мм за 25 лет эксплуатации при интенсивности не более 10 мм в год.

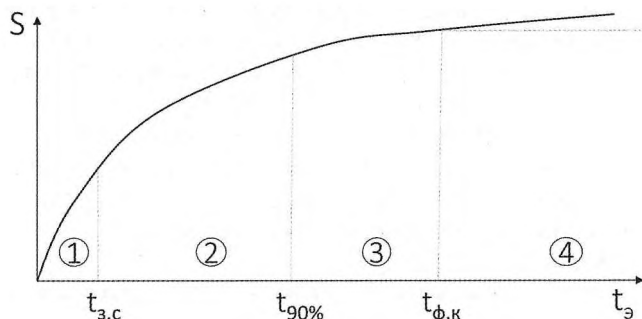
Это означает, что при выполнении расчетов обязательным становится учет вторичной консолидации (ползучести). Однако в нормативных документах такие методики учета ползучести практически отсутствуют. Исключением является Методика расчета осадки земляного полотна железнодорожного пути [3], разработанная под руководством Е.С. Ашпица в 2022 г., которая позволяет выполнить расчеты во времени (с учетом ползучести) как численно, так и аналитически.

## Принцип проектирования

В общем виде процесс проектирования остается прежним, отличия предлагаемого подхода заключаются в выполнении геотехнического расчетного обоснования проектного решения. Особые требования к проектированию отражаются на выполнении расчетов.

Как справедливо указано в [4] в железнодорожной отрасли вопросам консолидации, а тем более ползучести, уделяется очень мало внимания.

Для принятия проектного решения необходимо оценить длительность осадки во времени, причем с учетом ползучести. Ввиду сложности расчетов консо-



**Рис. 1. График протекания осадки во времени:**  
1 — строительство насыпи; 2, 3 — первичная фильтрационная консолидация; 4 — вторичная консолидация (ползучесть);  $t_{z.c}$  — время завершения строительства;  $t_{90\%}$  — время готовности к эксплуатации;  $t_{ф.к}$  — время завершения фильтрационной части консолидации;  $t_э$  — время полезного использования для безбалластной конструкции или нормативное время эксплуатации для балластной





Рис. 2. Блок-схема для принятия решения о необходимости свайного основания

лидации, наиболее приемлемым инструментом является метод конечных элементов (МКЭ), хорошо зарекомендовавший себя в геотехнике.

По полученным результатам строится график зависимости протекания осадки во времени, показанный на рис. 1.

Критерием достижения фильтрационной части консолидации может быть как непосредственно время  $t_{ф.к}$ , так и достижение 90 % фильтрационной осадки, снижение интенсивности до установленного нормами [1] значения и др. Это связано с существенным увеличением времени консолидации по мере приближения к значению  $t_{ф.к}$  и незначительным приростом деформаций, которыми можно пренебречь. Расчет времени завершения фильтрационной части консолидации позволяет проектировщику назначить срок начала эксплуатации.

После завершения фильтрационной консолидации достигается осадка, которую можно считать условной стабилизированной, но не окончательной. Именно эта осадка ограничивается нормами по проектированию не скоростных железных дорог в [1].

Для принятия решения о необходимости устройства свайного основания (в виде насыпи со свайным фундаментом или эстакады) рекомендуется пользоваться алгоритмом, приведенным на рис. 2.

Ход действий следующий:

1) на основе выполненного расчета консолидации определено время завершения фильтрационной части  $t_{ф.к}$ . Если это время превышает директивное, назначенное для выдержки земляного полотна от момента завершения строительных работ до начала запуска движения, то в этом случае однозначно рекомендуется устройство свайного основания (эстакада);

2) в противном случае необходимо оценить протекание осадки во времени, сопоставляя ее с критериями

нормативных документов [1]. Например, для безбалластной конструкции осадка за 100 лет не должна превышать 15 мм. Для этого рассчитывают осадку с учетом ползучести  $S_{пз}$  и сравнивают с указанным критерием, на основе чего выбирают конструкцию.

Стоит отметить, что кроме варианта строительства на свайном основании или на эстакаде есть и другие способы минимизации влияния ползучести. В частности, в дорожной практике хорошо себя зарекомендовали ленточные геосинтетические дрены, устраиваемые вертикально в слабой толще и обеспечивающие ускорение протекания фильтрационной части консолидации. Комбинирование такой системы вертикального

дренирования с другими мероприятиями позволяет достигать наибольшей эффективности. Предлагается использовать в конструкции насыпи следующие элементы:

ленточные дрены, предназначенные для упрочнения грунта и ускорения сроков консолидации;

временный пригруз, способствующий принудительному деформированию слабого слоя, что дает возможность минимизировать или исключить остаточные деформации. Наличие дрен делает временный пригруз намного эффективнее;

армирование, обеспечивающее устойчивость до начала работы ленточных дрен, а также увеличивающее (по расчету) высоту пригруза.

Расчеты эффективной конструкции стабилизации слабого основания и повышения устойчивости насыпей рекомендуется выполнять по [3, 5]. Такой подход гарантирует удовлетворительную сходимость с результатами мониторинга. К преимуществам этой конструкции можно отнести:

обеспечение устойчивости насыпи при быстром темпе отсыпки, а также при любом требуемом (определяется расчетом) темпе отсыпки на нестабилизированное основание, используя армирующую прослойку;

ускорение сроков консолидации за счет устройства ленточных дрен в основании, обеспечивающих более быстрый отток порового давления;

консолидация грунтов кроме сокращения сроков приводит к естественному упрочнению и повышению устойчивости насыпи и стабильности основания;

использование временного пригруза обеспечивает снижение влияния ползучести (вторичной консолидации), что особенно важно для ВСМ, из-за ограничения осадки за длительное время.

(Окончание в следующем номере)



# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПУТИ С ПОДШПАЛЬНЫМИ ПРОКЛАДКАМИ



ГРЕЧАНИК А.В., Российский университет транспорта (МИИТ),  
канд. техн. наук,  
ДЫЛЁВ Е.О., Российский университет транспорта (МИИТ),  
аспирант

**Аннотация.** В статье приведена историческая справка о роли упругих слоев в конструкции железнодорожного пути для предотвращения интенсивного накопления остаточных деформаций балластным слоем, представлены результаты измерения параметров напряженно-деформированного состояния пути, дана оценка изменению его состояния при использовании подшпальных прокладок вне зоны механических и сварных стыков. В заключении сделано предположение об эффективности подшпальных прокладок.

**Ключевые слова:** подшпальные прокладки, напряженно-деформированное состояние железнодорожного пути, эксплуатационные испытания.

**Проблема остаточных деформаций пути.** На сегодняшний день протяженность особо грузонапряженных линий на сети ОАО «РЖД» составляет 17000 км. Одна из основных проблем эксплуатации таких линий — обеспечение стабильности геометрии рельсовой колеи, в том числе в вертикальной плоскости, которая во многом зависит от состояния подшпального основания и в том числе от величины остаточной деформации балластного слоя.

Понятно, что причиной накопления остаточных деформаций в балласте в процессе эксплуатации является динамическое воздействие поездов на путь [1], которое тем сильнее, чем выше жесткость верхнего строения. Примером увеличения жесткости пути является переход с деревянных шпал на железобетонные. Такое изменение конструкции повлекло за собой повышение динамического воздействия поездов на путь и, соответственно, рост интенсивности накопления остаточных деформаций в балластном слое [2].

Под руководством профессора Г.М. Шахунянца в МИИТе были проведены исследования по оценке влияния подрельсовых прокладок на сокращение остаточных деформаций в балластном слое. Результат показал, что введение в конструкцию пути с железобетонными шпалами упругого материала позволяет уменьшить напряжения в балласте, приближая их к уровню, близкому к значениям при деревянных шпалах [3].

Но с ростом интенсивности движения поездов, а также со значительным повышением осевых нагрузок до 27 тс, наличия только подрельсовых прокладок для регулирования напряжений, передающихся на балластный слой, оказалось недостаточным. Для уменьшения деформативности балласта потребовались дополнительные меры.

За рубежом на ряде участков снижение напряжений в балластном слое достигается за счет примене-

ния подшпальных прокладок (далее — ПШП) [4]. В России исследования эффективности ПШП проводятся с середины XX в. [5–7], но в основном они были направлены на обеспечение стабильности пути в стыковых зонах. В частности, в работе В.Н. Каплина [8] подтверждена технико-экономическая эффективность применения ПШП при выправке пути в стыках.

На современном этапе повышения поездной нагрузки на путь необходимо исследовать вопрос эффективности применения ПШП и вне зоны стыков.

**Условия и цель испытаний.** Ввиду вышеизложенного было принято решение о проведении эксплуатационных испытаний пути с подшпальными прокладками вне стыков в прямом участке на перегоне Бисертский завод — Солдатка по 1 главному пути Горьковской дороги. Здесь в 2019 г. при капитальном ремонте были уложены шпалы с подшпальными прокладками.

В эксперименте исследовали два участка пути: опытный (с ПШП) и контрольный (без ПШП). Длина каждого участка составляла 200 м.

На опытном участке уложены шпалы с ПШП мягкого типа из полиуретанового материала, у которых номинальный распределенный статический модуль упругости при толщине 10 мм составлял 0,14 Н/мм<sup>3</sup>. Фиксация ПШП на нижних постелях шпал была осуществлена посредством клеевого слоя на базе ПМС-125. Перевернутая железобетонная шпала с ПШП представлена на рисунке.



Шпала с ПШП



Таблица 1  
Параметры напряженно-деформированного состояния пути

Рельсовая нить пути	Без ПШП		С ПШП	
	Среднее значение	СКО	Среднее значение	СКО
Вертикальные силы, измеренные методом Шлюмпфа, кН				
Левая	133,0	26,0	112,1	17,1
Правая	137,6	12,4	117,2	15,6
Вертикальные перемещения рельса, мм				
Левая	1,3	0,09	1,9	0,15
Правая	1,7	0,13	1,9	0,13
Вертикальные перемещения шпал в подрельсовом сечении, мм				
Левая	0,5	0,04	0,9	0,07
Правая	0,6	0,06	0,8	0,07
Напряжения на ОПЗП, кПа				
Правая	64,1	6,4	46,1	4,1

Примечание. СКО — среднеквадратическое отклонение измеренных значений.

Целью эксплуатационных испытаний являлось выяснение степени изменения напряженно-деформированного состояния пути с подшпальными прокладками относительно типовой конструкции. Для достижения поставленной цели необходимо было определить параметры опытного и контрольного участков, а именно: вертикальные силы, прогибы рельсов, вертикальные перемещения шпал в подрельсовой зоне, напряжения на основной площадке земляного полотна (далее — ОПЗП). Для этого были проведены их измерения не менее чем под 10 грузовыми поездами.

Существует два метода измерения вертикальных сил, действующих от подвижного состава на рельс: метод Шлюмпфа и РЖД-2016. В статье [9], посвященной сравнительному анализу этих двух методов измерений, авторы приходят к заключению, что при определении вертикальных сил можно использовать оба метода, так как отличие между ними составляет не более 10 %.

Поскольку метод Шлюмпфа требует меньшего количества тензорезисторов и каналов для записи сигнала, а также позволяет обойтись без дополнительной математической обработки полученных результатов, измерения вертикальных сил проводились данным методом.

Прогибы рельсов и вертикальные перемещения шпал определяли при помощи датчиков, установленных на металлические сваи, которые забивали в земляное полотно через балластную приз-

Таблица 2  
Расчетные значения модуля упругости подрельсового основания и напряжения на ОПЗП

Рельсовая нить пути	Без ПШП	С ПШП
Модуль упругости пути, МПа		
Левая	65	33
Правая	48	34
Напряжения на ОПЗП, кН		
Левая	63,9	47,6
Правая	61,9	49,4

му. Напряжения на ОПЗП измеряли при помощи месдоз, уложенных под подрельсовой площадкой шпал.

**Результаты эксплуатационных испытаний.** Значения измеренных параметров напряженно-деформированного состояния пути приведены в табл. 1. Для оценки их адекватности были определены расчетные величины модуля упругости подрельсового основания и напряжений на ОПЗП по Методике оценки воздействия подвижного состава на путь [10] при известной динамической нагрузке и известным вертикальным перемещениям рельса. Результаты расчета представлены в табл. 2.

**Анализ результатов.** Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

вертикальная сила на пути с ПШП уменьшилась на 15 % относительно типовой конструкции;

прогиб рельса на участке с ПШП увеличился на 27 %;

вертикальное перемещение шпал в подрельсовом сечении на участке с ПШП увеличилось на 55 %;

уменьшение напряжений на ОПЗП составило 28 %, при этом отличие расчетных значений напряжений от измеренных составляет менее 8 %, что говорит об адекватности измеренных параметров;

уменьшение модуля упругости рельсового основания составило около 23 %.

**Заключение.** В результате эксплуатационных испытаний установлено, что применение ПШП позволяет снизить модуль упругости пути и напряжения на ОПЗП, что напрямую связано с пропорциональным снижением напряжений в балласте под шпалой.

Следует ожидать, что применение ПШП даст возможность повысить стабильность пути в вертикальной плоскости за счет уменьшения остаточных деформаций балластного слоя не только в зоне сварных и механических стыков, но и по всей длине рельсовой колеи. Для проверки данной гипотезы следует провести анализ ежемесячных проходов путеизмерительного вагона КВЛП по пути с ПШП и без них при помощи программы Stabway.

#### Список источников

1. Лысюк В.С., Сазонов В.Н., Башкатова Л.В. Прочный и надежный железнодорожный путь. М.: Академкнига, 2003. 589 с.: ил.
2. Федюлов В.Ф. О накоплении остаточных деформаций щебеночной призмы на пути с железобетонными шпалами // Стабилизация щебеночного основания железнодорожного пути. М.: Трансжелдориздат, 1961. С. 107–115. (Труды ВНИИЖТ; вып. 217).
3. Шахунянец Г.М. Как обеспечить необходимую упругость пути с железобетонными шпалами // Путь и путевое хозяйство. 1965. № 4. С. 32–35.
4. Подшпальные подкладки в пути на балласте // Железные дороги мира. 2011. № 8. С. 74–77.
5. Шафрановский А.К. Выправка пути в заключительной стадии стабилизации щебеночной призмы // Стабилизация щебеночного основания железнодорожного пути. М.: Трансжелдориздат, 1961. С. 171–198. (Труды ВНИИЖТ; вып. 217).



# РЕЗУЛЬТАТЫ УСИЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

ЛЕСОВ К.С., Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ), канд. техн. наук,  
БОНДАРЕНКО А.А., Самарский государственный университет путей сообщения, докт. техн. наук,  
АБДУЖАБАРОВ А.Х., ТГТрУ, докт. техн. наук, проф, КЕНЖАЛИЕВ М.К.-УГЛИ, ТГТрУ, докторант

В современных условиях строительства и эксплуатации железных дорог Узбекистана все более актуальным становится внедрение ресурсосберегающих технологий, продлевающих срок службы технических средств. Развитие и совершенствование пути может быть обеспечено при эксплуатационной стабильности его несущего основания — земляного полотна [1].

Обеспечивать стабильность основной площадки особенно важно на линиях со скоростным и высокоскоростным пассажирским движением. При этом основное внимание ученые уделяют совершенствованию конструкции и способов усиления земляного полотна [2–5].

Одним из перспективных и широко используемых в транспортном строительстве способов является применение геосинтетических материалов различных видов (геотекстиля, геосетки, георешетки, геоячейки, геомембраны, геоматы, геокompatиты) (рис. 1).

В целях повышения стабильности пути на экспериментальном участке был уложен геотекстиль. Он хорошо воспринимает высокие растягивающие усилия при небольшом удлинении, поэтому применяется при земляных работах, текущем обслуживании и ремонте пути, а также при необходимости устройства армирующей и разделяющей прослойки [3, 4].

На дорогах общего пользования Узбекистана с грунтовым земляным полотном (более 99 % протяжения

пути) верхнее строение с балластным слоем является единственной конструкцией, подходящей как по техническим, так и по экономическим показателям. От конструкции и качества балластного слоя зависят общее состояние пути, уровень допустимых скоростей движения поездов, сроки службы всех элементов верхнего строения, затраты на текущее содержание пути и вся система его ремонтов.

На участках с неустойчивой основной площадкой при недостаточной толщине балластной подушки, а также при проникновении мелких частиц в нижние слои щебеночного балласта с образованием выплесков земляное полотно усиливают с помощью геотекстиля либо прослойки из пенополистирольных плит.

Состояние пути, характеризующееся положением колеи по уровню, в продольном профиле и плане, в значительной мере зависит от стабильности земляного полотна и балластного слоя. Влияние подвижной нагрузки на несущую способность подшпаль-

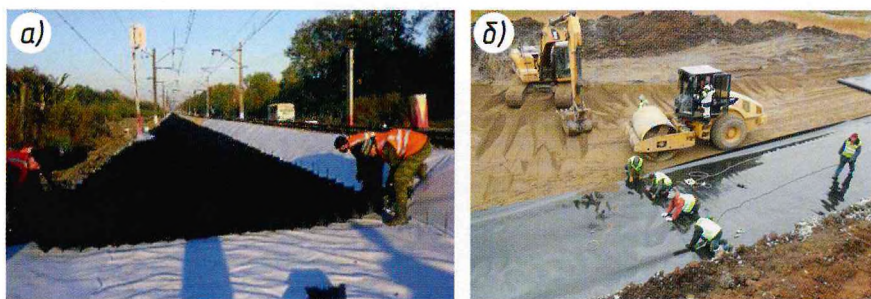


Рис. 1. Усиление земляного полотна геосинтетическими материалами:  
а — укладка георешетки; б — укладка геомембраны

6. Барабошин В.Ф. Повышение стабильности пути в зоне рельсового стыка. М.: Транспорт, 1978. 46 с.

7. Желнин Г.Г., Кузнецов В.В. Снижение динамического воздействия на путь в стыках // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: труды Третьей научно-практической конференции. М.: МИИТ, 2000. С. VI–10.

8. Каплин В.Н. Текущее содержание пути в зоне рельсовых стыков на особо грузонапряженных линиях с приме-

нием упругих подшпальных прокладок: дис. канд. техн. наук: 2.9.2 / Место защиты: РУТ (МИИТ). М., 2022. 126 с.

9. Об измерении сил, действующих на рельс / А.В. Замуховский, А.В. Гречаник, Е.Е. Иванникова, Е.А. Кузнецова // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 2. С. 22–24.

10. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 № 2706р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».

## TEST IN SERVICE OF THE TRACK WITH UNDER SLEEPER PADS

**Grechanik Alexandr** — Ph.D, Associate Professor, Department of Track and Track Management, Russian University of Transport (MIIT). Moscow, Russian. grech84@mail.ru

**Dylev Egor** — aspirant Department of Track and Track Management, Russian University of Transport (MIIT). Moscow, Russian. dylev.egor@mail.ru

**Abstract.** The article provides historical information on the role of elastic layers in the construction of a railway track in the fight against the intensive accumulation of residual deformations by the ballast layer, the results of measuring the parameters of the stress-strain state of the track are presented, an assessment is given of the change in the stress-strain state of the track with under sleeper pads relative to a typical structure outside the zone of mechanical and welded joints, in conclusion, a hypothesis about the effectiveness of the under sleeper pads.

**Keywords:** under sleeper pads, stress-strain state of the track, test in service.



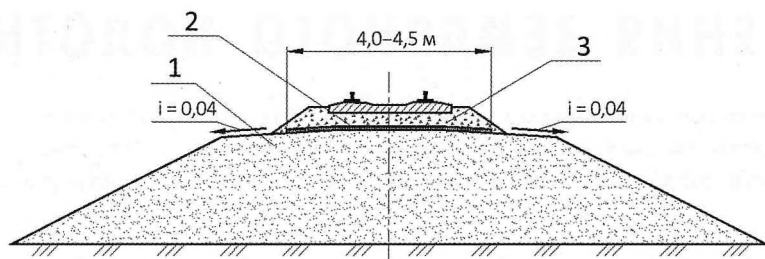


Рис. 2. Поперечный профиль земляного полотна с укладкой геотекстиля на основную площадку:

1 — земляное полотно; 2 — геотекстиль для разделения балластного слоя и земляного полотна; 3 — балластный слой (0,4 м — щебень)

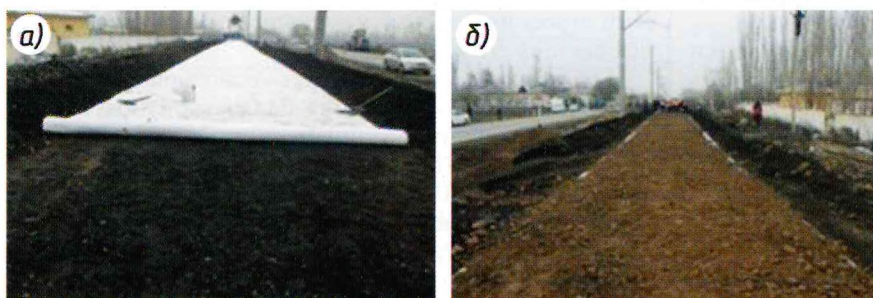


Рис. 3. Усиление основной площадки земляного полотна покрытием из геотекстиля:

а — укладка геотекстиля на основную площадку; б — разравнивание и планирование слоя песчано-гравийной смеси

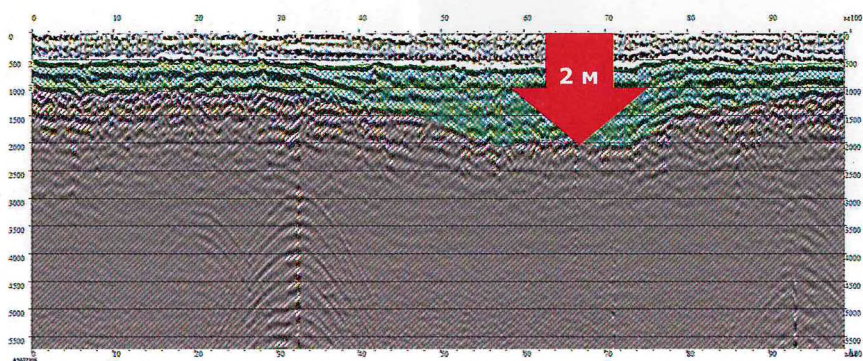


Рис. 4. Радарограмма перегона Коканд–Бувайда до укладки защитного слоя (2022 г.)

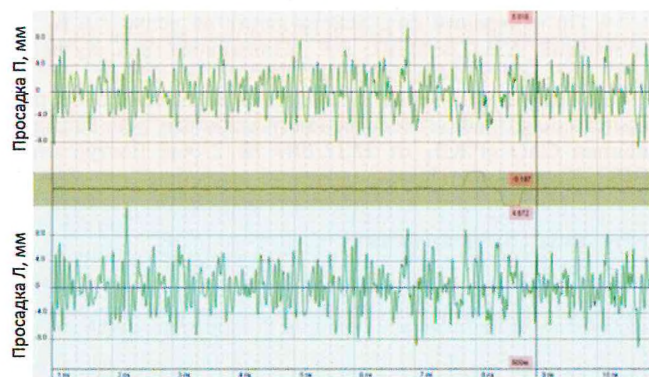


Рис. 5. Результаты измерений просадок пути перегона Коканд–Бувайда

ного основания особенно неблагоприятно сказывается на участках с интенсивным загрязнением пути.

Из-за снижения несущей способности основания вследствие загрязнения щебня и засорителей в балласте возрастает интенсивность расстройств пути по уровню и в продольном профиле.

Покрытия из геотекстиля укладывают на глубине не менее 40 см от нижней постели шпал в сечении под внутренней нитью с уклоном 0,04 в полевую сторону (рис. 2). Срезка обочин ниже покрытий для отвода с них воды обязательна. Непосредственно на покрытия допускается укладывать очищенный щебень.

Экспериментальное устройство покрытий из геотекстиля выполнено на 19–21 км перегона Коканд–Бувайда Кокандской дистанции пути (рис. 3). Высота насыпи составила 1–5 м, грунты — в основном супеси и суглинки.

На перегоне Коканд–Бувайда выполнен мониторинг геометрии рельсовой колеи до и после усиления основной площадки (рис. 4–6). Из рис. 4 следует, что на одном из пикетов наблюдались осадки грунта до 2 м на длине примерно 600 м. При этом зафиксировано три просадки по правой нитке и пять — по левой (см. рис. 5). Анализ результатов показал, что в среднем за каждый месяц 2022 г. на 1 км пути выявлено 63 отступления от допустимых норм (рис. 7). Из них в среднем на каждом километре обнаружено по три отклонения III степени в месяц, что влечет за собой значительное ограничение скорости.

Мониторинг же в первый месяц эксплуатации участка после усиления с использованием геотекстиля показал улучшение геометрии рельсовой колеи (см. рис. 6).

Итого в среднем за месяц на 1 км пути было выявлено 20 отступлений геометрии рельсовой колеи от допустимых норм. Из них только одно отклонение имеет III степень, которая влечет за собой значительные ограничения скорости.

Отдельно проведен мониторинг состояния пути и отклонения колеи по просадкам. Так, до устройства покрытий выявляли в среднем семь отступлений в месяц на каждом километре пути перегона Коканд–Бувайда. После усиления основной площадки на экспериментальном участке данный показатель уменьшился до четырех (рис. 7).



Сравнение среднего количества просадок на экспериментальном участке и смежных с ним участках без усиления основной площадки геотекстилем показало, что на участках без усиления выявлено в среднем 13 отступлений по просадкам, что в три раза больше, чем на участке с усилением основной площадки (рис. 7–9).

## Выводы

1. Анализ результатов мониторинга отклонений геометрических параметров рельсовой колеи от нормативных значений показал, что после усиления основной площадки земляного полотна количество неисправностей уменьшается до 70 %.

2. Сравнение среднего количества просадок пути на экспериментальном участке (с усилением основной площадки) и смежных с ним участках без усиления показало уменьшение количества просадок примерно в три раза.

## Список источников

1. Ашпиз Е.С. Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог: монография. М.: Путь-пресс, 2002. 112 с.

2. Грицык В.И. Противодеформационные конструкции земляного полотна дорог: учеб. пособие. М.: Маршрут, 2003. 96 с.

3. Анализ способов повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна / Л.С. Блажко, С.Н. Чуян, В.Б. Захаров, Е.В. Черняев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. Т. 13, № 3 (48). С. 328–336.

4. Повышение устойчивости земляного полотна, возводимого из барханных песков / А.А. Бондаренко, К.С. Лесов, М.Х. Мехмонов, Ш.А. Таджибаев, М.К. Кенжалиев // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 1(97). С. 50–55.

5. Лесов К.С., Абдужабаров А.Х., Кенжалиев М.К. Технология усиления основной площадки земляного полотна в зонах рельсовых стыков с применением геотекстиля // Известия Транссиба. 2022. № 4 (52). С. 106–114.

6. Stability of the embankment of fine sand reinforced with geosynthetic materials / K.S. Lesov, M.K. Kenjaliyev, A.Kh. Mavlanov, Sh.M. Tadjibaev // International Scientific Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2021). 2021. Vol 264. Art. No 02011. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402011>.

7. Технические указания на применение пенополистирола и геотекстиля при усилении основной площадки земляного полотна без снятия рельсошпальной решетки / МПС. М., 1999. 38 с.

8. Кенжалиев М.К. Методы усиления земляного полотна железных дорог // Scientific progress. 2022. Т. 3, № 1. С. 1044–1050.

9. Лесов К.С., Кенжалиев М.К., Таджибаев Ш.А. Определение устойчивости насыпи земляного полотна железных дорог, возведенного из мелких песков // Сборник тезисов Международной научно-технической конференции «Глобальное партнерство — как условие и гарантия устойчивого развития». Т.2. Ташкент: Vneshinvestprom, 2019. С. 248–252.

10. Расчет устойчивости насыпи и укрепление откосов земляного полотна с использованием геосинтетических материалов / К.С. Лесов, Ш.А. Таджибаев, А.Х. Мавланов, М.К. Кенжалиев // Транспорт Шелкового пути. 2021. №. 1. С. 78–83.

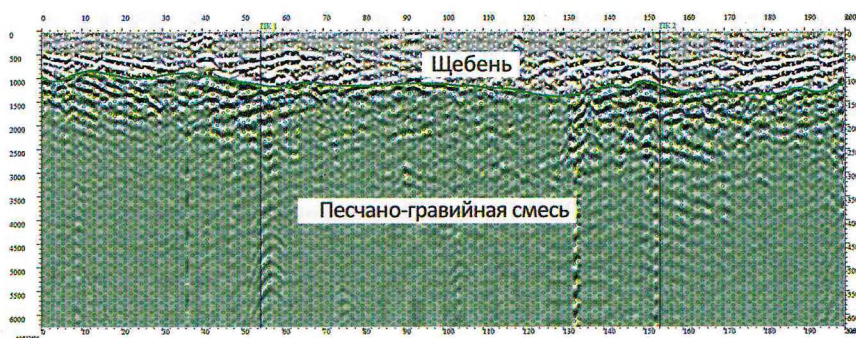


Рис. 6. Радарограмма перегона Коканд–Бувайда после укладки защитного слоя

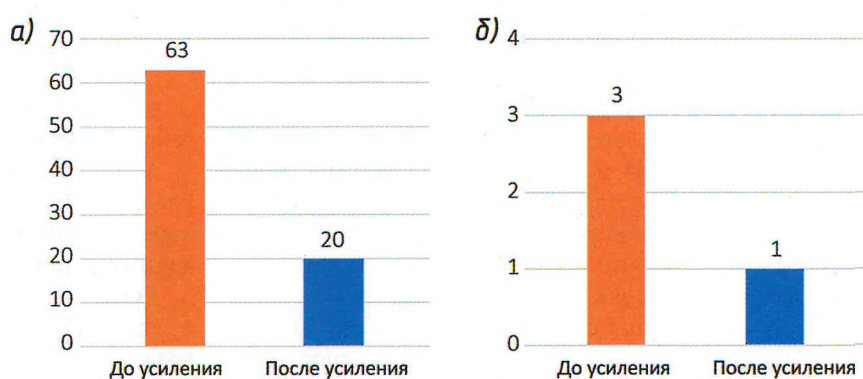


Рис. 7. Среднее количество всех отступлений (а) и отступлений III степени (б) в месяц на 1 км пути на экспериментальном участке



Рис. 8. Среднее количество отступлений по просадкам в месяц на 1 км пути на экспериментальном участке



Рис. 9. Среднее количество отступлений по просадкам в месяц на 1 км пути после усиления



# К ВОПРОСУ О ПЛАВНОСТИ ХОДА И КОМФОРТЕ ПРОЕЗДА ПассажиРОВ

КОЛЕСНИКОВ К.В., ООО «Алгоритм С», генеральный директор,  
ПРОХОРОВ В.М., ООО «Алгоритм С», технический эксперт, канд. техн. наук,  
ШАПЕТЬКО К.В., ООО «Алгоритм С», руководитель отдела цифровых решений для путевого комплекса,  
канд. техн. наук, МАКСИМОВ И.Н., ООО «Алгоритм С», главный научный сотрудник, канд. техн. наук

**Аннотация.** Рассмотрены некоторые положения основных нормативов, регламентирующих показатели комфорта проезда пассажиров на железнодорожном транспорте. Авторы обращают внимание на несостыковки в части подмены понятия «комфорт проезда пассажиров» на «плавность хода». На основании анализа требований, а также результатов испытаний представлен ряд предложений по внесению изменений в действующую нормативную документацию.

**Ключевые слова:** подвижной состав, вибрация, комфорт проезда пассажиров, геометрия рельсовой колеи, плавность хода.

При современном уровне развития транспортной инфраструктуры решающим фактором при выборе пассажиром средства передвижения становится комфорт поездки (без учета цены за проезд).

Из всех параметров комфорта, помимо длительности поездки, эргономики сидений, влажности и температуры воздуха, удаленности вокзалов, наличия интернета и доступности питания, особую значимость приобретает уровень вибраций транспортного средства.

Согласно [1] основными параметрами, нарушающими комфорт поездки, являются продолжительность, частота и интенсивность определенных видов вибрации.

Стоит обратить внимание, что при эксплуатации поезда Velaro RUS «Сапсан» на линии Санкт-Петербург—Москва Октябрьской железной дороги основной, непрерывно действующей на поезде, была система контроля устойчивости хода (КУХ) [2], которая отвечала за контроль устойчивости тележки и безопасность движения поезда и не оценивала комфорт поездки в штатном режиме. Однако система КУХ фиксировала возмущения в поезде за счет алгоритма накопительного характера [3], что не позволяло устанавливать причинно-следственные связи с отступлениями геометрии рельсовой колеи.

Для оценки комфорта поездки и реакции подвижного состава на отступления рельсовой колеи была разработана и внедрена система непрерывного контроля показателей динамической системы экипаж—путь [4]. Проект реализован ВНИИЖТом, специалисты которого с 2009 по 2020 г. обеспечивали научный инжиниринг по вводу и эксплуатации всей линейки скоростных и высокоскоростных поездов («Сапсан», «Ласточка», «Стриж», «Аллегро») на сети.

В ходе работы на основании полученных результатов сформированы рекомендации о необходимости:

выявления участков с повышенным воздействием на пассажирские поезда, основываясь на взаимосвязи неровностей пути в плане и профиле с показателями динамики;

определения и фиксации повышенных уровней ускорений в поездах, вызывающих дискомфорт пассажиров.

В настоящее время в рамках контроля и оценки плавности хода поездов и уровня комфортности проезда пассажиров ОАО «РЖД» руководствуется следующими основными нормативными документами:

ГОСТ 31191.1—2004 (ИСО 2631-1:1997) «Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования» (далее — ГОСТ);

СТО РЖД 03.005-2019 «Услуги на железнодорожном транспорте. Метод оценки влияния ускорений на комфорт пассажиров в поездах», утвержденный Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.01.2019 № 43/р (далее — СТО);

Инструкция оценки состояния скоростных и высокоскоростных участков пути по критериям плавности хода, утвержденная Распоряжением ОАО «РЖД» от 22.01.2019 № 93/р (далее — Инструкция);

Регламент диагностики и мониторинга плавности хода и комфортности проезда пассажиров на участках обращения скоростных и высокоскоростных поездов, утвержденный Распоряжением Центральной дирекции инфраструктуры от 12.10.2019 № ЦДИ-897/р (далее — Регламент);

Методика проверки плавности хода и комфортности пассажиров с помощью портативного акселерометра, утвержденная Распоряжением Центральной дирекции инфраструктуры от 27.07.2020 № ЦДИ-603/р (далее — Методика);

Порядок действий при выявлении и устранении повторных мест с нарушением плавности хода поездов, выявленных портативным акселерометром «АКСИОМА», утвержденный Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.01.2022 № 1028/р;

Алгоритм организации работы на эталонном участке высокоскоростной линии Санкт-Петербург—Москва Октябрьской железной дороги для проведения измерений показателей плавности хода», утвержденный Распоряжением ОАО «РЖД» от 16.01.2024 № 81/р (далее — Алгоритм).



Первоначальная цель введения этих нормативных документов — оценка влияния ускорений на уровень комфорта пассажиров — сейчас интерпретируется как дополнительная оценка состояния пути по обеспечению плавности хода и комфортности пассажиров. Сравнение требований данных документов свидетельствует о необходимости внесения уточнений в ряд положений, а также приведения нормативов к единой редакции для исключения ошибок, неточностей и разночтений.

В частности, введенный в 2019 г. Инструкцией и используемый до настоящего времени термин «плавность хода» и все требования, связанные с его оценкой, должны быть исключены из приведенных выше документов, так как плавность хода относится к вопросам технического регулирования в соответствии с положениями Технических регламентов Таможенного Союза ТР ТС 001/2011 и ТР ТС 002/2011. Нормативно оценка плавности хода выполняется при сертификации новых или после модернизации эксплуатируемых подвижных единиц.

Плавность хода по сравнению с критериями комфорта характеризует динамические свойства подвижного состава и определяется по другим алгоритмам согласно положениям ГОСТ Р 55513—2013 «Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам», ГОСТ 33796—2016 «Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам», ГОСТ 34093—2017 «Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам» и т. д.

Приведем ряд положений из ОСТ 24.050.16-85 «Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода», в которых подробно и точно определены термины, а также предназначение и методология проведения испытаний:

«Плавность хода измеряется в условных единицах показателя плавности хода, являющегося характеристикой ходовых качеств вагона и зависящего от интенсивности и спектрального состава колебаний вагона. Оценка плавности хода производится для порожних и груженых вагонов во всем диапазоне эксплуатационных скоростей, через 10–20 км/ч, вплоть до конструкционной скорости. Техническое состояние участков пути должно соответствовать хорошей оценке по методам контроля, принятым на железнодорожном транспорте, и обеспечивать движение испытываемого подвижного состава с конструкционной скоростью». При этом длительность измерений в каждом диапазоне скоростей должна составлять не менее 200 с.

Таким образом, плавность хода подвижного состава, а также все требования и мероприятия, связанные с ней, целесообразно отделить от оценки комфорта пассажиров, а последующую корректировку документов рассматривать и приводить именно к оценке состояния пути по показателям комфорта пассажиров в

поездке. Кроме того, необходимо скорректировать область действия указанных документов.

Действие Инструкции в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 11.08.2022 № 2081/р «распространяется на участки пути линий специализаций “высокоскоростная железнодорожная линия” (В), “скоростная железнодорожная линия” (С), “железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением” (П), где пассажирские поезда движутся со скоростью от 120 до 250 км/ч».

В свою очередь, Регламент «определяет порядок диагностики и мониторинга плавности хода и комфортности проезда пассажиров на участках обращения скоростных и высокоскоростных поездов».

Согласно Распоряжению ОАО «РЖД» от 27.07.2020 № ЦДИ-603/р «действие Методики распространяется на участки пути линий специализаций “высокоскоростная железнодорожная линия” (В) и “скоростная железнодорожная линия” (С), где пассажирские поезда движутся со скоростью более 140 до 250 км/ч».

Для приведения к единой редакции в соответствии с Алгоритмом предлагается ввести унификацию типов подвижного состава в диапазонах скоростей:

высокоскоростных поездов — от 201 до 250 км/ч;

скоростных — от 141 до 200 км/ч;

пассажирских — от 101 до 140 км/ч.

Данная унификация будет учитываться в перечисленных документах.

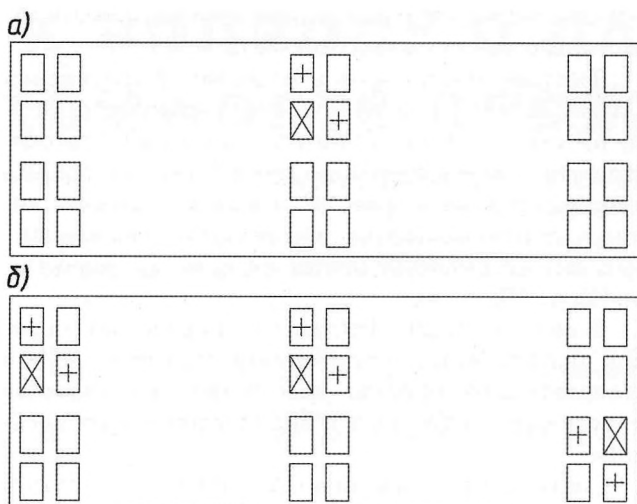
Согласно СТО: «Участки пути и подвижной состав для определения влияния ускорений на комфорт назначаются заказчиком. Оценка влияния ускорений на комфорт пассажиров должна проводиться при различных эксплуатационных скоростях транспортного средства, включая максимальную реализуемую скорость».

Методикой и Инструкцией предписывается: «Измерения должны выполняться при максимально установленных скоростях движения поездов на участке; при расшифровке данных особое внимание нужно уделять фактической скорости движения поездов, при которой выполнены измерения. При выполнении проверки ниже установленных скоростей движения поездов должен быть выполнен перерасчет ускорений под установленные скорости».

В других нормативных документах данный вопрос не рассматривается.

Для качественного перехода на новый уровень системы диагностики и мониторинга следует оборудовать комплексами измерения комфорта проезда пассажиров весь парк подвижного состава, предназначенного для пассажирских перевозок, на заданном направлении и производить оценку на постоянной основе. Такой подход позволит не только оценивать техническое состояние подвижного со-





Размещение измерительных датчиков в центре вагона (а) и в трех его точках (б):

«X» — место размещения преобразователя для измерения вибраций; «+» — место размещения датчиков для измерения угла крена и угла продольного наклона кузова

става, но и плавно перейти к предиктивной диагностике состояния пути по показателям комфорта пассажиров.

Требованиями ГОСТ предписывается измерять вибрацию «в направлении осей системы координат с центром в точке контакта тела человека с вибрирующей поверхностью. Датчик должен быть размещен в точке, где вибрация передается на тело человека. Рекомендуются следующие точки измерений:

Шкала показателей постоянного комфорта в зависимости от вибрации,  $\text{м/с}^2$

Положение «сидя по (против) направлению движения»	
$C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,20$	Очень комфортно
$0,20 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,30$	Комфортно
$0,30 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,40$	Пограничное ощущение
$0,40 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t)$	Менее комфортно
Положение «сидя поперек направлению движения»	
$C_{cx}(t), C_{cz}(t) < 0,20$	Очень комфортно
$0,20 \leq C_{cx}(t), C_{cz}(t) < 0,30$	Комфортно
$0,30 \leq C_{cx}(t), C_{cz}(t) < 0,40$	Пограничное ощущение
$0,40 \leq C_{cx}(t), C_{cz}(t)$	Менее комфортно
Положение «лежа по (против) направлению движения»	
$C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,20$	Очень комфортно
$0,20 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,30$	Комфортно
$0,30 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,40$	Пограничное ощущение
$0,40 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t)$	Менее комфортно
Положение «лежа поперек направлению движения»	
$C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,20$	Очень комфортно
$0,20 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,30$	Комфортно
$0,30 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t) < 0,40$	Пограничное ощущение
$0,40 \leq C_{cy}(t), C_{cz}(t)$	Менее комфортно

подушка сиденья — точка под сидалищным бугром сидящего человека;

спинка сиденья — точка, в которой давление тела человека максимально;

опорная поверхность для ног — точка наиболее частого контакта ноги с поверхностью.

Для лежащего человека измерения проводят на опорной поверхности под тазом, спиной и головой. Во всех случаях точки измерений должны быть точно зафиксированы».

В СТО предлагаются два варианта размещения измерительных устройств при проведении измерений (см. рисунок): в одной точке и трех точках вагона. В двухэтажном транспортном средстве измерения проводят на каждом этаже.

В Методике и Инструкции предписывается устанавливать акселерометр в кузове на уровне пола экипажа (на полу):

в пассажирском купе или салоне пассажирского скоростного или высокоскоростного поезда («Сапсан», «Ласточка», «Стриж» и др.) — над центрами масс тележек (или в точках, максимально приближенных к центрам масс);

в кабине машиниста (головной (задней) по ходу движения) — над центрами масс тележек (или в точках, максимально приближенных к центрам масс).

В связи с вариативностью мест установки датчиков требуется выработать единый подход. Для определения наиболее комфортных и некомфортных мест в вагоне предлагается назначать исследования виброускорений, согласно требованиям СТО, в трех точках вагона (см. рисунок, б); для двухэтажного подвижного состава — на каждом этаже. При этом, если спальные места располагаются в два яруса, — для каждого яруса отдельно.

Однако в данном случае на результаты измерений значительное влияние будут оказывать конструктивные особенности самого пассажирского подвижного состава, включая ходовые части, автоцепные устройства, упругие и эргономичные характеристики кресел и спальных мест и т. д.

В целях минимизации указанных конструктивных возмущений и выработки единого подхода наиболее предпочтителен вариант расположения датчиков в кузове последнего по ходу движения вагона на уровне пола экипажа над центрами масс задней тележки.

Запись виброускорений необходимо выполнять и оценивать по каждой оси измерения с фильтрацией записанного сигнала отдельно.

В ГОСТ приведены значения полной вибрации,  $\text{м/с}^2$ , и соответствующая степень комфорта пассажиров в общественном транспорте:

менее 0,315 ..... дискомфорт не ощущается  
0,315–0,63 ..... легкое ощущение дискомфорта  
0,5–1,0 ..... приемлемое ощущение дискомфорта



0,8–1,6.....отчетливое ощущение дискомфорта  
1,25–2,50.....ощущение сильного дискомфорта  
свыше 2.....крайняя степень дискомфорта

В СТО для оценки постоянного комфорта принята шкала показателей  $C_{Cx}(t)$ ,  $C_{Cy}(t)$ ,  $C_{Cz}(t)$  (см. таблицу).

В соответствии с Методикой и Инструкцией уровень комфорта пассажиров зависит от среднеквадратического значения скорректированного виброускорения,  $m/c^2$ :

менее 0,315 ..... комфортно  
0,316–0,630 ..... легкий дискомфорт  
0,64–0,80 ..... чувствительный дискомфорт  
свыше 0,8..... сильный дискомфорт

При анализе показателей комфорта пассажиров, приведенных выше, следует отметить следующие особенности:

в первом случае представлены пересекающиеся диапазоны виброускорений, учитывающие субъективные оценки пассажиров, что не позволяет принять их за оценку состояния пути;

во втором случае (см. таблицу) представлены диапазоны показателей постоянного комфорта с соответствующей оценкой уровня комфорта пассажиров в части влияния ускорений. Однако данные показатели ускорений должны оцениваться и быть зафиксированными на 5-секундных интервалах, что для разных скоростей движения пассажирских поездов не позволит однозначно устанавливать причинно-следственную связь между ускорениями и техническим состоянием пути;

в третьем случае отсутствуют диапазоны 0,315–0,316, 0,63–0,64  $m/c^2$ , а также значение 0,8  $m/c^2$ .

Следовательно, при эксплуатации пассажирского подвижного состава для максимально эффективного использования показателя комфорта пассажиров необходимо более точно обозначить условия и области его применения.

В связи с тем что в соответствии с действующей нормативной документацией расчет показателя комфорта проезда пассажиров должен выполняться во временной области в 5-секундные интервалы, а согласно положений Инструкции в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 11.08.2022 № 2081/р он должен оцениваться попикетно, предлагается разработать единую методику расчета данного по-

казателя, которая позволит определять местоположение отступлений состояния пути на пикете, оказывающих повышенное воздействие на подвижной состав.

Стоит отметить, что после запуска высокоскоростного движения на сети возникла потребность в разработке и совершенствовании нормативной базы. Ведущие специалисты железнодорожной отрасли ни раз предлагали нормативы для определения мест и факторов, влияющих на динамику экипажа [5–7], в том числе на комфорт проезда пассажиров.

#### Список источников

1. ГОСТ 31191.1–2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования. Введ. 01.07.2008. Изм. 01.11.2009. М.: Стандартиформ, 2010.
2. Андреев В.Е. Система контроля устойчивости хода на поезде «Сапсан» // Железнодорожный транспорт. 2015. № 6. С. 59–61.
3. О причинах аварийного срабатывания системы контроля устойчивости хода вагонов ЭВС «Сапсан» / А.М. Бржезовский, В.Е. Андреев, Д.Н. Аршинцев, И.В. Смелянский // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2014. № 2. С. 13–23.
4. Система выявления участков пути с повышенным уровнем воздействия на экипаж скоростного подвижного состава / В.В. Кочергин, Г. Грабнер, И.Н. Максимов, В.О. Певзнер // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2015. № 2. С. 3–8.
5. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении / В.О. Певзнер, О.Ю. Белоцветова, В.В. Третьяков, И.В. Третьяков, К.В. Шапетько // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 12. С. 2–6.
6. О необходимости актуализации нормативов оценки геометрии рельсовой колеи / В.А. Гапанович, В.О. Певзнер, В.В. Кочергин, И.Н. Максимов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2019. № 4 (48). С. 22–27.
7. Шапетько К.В., Третьяков В.В., Максимов И.Н. Комфорт проезда пассажиров как показатель взаимодействия пути и подвижного состава // Известия Транссиба. 2022. № 4 (52). С. 115–123.

#### ON THE ISSUE OF SMOOTH RUNNING AND PASSENGER COMFORT

**Kolesnikov Kirill** — General manager Sinara Algorithm LLC. Moscow, Russia. SPIN-code: 9517-9610. KolesnikovKV@sinara-group.com

**Prokhorov Vladimir** — Ph.D., Technical expert Sinara Algorithm LLC. Moscow, Russia. SPIN-code: 6642-1992.

**Shapetko Kirill** — Ph.D., Head of Digital Solutions for the railway track complex department Sinara Algorithm LLC. Moscow, Russia. SPIN-code: 6848-9103.

**Maksimov Igor** — Ph.D., Chief Researcher Sinara Algorithm LLC. Moscow, Russia. SPIN-code: 6211-1816.

**Abstract.** The article describes some of the provisions of the basic standards governing passenger comfort indicators in railway transport. The authors draw attention to inconsistencies in terms of substituting the concept of passenger comfort for smooth running. Based on the analysis of the requirements, as well as the test results, a number of proposals for amending the current regulatory documentation are presented.

**Keywords:** rolling stock, vibration, passenger comfort, geometry of the rail track, smooth running.



# НЕИСПРАВНОСТИ БЕЗБАЛЛАСТНОГО ПУТИ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ\*

САВИН А.В., АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», докт. техн. наук,  
СОЛОМАТИН Е.В., ООО «Технология 69», генеральный директор

**Аннотация.** В статье приводится анализ зарубежного опыта эксплуатации безбалластного пути для высокоскоростных линий в сравнении с результатами испытаний в России. При обследовании высокоскоростных линий в Китае специалисты обнаружили, что многие дефекты безбалластного пути существенно влияют на долговечность конструкции и безопасность движения. Примечательно, что характерные неисправности, зафиксированные после 10 лет эксплуатации безбалластного полотна в Китае, аналогичны тем, которые можно наблюдать на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» уже после двух лет эксплуатации.

**Ключевые слова:** безбалластный путь, высокоскоростное движение, дефекты, рельсовые скрепления, диагностика.

Механизм образования выплеска из-под плиты основания заключается в выдавливании большого количества мелких частиц из грунта земляного полотна. Если верхний слой основной площадки насыщен водой, то происходит постепенная потеря контакта между бетонным основанием и поверхностью грунта, при этом увеличивается вибрация основания. Необходима откачка воды и жидкой фазы грунта со множеством мелких частиц и заполнение образовавшегося пространства под плитой основания специальным составом LVER, что успешно применяется на ряде участков китайских высокоскоростных линий с БВСП [6]. Нагнетание осуществляют через сквозные вертикальные отверстия, просверленные через путевую плиту и плиту основания. Стоимость такой технологии оздоровления БВСП сопоставима со стоимостью сооружения нового участка пути.

Для профилактики выплеска, конечно, должен быть восстановлен эффективный водоотвод от основной площадки земляного полотна.

В Китае в ряде конструкций БВСП используется асфальтобетон в качестве гидроизоляционного слоя [7, 8]. Практика показала, что асфальтобетон не только обладает отличной гидроизоляцией, но и гасит вибрации, долговечен и экономичен [9, 10, 11]. Из недостатков следует отметить его подверженность растрескиванию, особенно в местах температурных компенсаторов путевых плит.

В [12] указано, что изменения температуры окружающей среды влияют на механические характеристики асфальтобетона больше, чем циклические нагрузки от поездов. Уровень деформации растяжения особенно велик вблизи температурных компенсаторов плитного покрытия. В качестве мероприятий по уменьшению этого явления предлагается дополнительно армировать сеткой пространство под стыками плит.

Более полный свод всех неисправностей БВСП с указанием методов их устранения представлен в таблице.

## Влияние скреплений на дефектность безбалластного пути

Излом элементов рельсовых скреплений достаточно редок для БВСП. Причина, как правило, заключается во внешнем механическом воздействии или избыточном моменте затяжки шурупов. Иногда встречается массовый излом клемм из-за резонансных явлений при совпадении частоты колебаний от высокоскоростного поезда

с собственной частотой колебания клемм [13, 14].

В работе [13] установлено, что клеммы будут резонировать, когда частота вибрации системы «колесо–рельс» (высокочастотное возбуждение) приблизится к собственной частоте колебаний клемм. Причиной дополнительной вибрации, усиливающей этот процесс, выступает волнообразный износ рельсов.

Изучена взаимосвязь между напряженным состоянием упругих скреплений на участках движения со скоростью 300–350 км/ч и параметрами волнообразного износа рельсов. Объяснен механизм динамического разрушения клемм при высокочастотном (580–680 Гц) возбуждении. Оптимизированы геометрические параметры упругих клемм с целью минимизации резонансных явлений. Определены критерии шлифования рельсов во избежание усиления явления резонанса.

В китайском технологическом университете [14] создана трехмерная численная модель взаимодействия высокоскоростного поезда и безбалластного пути при различных вариантах отказов узлов рельсовых скреплений — последовательных (расположенных подряд) односторонних, чередующихся односторонних и последовательных двухсторонних. Среди перечисленных сочетаний расположения дефектных рельсовых скреплений на рельсовой нити наиболее опасно двухстороннее последовательное, т. е. когда узлы скреплений полностью отказывают на нескольких шпалах подряд. Соответственно менее опасен односторонний последовательный и односторонний попеременный варианты выхода скреплений.

Оказывается, по мере увеличения количества вышедших из строя скреплений диапазон влияния резонанса на динамические реакции путевых конструкций расширяется, и выход из строя двух последовательных односторонних скреплений оказывает такое же влияние, как и выход из строя четырех чередующихся односторонних скреплений.

При двухсторонних последовательных отказах скреплений длина пути, подвергающегося дополнительному динамическому воздействию, составляет около 9–11 м перед поврежденным местом и около 4–6 м позади него.

При трех и более последовательно вышедших из строя скреплений вертикальное перемещение рельса начинает превышать предельное значение в 2,5 мм, установленное в соответствующих нормах ВСМ Китая.

\*Окончание. Начало в № 8, 2024 г.



**Классификация дефектов БВСП и методов их устранения**

Тип дефекта	Причины	Последствия	Методы устранения
Отслоение регулировочного слоя. Разрушение регулировочного слоя с образованием зазоров и пустот	Низкое качество раствора для регулировочного слоя. Неравномерная заливка регулировочного слоя. Наличие пустот и попадание в них влаги	Попадание воды в зазор. Разрушение плиты и регулировочного слоя при замерзании-оттаивании. Нарушение положения путевой плиты	Герметизация образовавшегося зазора. Замена разрушенного регулировочного слоя
Трещины гидроизоляционного слоя между путями	Различные коэффициенты температурного расширения поверхностных слоев БВСП и междупутья	Попадание воды в зазор. Разрушение поверхностного слоя междупутья	Герметизация трещины
Перекас путевой плиты (вертикальное смещение в стыке). Разрушение стыка плит	Недостаточная прочность узла соединения плит между собой. Разрушение герметизирующего раствора. Попадание воды. Плохая адгезия герметизирующего раствора и бетона плиты, перекас плиты	Вертикальные неровности рельсовой нити над стыками плит	Устранение причин перекаса плиты. Замена герметизирующего раствора. Дополнительная стяжка плит
Потеря контакта между путевыми плитами и основанием	Неравномерный прогиб путевых плит под поездной нагрузкой. Недостаточная адгезия. Попадание влаги в зазоры между путевыми плитами и основанием	Дальнейшее разрушение при замерзании-оттаивании воды в зазоре	Выбор самоуплотняющегося бетона с хорошей адгезией. Герметизация зазора
Разрушение компенсационного шва	Недостаточный температурный диапазон эластичной работы заполняющего материала	Попадание воды в шов. Разрушение при замерзании-оттаивании	Замена заполняющего материала
Трещины путевой плиты при двухблочной конструкции шпал	Усадка бетона. Преждевременное ослабление регулировочных элементов. Температурные смещения	Постепенное разрушение путевой плиты	Герметизация трещин до 0,3 мм затиркой, более 0,3 мм — долблением канавки с последующей заливкой раствором
Эрозия поверхности путевой плиты	Карбонизация поверхностного щелочного слоя цементного молока на поверхности бетона. Вымывание дождем и ветром. Эрозия	Постепенное разрушение путевой плиты	Покрытие поверхности специальным герметизирующим раствором
Просачивание воды между путевыми плитами и бетонным основанием	Потеря связи между путевыми плитами и плитами основания. Недостаточный дренаж. Работа путевой плиты в качестве перекачивающей мембраны	Гидроудар. Замерзание-оттаивание воды. Постепенное разрушение путевой плиты	Обеспечение достаточного дренажа. Восстановление связи между путевыми плитами и основанием. Герметизация зазоров
Выщелачивание цементного раствора на поверхности БВСП и в швах	Попадание воды в трещины	Снижение адгезии. Уменьшение несущих свойств БВСП	Обеспечение дренажа. Восстановление связи между путевыми плитами. Герметизация зазоров
Выплеск из-под плиты основания	Неравномерность упругих свойств основной площадки земляного полотна по длине пути. Попадание воды в зазор в момент прогиба плиты при проходе поезда	Вертикальная просадка. Излом плиты в месте выплеска	Удаление разжиженного грунта. Нагнетание под высоким давлением саморасширяющегося состава в полость под плиту
Излом элементов рельсовых креплений	Внешнее механическое воздействие. Резонанс	Выход из строя более двух узлов крепления подряд приводит к резкому повышению вертикальных колебаний рельса	Замена вышедших из строя элементов рельсовых креплений
Разрушение и выход стержней арматуры	Дефекты металла стержней. Дефекты геометрии стержней. Нарушение герметичности. Ржавчина	Потеря связи с бетоном. Выход стержня наружу. Последующее разрушение путевой плиты	Предварительный контроль качества стальных стержней. Исключение контакта с влагой
Растрескивание плиты вокруг места крепления стальных стержней	Недостаточное качество герметизирующего раствора. Нарушение технологии герметизации. Наличие пустот. Попадание влаги	Потеря натяжения стержней. Потеря связи с бетоном. Выход стержня наружу. Последующее разрушение путевой плиты	Исключение перекаса плиты и чрезмерного натяжения стержней. Замена герметизирующего раствора в месте крепления стержней. Герметизация трещин

### Мероприятия по недопущению дефектов

В иностранных публикациях перечисляются однотипные мероприятия по недопущению рассмотренных дефектов, которые в основном относятся к периоду строительства. Их можно разделить по типам конструкции БВСП: с путевыми плитами заводского

изготовления и с монолитной путевой плитой, залитой на месте строительства.

Итак, для исключения проявления неисправностей при **БВСП с плитами заводского изготовления** необходимо:

соблюдение всех установленных геометрических параметров при строительстве БВСП (тщательная вы-



верка положения путевых плит при их укладке на регулировочный слой);

герметизация мест крепления преднапряженных или постнапряженных армирующих стержней;

дополнительное армирование мест крепления преднапряженных или постнапряженных армирующих стержней;

обеспечение связи армирующих стержней с бетоном; исключение перемещения плит относительно друг друга при проходе поезда;

обеспечение надежной связи путевых плит с основанием через регулировочный слой, что достигается недопущением пустот между ними.

Для конструкций **БВСП с монолитной плитой, залитой на месте строительства:**

строгое соблюдение температурного и влажностного режима;

контроль химического состава бетона;

тщательное соблюдение технологии сооружения бетонной плиты;

обеспечение связи между «старым» и «новым» бетоном;

исключение неравномерности упругих свойств основной площадки земляного полотна по длине пути.

Из перечисленного остается заключить, что все неисправности БВСП закладываются при строительстве конструкции при ненадлежащем соблюдении технологии. Высокое качество выполнения всех операций при создании БВСП является залогом продолжительности его жизненного цикла.

### Заключение

Неисправности БВСП на китайских дорогах свидетельствуют о необходимости корректировки технико-экономических обоснований и расчетов стоимости жизненного цикла конструкции на величину стоимости устранения повреждений с учетом вероятности их появления.

Неисправности БВСП, характерные для китайских высокоскоростных линий после 10 лет эксплуатации, аналогичны тем, что наблюдались на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» после двух лет эксплуатации. Это позволяет отечественным проектировщикам БВСП выполнять ускоренные ресурсные испытания конструкций.

### Список источников

1. Савин А.В. Безбалластный путь. М.: РАС, 2017. 192 с.
2. Criteria for repairing damages of CA mortar for prefabricated framework-type slab track / R. Juanjuan, L. Xiao, Y. Rongshan, W. Ping, X. Peng // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 110. 1 May. P. 300–311. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.
3. A survey of ballastless track defects in China's high-speed

railway after ten years of service / W. Dong, X. Wang, Q. He, J. Ren // Intelligent Transportation Infrastructure. 2022. Vol. 1, Dec. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1093/iti/liac023>.

4. Lee J.W., Lee S.J., Kee S.H. Evaluation of a concrete slab track with debonding at the interface between track concrete layer and hydraulically stabilized base course using multi-channel impact-echo testing // Sensors. 2021. No 21: 7091. P. 3–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21217091>.

5. Mechanical characteristic variation of ballastless track in highspeed railway: effect of train-track interaction and environment loads / S. Zhu, J. Luo, M. Wang, C. Cail // Railway Engineering Science. 2020. Vol. 28 (4). P. 408–423. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00227-6>.

6. Behavior and control of the ballastless track-subgrade vibration induced by high-speed trains moving on the subgrade bed with mud pumping / J. Huang, Q. Su, T. Liu, W. Wang // Shock and Vibration. 2019. June. Article ID 9838952. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9838952>.

7. Long-lasting waterproofing solution for the subgrade of high-speed railway in cold region / X.-H. Chen, T.-Q. Tao, G.-T. Yang, H.-Y. Yan, J. Yang // Journal of testing and evaluation. 2018. Vol. 47, iss. 3. DOI: 10.1520/JTE20180046.

8. Application of mastic asphalt waterproofing layer in high-speed railway Track in cold regions / S. Liu, J. Yang, X. Chen, G. Yang, D. Cai // Applied Science. 2018. Vol. 8, no 5. P. 667. DOI: <https://doi.org/10.3390/app8050667>.

9. Calculation of the dynamic response of a viscoelastic railway structure based on a quasi-stationary approach / O. Chupin, A. Martin, J.-M. Piau, P.-Y. Hicher // International Journal of Solids and Structures. 2014. Vol. 51, iss. 13. P. 2297–2307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2014.02.035>.

10. Ferreira T.M., Teixeira P., Cardoso R. Impact of bituminous subballast on railroad track deformation considering atmospheric actions // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2011. Vol. 137, iss.3. P. 288–292. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000435](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000435).

11. Advanced characterisation of bituminous sub-ballast for its application in railway tracks: the influence of temperature / M. Sol-Sánchez, L. Pirozzolo, F.M.M. Navarro, M.C. Rubio-Gamez // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 101, part 1. P. 338–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.102>.

12. Mechanical characteristics and failure mode of asphalt concrete for ballastless track substructure based on in situ tests / Q. Fuq., X. Chen, D. Cai, L. Lou // Applied Science. 2020. Vol. 10, no 10:3547. DOI: 10.3390/app10103547.

13. Failure analysis of fatigue damage for fastening clips in the ballastless track of high-speed railway considering random track irregularities / D. Ma, J. Shi, Z. Yan, L. Sun // Engineering Failure Analysis. 2022. Vol. 131, Jan., Art No 105897. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105897>.

14. Evaluating the effect of rail fastener failure on dynamic responses of train-ballasted track-subgrade coupling system for smart track condition assessment / Y. Xiao, Z. Chang, J. Mao, S. Zhou, X. Wang, W. Wang, D. Cai, H. Zhu, Y. Long // Materials. 2022. Vol 15, iss. 7. P. 2–28. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15072675>.

### FAILURES OF BALLASTLESS TRACK AND RAIL FASTENINGS FOR HIGH-SPEED TRAFFIC

**Savin Alexandr** — D. Sci., JSC «Scientific Research Institute of Railway Transport» (JSC «VNIIZhT»), Director of the Scientific Center «Infrastructure». 2604136@mail.ru

**Solomatin Evgeniy** — General Director LLC «Technology 69»

**Abstract.** The article provides an analysis of foreign experience in the operation of a ballastless track of high-speed lines in comparison with the test results in Russia. In China, when examining such lines, experts found that many defects of the ballastless track significantly affect their safety and durability. It is noteworthy that the characteristic malfunctions recorded after 10 years of operation of the ballastless track in China are similar to those that can be observed on the Experimental Ring of JSC VNIIZHT after two years of operation.

**Keywords:** ballast-free track, high-speed movement, defects, rail fastenings, diagnostics.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСЫПИ ОДНОПУТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ВТОРЫХ ПУТЕЙ

ПАССЕК Вад.В., ООО «Центральная лаборатория инженерной теплофизики» (ЦЛИТ), генеральный директор, докт. техн. наук, ВОРОБЬЁВ С.С., ООО «ТР Инжиниринг», коммерческий директор, ОРЛОВ Г.Г., АО «Институт «Стройпроект», главный инженер проекта, канд. техн. наук, ПОЗ Г.М., ООО ЦЛИТ, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук, ПАССЕК Вяч.В., ООО ЦЛИТ, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

В процессе эксплуатации однопутной железной дороги происходит стабилизация температурного режима грунтов и деформаций. На рис. 1, а представлено положение верхней границы мерзлоты на поперечном сечении земляного полотна в установившемся режиме по окончании теплого периода года до реконструкции однопутной дороги; на рис. 1, б — после реконструкции при уширении поперечного сечения насыпи после реконструкции (отсыпки дополнительного массива); на рис. 1, в — после реконструкции с применением высокопрочных габионных конструкций и без уширения основания насыпи.

При реконструкции однопутной железной дороги в двухпутную земляное полотно обычно уширяют дополнительным массивом 7; при этом ширина земляного полотна увеличивается на  $\Delta C$  (рис. 1, б).

Недостатки такого технического решения:

для устройства дополнительного массива необходим большой объем земляных работ;

требуется удлинение водопропускных труб (обычно большого количества, особенно в горных районах);

резко нарушается установившийся температурный режим грунтов тела и основания насыпи.

Последнее особенно негативно сказывается на водопропускных трубах: существующая и удлиняемая части трубы расположены в разных мерзлотно-грунтовых условиях, в результате чего для компенсации их возможных деформаций требуются дополнительные дорогостоящие мероприятия по охлаждению грунтов.

Применение современных разработок в виде высокопрочных габионных конструкций [1] позволяет по-новому подойти к проектированию реконструкции дороги и расположить дополнительный грунтовый массив 10 не сбоку, а сверху насыпи (рис. 1, в). Это позволяет устранить все отмеченные проблемы (недостатки): сократить объем земляных работ, устранить необходимость удлинения водопропускных труб и обеспечить требуемый температурный режим грунтов оснований (а следовательно, их несущую способность). Предложенное техническое решение представлено на рис. 1, в. Насыпь содержит основной грунтовый массив 1 и дополнительный грунтовый массив 10.

Основной грунтовый массив 1 расположен на естественной поверхности грунтов основания 3.

Он имеет форму трапеции с боковыми откосами 2 (уклон 1:1), верхним малым основанием 6 шириной  $d$ , нижним (большим) основанием 4 шириной  $C$ . Дополнительный грунтовый массив 10 совмещен с основным массивом. Он ограничен боковыми стенками 11 высотой  $h$ ; в поперечном сечении имеет вид прямоугольника шириной  $B$  и высотой  $h$ . Верхнее основание дополнительного грунтового массива совмещено с верхним основанием 6 основного массива, причем центры этих оснований совпадают. Боковые стороны прямоугольника ограничены боковыми стенками 8 и 11, верхний уровень которых совпадает с уровнем основной площадки насыпи 6. Противоположные боковые стенки 8 и 11 соединены не менее чем двумя ярусами стяжек 9 и 12.

Ничего не меняется, если насыпь расположена на поперечном уклоне, содержит в нижней или средней части какие-либо дополнения (например, бермы). Существенно то, что основной грунтовый массив 1 содержит основную площадку 5 и откосы 4, расположенные по краям площадки 5 и направленные вниз и во внешние стороны. Боковые стенки 7 могут быть плоскими и пространственными, например из габионов. В этом случае габионы могут быть расположены в пределах пространства В.

Поверхность прямоугольника дополнительного массива частично замещает поверхность основного массива грунта, а частично выступает за пределы откосов насыпи с величиной выступа в уровне верхнего основания  $e$ , а в уровне нижнего основания выступ равен нулю. В этом случае положение верхней границы мерзлоты 5 не ухудшается, а наоборот, будет создана дополнительная зона мерзлоты 13 с более низкой температурой за счет увеличения зоны охлаждения вертикальными поверхностями стенок 8 и 11.

Что касается объема грунта, то при насыпи высотой, например, 6 м и крутизной откосов 1:2 для отсыпки массива 7 по схеме, представленной на рис. 1, б, потребуется  $24000 \text{ м}^3/\text{км}$  грунта, а при схеме, представленной на рис. 1, в, —  $2000 \text{ м}^3/\text{км}$ , т. е. в 12 раз меньше. К тому же в последнем случае исключена необходимость удлинения водопропускных труб.

При проектировании новой железнодорожной линии в поперечном сечении насыпи высота стенок мо-



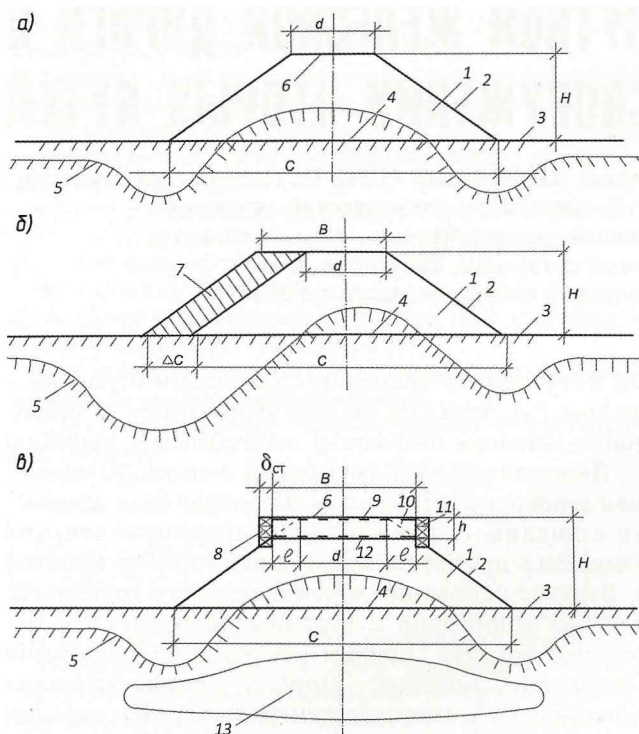


Рис. 1. Поперечное сечение земляного полотна по окончании теплого периода в установившемся режиме (конструкция водопропускной трубы не показана): а — до реконструкции однопутной дороги; б — непосредственно после реконструкции и присоединения дополнительного массива; в — с применением высокопрочных габионных конструкций; 1 — основной грунтовый массив; 2 — боковые откосы; 3 — естественная поверхность грунтового основания; 4 — нижнее основание; 5 — верхняя граница мерзлоты; 6 — верхнее малое основание; 7 — дополнительный массив; 8, 11 — боковые стенки; 9, 12 — стяжки; 10 — дополнительный грунтовый массив; 13 — дополнительная зона мерзлоты;  $d$ ,  $C$  — ширина земляного полотна соответственно поверху и понизу;  $H$  — высота земляного полотна;  $B$  — ширина водотока на контакте с водопропускной трубой;  $h$  — высота боковых стенок;  $e$  — величина выступа дополнительного массива в уровне верхнего основания;  $\delta_{ст}$  — толщина боковых стенок

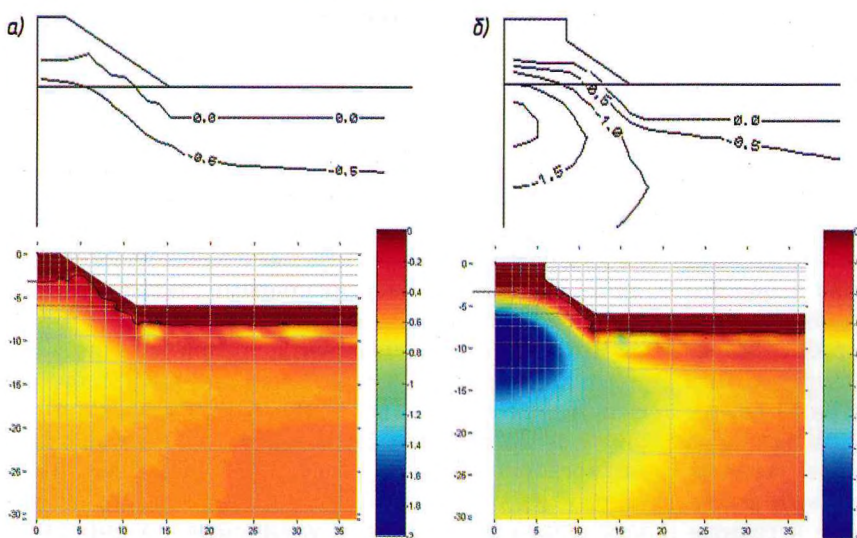


Рис. 2. Температурное состояние грунтов тела и основания насыпи по окончании теплого периода года в установившемся режиме: а — для варианта, представленного на рис. 1, а; б — для варианта, представленного на рис. 1, в

жет быть принята большей для увеличения площади охлаждающей вертикальной поверхности. В этом случае  $h \geq e/i$ .

Предлагаемое техническое решение заключается в следующем. Нагрузка от подвижного состава через рельсошпальную решетку и балластный слой передается на дополнительный грунтовый массив 10 (см. рис. 1, в). Возникающие горизонтальные силы воздействуют на стенку 11 и воспринимаются стяжками 9 и 12. Вертикальные силы передаются на нижележащие части насыпи.

При сооружении дополнительного массива никакие тепловые импульсы от него на грунты основания не передаются, поэтому существующий температурный режим не нарушается. Однако увеличение поверхности основной площадки со значения  $d$  до  $B$  усиливает охлаждение, так как основная площадка расчищается от снега и является охлаждающей зоной. Кроме того, вертикальная поверхность стенки также не заносится снегом и является охлаждающей. Все это приводит к понижению температуры грунтов основания и формированию зоны 13 с пониженной температурой. Это, в свою очередь, увеличивает прочность грунтов оснований и компенсирует увеличение удельного давления на грунт.

Для подтверждения вышесказанного на рис. 2 приводятся результаты сопоставления температурного состояния грунтов тела и основания насыпи на момент окончания теплого периода года в установившемся состоянии для вариантов на рис. 1, а и 1, в. В обоих случаях расчеты сделаны для насыпи высотой 6 м, расположенной в г. Мирный (Саха—Якутия); среднегодовая температура воздуха принята равной  $-6,9^\circ\text{C}$  [5]; отложения снега в пределах насыпи приняты как для региона с отсутствием снегопереноса [6].

Предполагается, что в зоне рядом с подошвой откоса насыпи растительный покров не нарушен (при нарушении растительного покрова необходима укладка теплоизоляции в этой зоне). В обоих случаях на откосе уложена теплоизоляция, эквивалентная слою пенополистирола толщиной 10 см. Из сопоставления случаев рис. 1, а и 1, в мы видим, что если в варианте с однопутной дорогой (см. рис. 2, а) удастся сформировать температуру немного ниже  $-0,5^\circ\text{C}$ , то в предлагаемом варианте (см. рис. 2, б) температура грунта достигает значения ниже  $-2^\circ\text{C}$ .

Если все-таки реконструкция однопутной дороги в двухпутную осуществляется по варианту рис. 1, б, то в зоне водопропуск-



ных труб можно применить техническое решение с использованием габионов (рис. 3).

Откосная часть насыпи на вечной мерзлоте включает в себя боковой грунтовый массив насыпи 7, расположенный на естественной поверхности грунта 2, и подпорную стенку, состоящую из тела стенки 6 и фундамента. Фундамент подпорной стены, в свою очередь, состоит из донного жесткого элемента 1 и боковых стенок 4. Боковой грунтовый массив насыпи 7 с его внутренней стороны 11 примыкает к основной части 12 дорожной насыпи с основной площадкой 10. С внешней стороны в верхней части он ограничен наклонной поверхностью 8, которая понижается во внешнюю сторону, а в нижней части — телом подпорной стенки 6. Боковой грунтовый массив насыпи содержит уширяемую часть насыпи 9.

Откосная часть насыпи на вечной мерзлоте выполнена автономным по длине элементом длиной  $L$ , сопрягается с соседними участками откосов с помощью двух переходных массивов 3, расположенных на пересечении с водопропускной трубой 14 и фундаментом 13. При этом тело подпорной стенки 6 содержит отверстие 5 для пропуска водопропускной трубы, а донный жесткий элемент 1 содержит отверстие 15 для фундамента трубы.

Донный жесткий элемент 1 расположен в зоне водотока на контакте с оголовком водопропускной трубы 14, выполнен в виде прямоугольной призмы и жестко соединен с телом подпорной стенки 6 и боковыми стенками 4, которые расположены по бокам водотока перпендикулярно телу подпорной стенки 6 и жестко соединены с ней. Верхняя поверхность донного жесткого элемента совмещена с уровнем дна водотока. Длина донного жесткого элемента 1 равна длине  $L$  автономного элемента, а ширина определяется условием недопущения размыва дна русла водотока на контакте с водопропускной трубой.

Значение  $L$ , м, определяют по формуле

$$L \geq B + 2 + 2\delta,$$

где  $B$  — ширина водотока на контакте с водопропускной трубой, м;  $\delta$  — толщина боковых стенок (определяется расчетом на прочность всей подпорной стенки);  $d$  — зона формирования переходного массива 3 (она примерно равна высоте  $h$  тела подпорной стенки и определяется в зависимости от крутизны откоса насыпи).

Водопропускная труба выступает за внешнюю поверхность подпорной стенки на величину от 0,5 до 1,0 м (по конструктивным соображениям).

Предлагаемая конструкция может быть выполнена из монолитного железобетона или габионов, в кото-

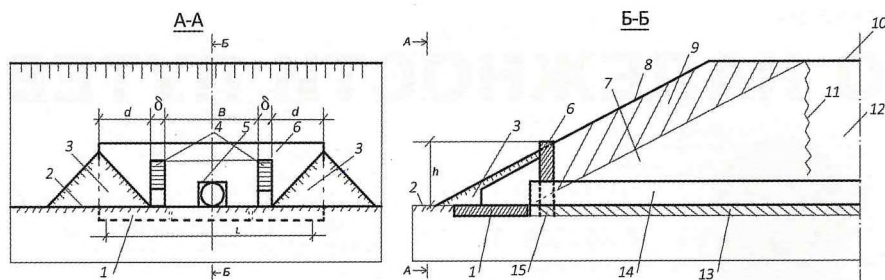


Рис. 3. Конструкция откосной части насыпи:

1 — донный жесткий элемент; 2 — естественная поверхность грунта; 3 — переходные массивы; 4 — боковые стенки; 5 — отверстие для пропуска водопропускной трубы; 6 — тело стенки; 7 — боковой грунтовый массив насыпи; 8 — наклонная поверхность; 9 — уширяемая часть насыпи; 10 — основная площадка дорожной насыпи; 11 — внутренняя сторона бокового грунтового массива насыпи; 12 — основная часть дорожной насыпи; 13 — фундамент; 14 — отверстие для пропуска водопропускной трубы; 15 — отверстие для фундамента водопропускной трубы

рых предусмотрена возможность их соединения в единую жесткую конструкцию.

## Выводы

1. При реконструкции однопутной железной дороги в двухпутную применение современных габионных конструкций позволит более чем на порядок сократить расходы.

2. Применение схем насыпи, представленных на рис. 1, в и 3, позволит улучшить мерзлотное состояние грунтов оснований и более чем на порядок сократить расходы.

3. Схемы насыпи, представленные на рис. 3 и 5, рационально применять не только при реконструкции, но и при проектировании новой линии; не только для железной дороги, но и для любой другой; не только в зоне вечной мерзлоты.

## Список источников

- ГОСТ Р 59287—2020. Изделия из панелей для габионных конструкций. Технические условия. Введ. 01.09.2021. М.: Стандартинформ, 2021.
- Патент № 2744541 РФ E02D 17/18. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте / Пассек В.В., Воробьев С.С., Поз Г.М. № 2020129027; заявл. 02.09.2020; опубл. 11.03.2021; Бюл. № 8.
- СП 354.1325800.2017. Фундаменты опор мостов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Правила проектирования и строительства. Введ. 15.05.2018. М.: Стандартинформ, 2018.
- Система поверхностного охлаждения насыпи в зоне вечной мерзлоты / В.В. Пассек, С.С. Воробьев, Г.М. Поз, Вяч.В. Пассек // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 1. С. 2–6.
- СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Введ. 25.06.2021. Изм. 30.06.2023. М.: Стандартинформ, 2021.
- Методические рекомендации по применению конструктивных мероприятий для сохранения вечномерзлых грунтов в основаниях сооружениях земляного полотна и искусственных сооружений на автомобильных дорогах Центральной Якутии / ОАО «ЦНИИС»; ОАО «Трансдорпроект». М.: ЦНИИС, 2010. 89 с.



УДК 625.144.5

# О НАДЕЖНОСТИ ПУТЕВЫХ МАШИН



ГРИНЧАР Н.Г., Российский университет транспорта (МИИТ), докт. техн. наук

**Аннотация.** Проблемы обеспечения надежности путевых машин нельзя считать полностью решенными. Наряду с эффективностью использования парков путевых машин их надежность в значительной мере определяет стоимость, энергоемкость и трудоемкость производства работ. Максимальный эффект достигается в случае, если удастся обеспечить практически полную безотказность машин во время работ на перегоне.

**Ключевые слова:** железные дороги, путевые машины, надежность машин, отказы, ремонт.

В Стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года предлагаются новые подходы к организации производства на железнодорожном транспорте, в том числе мониторинг жизненного цикла инфраструктурных объектов и производственных процессов с помощью создания инструментов виртуального контроля. Этот подход позволит сократить расходы ресурсов и ускорить выполнение некоторых бизнес-процессов.

Поскольку от ритмичности и интенсивности перевозок зависит рост экономики страны, состояние железнодорожного полотна является ключевым фактором обеспечения эффективного грузооборота.

Для увеличения объема перевозок как внутри страны, так и на международном уровне, требуются повышение эффективности работы, обеспечение высокой производительности и надежности функционирования путевой техники, постоянно поддерживающей железнодорожное полотно и обеспечивающей бесперебойное сообщение. В связи с увеличением интенсивности эксплуатации специального подвижного состава (СПС) и ростом потребности в обслуживании инфраструктуры необходима более производительная и надежная путевая техника. От технического обслуживания (ТО) и ремонта СПС зависят исполнение графика движения, продолжительность технологического «окна» и задержка выполнения ремонтно-путевых работ.

В настоящее время на ТО и ремонт различных типов путевой техники заключаются краткосрочные контракты (сроком не более трех лет). Ремонтные предприятия расположены по всей сети.

Во многих отраслях российской экономики успешно проводятся мероприятия по повышению технического ресурса и работоспособности техники, увеличению срока ее долговечности и безотказности работы, что способствует повышению надежности техники.

Надежность путевой машины (ПМ) — это ее способность выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или наработки.

Основные факторы, влияющие на надежность ПМ, представлены на рисунке.

Отказы ПМ, как и других мобильных машин, подразделяются следующим образом:

1) по частоте — на единичные и повторяющиеся п раз за определенный период;

2) по связи с последствиями — на легкие, не вызывающие остановки машины и устраняемые при ежесменном обслуживании (ЕО); средние, требующие немедленной остановки для ремонта; тяжелые, вызывающие не только ее остановку, но и вторичные разрушения; катастрофические, приводящие к человеческим жертвам. Все они, в свою очередь, подразделяются на следующие группы:

*легкие:* I — отказы, не влияющие на экологические или экономические отказы; это мелкие отказы, устраняемые немедленно или в ходе ЕО (регулировка, долив горюче-смазочных материалов); II — параметрические отказы, приводящие к снятию и замене агрегата в процессе послесменного обслуживания. Эти отказы не влияют на ритмичность работы, но могут ухудшать такой показатель, как время цикла, и отрицательно повлиять на производительность. Экономические потери сводятся к замене агрегата и увеличению стоимости проводимых работ;

*средние:* I — отказы, приводящие к задержкам в работе машины; они выявляются в ходе смены или перед сменной проверкой. При наличии такого отказа смена может быть завершена, затем агрегат заменяют с переналадкой системы и задержкой выхода в следующую смену; II — отказы, приводящие к нарушению или изменению технологических процессов, а также к остановке производства более чем на одну смену. Экономические потери могут быть велики из-за простоя всего комплекса машин;

*тяжелые:* I — отказы, приводящие к выходу из строя не только самого отказавшего узла или агрегата, но и узлов, не связанных с отказавшим объектом; II — отказы, влекущие за собой невозможность восстановления машины;



катастрофические: I — отказы, повлекшие за собой единичные человеческие жертвы; II — отказы, повлекшие за собой массовые человеческие жертвы;

3) по сложности — на отказы, устранимые в процессе ЕО и ТО; при текущем ремонте; при капитальном ремонте;

4) по способности к восстановлению работоспособности машины — на отказы, устранимые в эксплуатационных условиях; устранимые в стационарных условиях;

5) по внешним проявлениям — на явные отказы, на обнаружение которых требуется менее 10 мин, и скрытые;

6) по взаимосвязям — на первичные и вторичные (зависимые) отказы;

7) по условиям возникновения — на отказы, возникающие при хранении, транспортировке или холостом пробеге, и отказы, возникающие при выполнении основных функций;

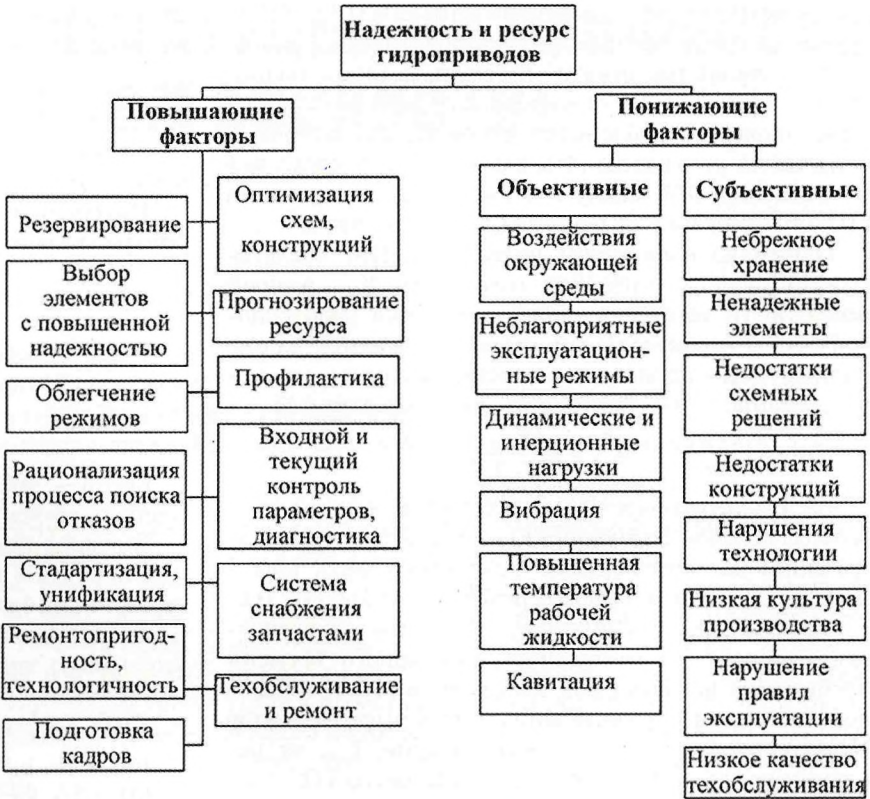
8) по уровню внешних воздействий — на отказы, возникающие при нормальных и ненормальных условиях эксплуатации;

9) по возможности прогнозирования — на прогнозируемые отказы, влияющие на изменение параметра изделия (их возникновение зависит от объекта и его наработки), и непрогнозируемые;

10) по характеру изменения параметров — на внезапные, возникающие в случае внезапной полной потери работоспособности; постепенные, возникающие в результате возрастающей потери работоспособности элементов (как правило, износ);

11) по системам и агрегатам — на отказы несущей системы (рамы, фермы); трансмиссии (механической, электрической, гидравлической, пневматической); ходовой части; рабочего оборудования; системы управления;

12) по характеру возникновения — на внешние отказы, возникшие в результате стихийных бедствий, гроз, атмосферных явлений, умышленных или неправо-



Основные факторы, влияющие на надежность ПМ

мерных действий третьих лиц; деградационные, обусловленные естественными процессами старения, износа, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации в соответствии с ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (далее — ГОСТ); конструктивные, вызванные несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования (ГОСТ); производственные, обусловленные несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии (ГОСТ); эксплуатационные — из-за нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации (ГОСТ).

Отказы 2-й и 3-й групп требуют ремонтного персонала, спецсредств (грузоподъемных) и сменных частей. Они значительно влияют на эффективность машины.

Основные показатели надежности ПМ

Показатель	Условное обозначение	Размерность	Примечание
Средняя наработка на отказ	$X_0$	км	Отношение суммарной (по объекту оценки) выработки ПМ за заданный интервал наблюдения к суммарному количеству отказов за этот интервал Отношение среднего количества отказов ПМ за заданный интервал наблюдения к длительности этого интервала, из которого исключено среднее общее время нахождения ПМ на плановых ремонтах, ТО, восстановлении, а также время простоя в работоспособном состоянии, когда ПМ не использовались по назначению в течение этого интервала
Интенсивность отказов	$\lambda$	1/ч	
Коэффициент технической готовности	$K_{т.г}$	—	—
Среднее время простоя	$t_n$	ч	Среднее (по объекту оценки) значение выработки ПМ на отказ



Несмотря на регулярно проводимые в ПЧ и ПМС ремонтно-профилактические мероприятия иногда возникают внезапные отказы, избежать которых полностью невозможно. Поэтому время от времени необходимо проводить неплановые ремонты, под которыми понимается устранение неисправностей и последствий повреждения ПМ между плановыми видами ремонта (ТО), выполняемое на ремонтных предприятиях.

Одним из показателей надежности ПМ является коэффициент технической готовности  $K_{т.г.}$ , равный вероятности того, что элемент окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых его использование по назначению не предусматривается.

$$K_{т.г.} = \frac{T_0}{T_0 + T_v},$$

где  $T_0$  — суммарное время пребывания  $i$ -го элемента в работоспособном состоянии;  $T_v$  — суммарное время, затраченное на восстановление работоспособности машины, за исключением плановых ремонтов и планового ТО.

Коэффициент технической готовности статистически определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемых элементов в работоспособном состоянии к произведению числа этих элементов  $N$  на продолжительность эксплуатации  $T_{раб.}$ , за исключением плановых ремонтов и планового ТО:

$$K_{т.г.} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{NT_{раб.}},$$

где  $\xi_i$  — суммарное время пребывания  $i$ -го элемента в работоспособном состоянии.

Другим показателем надежности ПМ является коэффициент технического использования  $K_{т.и.}$ . Он показывает, какую часть времени составляет непосредственно работа машины от общего времени, израсходованного на работу, ремонт и ТО:

$$K_{т.и.} = \frac{T_p}{T_p + T_{рем} + T_{обсл}},$$

где  $T_p$  — суммарная наработка (полезная) в течение рассматриваемого промежутка времени;  $T_{рем}$  — суммарное время ремонтов ( $T_{рем} = T_{рем.план} + T_{рем.внеплан}$ );  $T_{обсл}$  — суммарное время технического обслуживания.

Основные показатели надежности ПМ, используемые для оценки их состояния на этапе эксплуатации, представлены в таблице [2].

При определении параметра  $\lambda$  следует иметь в виду, что интенсивность отказов представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа, определяемую для рассматриваемого момента

времени, при условии, что до этого момента отказ не возник, т.е.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{Q(t)},$$

где  $f(t)$  — плотность вероятности возникновения отказа;  $Q(t)$  — вероятность безотказной работы.

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой зависимостью

$$Q(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Статистическую оценку интенсивности отказов можно определить следующим образом:

$$\hat{\lambda}(t) \approx \frac{\Delta n}{\Delta t n(t)},$$

где  $\Delta n$  — число отказов за время  $\Delta t$ ;  $t$  — текущая координата времени эксплуатации или наработки машины.

В период нормальной эксплуатации [1] параметр  $\lambda$  можно считать постоянной величиной. В этом случае вероятность безотказной работы с высокой степенью точности определяется по экспоненциальному (показательному) закону:

$$Q(t) = e^{-\frac{t}{T_1}} \text{ — вероятность безотказной работы;}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \text{ — вероятность возникновения отказа;}$$

$$f(t) = 1 - \lambda e^{-\lambda t} \text{ — плотность вероятности возникновения отказа;}$$

$$T_1 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \text{ — среднее время наработки на отказ.}$$

Поддержание требуемого уровня надежности на этапе эксплуатации предусматривает проведение целого комплекса организационно-технических мероприятий, включая периодичность обслуживания, регулировки, предупреждение отказов. При техническом обслуживании диагностируются основные узлы и агрегаты на предмет соответствия их заданным параметрам, степени износа. В результате выявляются отклонения от заданных параметров и принимается решение о дальнейшей эксплуатации узла или агрегата, а также о необходимости его ремонта или замены.

#### Список источников

1. Гринчар Н.Г., Гринчар Н.Н. Основы надежности машин: учеб. пособие. М.: УМЦ ЖДТ, 2021. 504 с.
2. Об утверждении документов ОАО «РЖД» по вопросам учета отказов в работе технических средств и технологических нарушений на инфраструктуре ОАО «РЖД»: Распоряжение ОАО «РЖД» от 06.09.2021 № 1915/р. Доступ через СПС «КонсультантПлюс».

#### ON THE RELIABILITY OF TRACK MACHINES

**Grinchar Nikolay** — Ph.D, professor of the Department «Land transport and technological means» of the Russian University of Transport (MIIT). Moscow, Russia. nggrin@yandex.ru

**Abstract.** The problems of ensuring the reliability of track machines in the railway industry cannot currently be considered completely solved. Reliability, along with the efficiency of using fleets of track vehicles, largely determines the cost, energy intensity and labor intensity of work. The maximum effect is achieved when it is possible to ensure almost complete reliability of the machines during work on the stretch.

**Keywords:** railways, track machines, reliability of machines, failures, repairs.



# ЗНАЧЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОФЕССИЙ В ПУТЕВОМ ХОЗЯЙСТВЕ



**ШВЕДЕНКО А.А.,** ОАО «Российские железные дороги»,  
Центр организации труда и проектирования экономических нормативов, эксперт

В современном быстро меняющемся мире управление ресурсами, в том числе и человеческими, остается более чем актуальным. Для всех организаций персонал имеет первостепенное значение, так как без профессионально подготовленных кадров ни одна организация не может достичь поставленных стратегических целей. Перед руководителями различных направлений и уровней стоит задача повышения эффективности трудовой деятельности работников, обеспечив долговременный рост производительности труда.

Как известно, важная роль в решении этих вопросов принадлежит нормированию, которое является неотъемлемой частью эффективной организации труда и служит инструментом, позволяющим оптимизировать рабочее время.

Нормативная база по труду Центральной дирекции инфраструктуры, в части хозяйства пути и сооружений, эксплуатации путевых машин, диагностики и мониторинга инфраструктуры, и Центральной дирекции по ремонту пути весьма обширна. Нормами труда охвачены все основные производственные группы, что составляет более 75 % от общей численности персонала.

Механизм нормирования труда работников, обеспечивающих выполнение полного комплекса соответствующего производственно-технологического процесса, давно известен и отлажен. При этом основными являются нормы времени. Они могут быть использованы для создания других видов норм: выработки, численности, нормированных заданий. Нормы труда позволяют обосновать необходимую численность персонала и регулировать ее в зависимости от объемов выполняемых работ.

Помимо основных групп, участвующих в непосредственном производственном процессе структурного подразделения, стоит обратить внимание на роль рабочих вспомогательных профессий, не связанных напрямую с функциями и целями структурного подразделения, но позволяют основным производственным группам заниматься своей основной деятельностью и достигать поставленные цели.

Для приведения численности рабочих вспомогательных профессий, рационального использования трудовых ресурсов Центром организации труда и проектирования экономических нормативов (ЦОТЭН) актуализированы Нормативы численности работников дистанций

пути и путевых машинных станций (прочих вспомогательных профессий), утвержденных Распоряжением ОАО «РЖД» от 6.02.2015 № 291/р (далее – Нормативы).

Проект Нормативов предназначен для определения численности водителей автотранспорта и автотракторной техники, кладовщиков, составителей поездов и прочих профессий. В отличие от действующих норм труда в проект не включен ряд профессий: оператор теплового пункта, слесарь по обслуживанию тепловых сетей, слесарь-ремонтник (котельщик), аппаратчик химводоочистки, лаборант химического анализа. В связи с преобразованием структурных подразделений в дирекциях по ремонту пути и инфраструктуры эти профессии стали не востребованы.

Разработка проекта Нормативов проходила в три этапа: определение целей, задач и перечня профессий работников, подлежащих нормированию; изучение функционала рабочих и технических документов; непосредственная реализация плана, связанная с проведением математических расчетов и контрольных замеров.

Завершающим этапом стала проверка проекта Нормативов численности в 512 структурных подразделениях дирекций инфраструктуры, дирекций по эксплуатации путевых машин, дирекций по ремонту пути, центров диагностики и мониторинга инфраструктуры. Сейчас проект Нормативов численности проходит согласование и утверждение.

Поддержание в актуальном состоянии норм труда производственного персонала в структурных подразделениях является приоритетной задачей. Не остается без внимания и административно-управленческий персонал.

В настоящее время ЦОТЭН проводит актуализацию Типового штатного расписания дистанций пути, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 9.07.2009 № 1452р. Проект разработан, проверен в производственных условиях всех структурных подразделений, сейчас проходит согласование и утверждение.

Таким образом, нормирование труда работников всех категорий позволит повысить их производительность за счет оптимального использования рабочего времени, обеспечит основу для планирования численности персонала и более эффективного подхода в организации производственных процессов, способствуя заинтересованности работников в улучшении своих навыков и знаний.



# Итоги конкурса рационализаторских предложений «Идея ОАО «РЖД»-2024»

С целью активизации массового технического творчества работников Компании, развития технических и технологических потенциалов в ОАО «РЖД» проведен конкурс рационализаторских предложений «Идея ОАО «РЖД»-2024».

Конкурс организован Центром инновационного развития — филиалом ОАО «РЖД». Конкурсной комиссией под председательством заместителя генерального директора — главного инженера ОАО «РЖД» А.М. Храмцова рассмотрено 273 заявки от центральных дирекций и дорог. В работе комиссии приняли участие представители Департамента технической политики, Департамента безопасности движения, Департамента экологии и трансферной безопасности, Центра научно-технической информации и библиотек, Центра инновационного развития, научно-отраслевых комплексов АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», АО «НИИАС».

Активное участие во всех номинациях приняли рационализаторы Горьковской, Московской и Приволжской дорог, региональных дирекций по энергообеспечению Трансэнерго и региональных дирекций инфраструктуры.

В 2024 г. заявки на конкурс представлялись в восьми номинациях. Традиционно наибольшее количество заявок было подано в номинациях в области технического обслуживания и ремонта технических средств (69), а также в области повышения надежности и отказоустойчивости технических средств (56). В этом году конкурс в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение молодого рационализатора (в возрасте до 35 лет)» проведен в Системе управления предложениями работников ОАО «РЖД» (36).

Первые места комиссией конкурса присуждены следующим рационализаторским предложениям:

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на импортозамещение» — Вольтметр пороговый трехуровневый (Октябрьская дирекция инфраструктуры, автор — Ю.В. Меркулов);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на повышение энергетической эффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду» — Солнечные электростанции, (Дирекция аварийно-восстановительных средств Дальневосточной железной дороги, автор — К.К. Им);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на профилактику производственного травматизма» — Система обнаружения присутствия на мостовом кране в цехе ТР-2

(Северо-Кавказская дирекция моторвагонного подвижного состава, авторы — Д.В. Касьяненко, С.Е. Мирошниченко);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на повышение безопасности движения поездов» — Ручная автономная шлифовальная машина РАШМ (Московская дирекция по эксплуатации путевых машин, автор — К.В. Кудряшов);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на повышение надежности и отказоустойчивости технических средств» — Вывод информации в СТДМ о температуре в модуле МПЦ, (Северная дирекция инфраструктуры, автор — А.Г. Шаховцев);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение, направленное на снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт технических средств» — Коммутатор каналов для проверки и ремонта вставок искательной системы ультразвукового дефектоскопа УДС2М-11 (Восточно-Сибирский центр метрологии, авторы — В.В. Сидоров, Д.А. Топников);

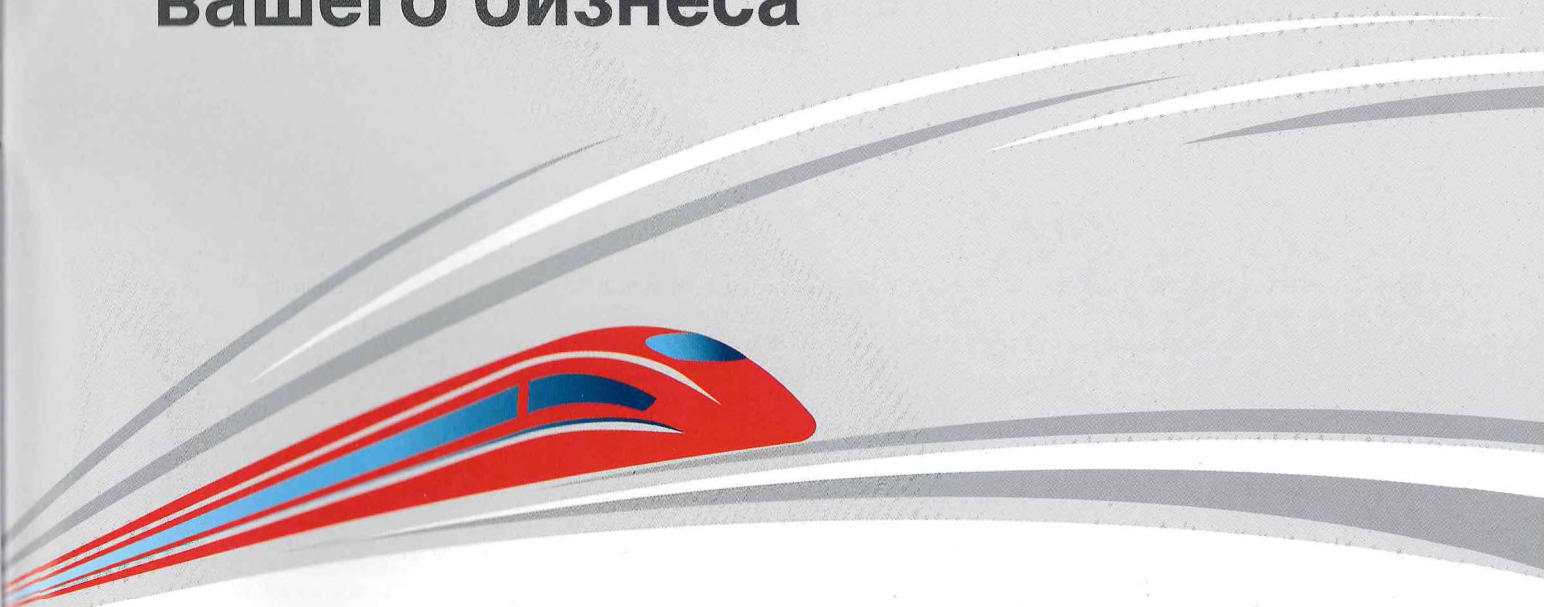
в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение молодого рационализатора (в возрасте до 35 лет), относящееся к любой из номинаций 1-6» — Модификация устройства для перемешивания (Дорожное конструкторско-технологическое бюро Административно-хозяйственного центра Западно-Сибирской железной дороги, автор — В.А. Нейман);

в номинации «Лучшее техническое или технологическое решение рационализатора-женщины, относящееся к любой из номинаций 1-6» — Приставка для проверки блока БПШ в корпусе от регулятора тока автоматического РТА-1 (Юго-Восточная дирекция инфраструктуры, автор — Л.Л. Селезнева).

Начальник Центра инновационного развития О.О. Николаев отметил: «Конкурс «Идея ОАО «РЖД» интересен и важен, поскольку объединяет творческие инициативы рационализаторов нашей Компании. Каждое поданное рационализаторское предложение по-своему уникально и значимо: будь то актуальность и новизна идеи, высокий уровень технического исполнения разработки или нестандартное исполнение заявки. Победившие предложения получили высокие оценки по всем предусмотренным конкурсом критериям и нашли востребованность в Компании. Благодарю всех участников конкурса за их труд, инициативность и отдельно поздравляю рационализаторов, чьи идеи были признаны лучшими! Желаю и дальше с успехом генерировать интересные и полезные идеи!»



# Рекламно-информационное сотрудничество — эффективная поддержка в продвижении вашего бизнеса



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

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

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

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

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

Телефон: (499) 262-54-29

Факс: (499) 262-69-11

E-mail: cntlib@css-rzd.ru

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







**Кубаньжелдормаш**

Завод основан в 1933 году



## ДОМКРАТЫ ПУТЕВЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ

# ДПГ

**Двухплунжерный гидронасос  
существенно облегчает процесс работы  
и сокращает время технологической  
операции**

Модельный ряд включает в себя домкраты грузоподъёмностью от 10 до 20 тс с ходом от 100 до 200 мм

ПАРАМЕТР	МОДЕЛЬ ДОМКРАТА				
	ДПГ-10	ДПГ-10/200	ДПГ-12	ДПГ-18	ДПГ-20/175
Номинальная грузоподъёмность, кН (тс):					
по оси гидроцилиндра	98,1 (10)	117,7 (12)	176,6 (18)	215,8 (22)	
на подъёмной лапе	78,4 (8)	98,1 (10)	147,1 (15)	196,2 (20)	

- Универсальный двухплунжерный гидронасос, унифицированный с остальным гидравлическим путевым инструментом АО "Кубаньжелдормаш", оснащённый предохранительным клапаном
- Литой бачок из алюминиевого сплава
- Быстрый и безопасный возврат при сбрасывании давления
- Очистка рабочей жидкости от загрязнения
- Надёжная литая конструкция подошвы домкрата
- Качественные полимерные уплотнения
- Съёмная рукоятка (с возможностью использования как скребок для балласта)
- Сделано в России
- Гарантийное и постгарантийное обслуживание заводом-изготовителем "Кубаньжелдормаш"

352922, Россия, Краснодарский край, г.Армавир, ул.Маркова, д.36

8 (86137) 5-45-96 info@zdm.ru www.zdm.ru