



РД

ISSN 0131-5765

- ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СЕГОДНЯ
- СОКРАЩЕНИЕ МВВП
- О ШЛИФОВАНИИ РЕЛЬСОВ
- ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО СВЕРДЛОВСКОЙ ДОРОГИ
- ОБ УВЕЛИЧЕНИИ РЕСУРСА ПОДКЛАДОК
- СТРЕЛОЧНОЕ ХОЗЯЙСТВО ПРИ ПОВЫШЕННЫХ НАГРУЗКАХ

# путь

и путевое хозяйство

6 · 2024

НАУЧНО-  
ПОПУЛЯРНЫЙ,  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ



# НА ЗАСЕДАНИИ КОМИТЕТА ОПЖТ ПО КООРДИНАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПУТЕВОЙ ТЕХНИКИ

В конце апреля состоялось заседание Комитета ОПЖТ по координации производителей компонентов инфраструктуры и путевой техники. В мероприятии приняли участие руководители и специалисты организаций-членов ОПЖТ и профильных компаний.

Президент Ассоциации ОПЖТ **В.А. Гапанович** в своем приветственном слове обратил внимание собравшихся на важность стандартизации процессов производства, рассказал о формировании доверенной среды в области сертификации, создании системы менеджмента качества в комплексе сервисного обслуживания путевых машин, что позволит существенно оптимизировать расходы предприятий и человеческие ресурсы, сообщил о создании Подкомитета ОПЖТ по специальным процессам, который будет курировать вопросы сварочного производства. Особое внимание В.А. Гапанович уделил основной цели деятельности Комитета — повышению производительности труда участников производственного процесса и качества железнодорожной техники, ее сервисного обслуживания и выполняемых этой техникой работ. В связи с чем требуется четкое определение и структурирование производственных процессов, их автоматизация, внедрение малолюдных технологий ремонта пути за счет внедрения высокоеффективных путевых комплексов.

В рамках заседания актуализирован состав Комитета. Председателем избран **С.В. Акулинин**, технический директор АО «Тулажелдормаш», заместителями председателя Комитета — **А.А. Лохматов**, главный инженер Дирекции по эксплуатации путевых машин Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», и **Г.И. Сорокин**, заместитель директора Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре ОАО «РЖД», ответственным секретарем Комитета — **В.А. Ульянов**, руководитель технологического направления АО «Тулажелдормаш».

Комитет рассмотрел и одобрил план работы на 2024 г. Основные направления его деятельности следующие:

управление, автоматизация и хранение конструкторской и технической документации на СПС, учитывая вносимые изменения в действующую и разработку новой;

унификация узлов, агрегатов и составных частей СПС различных производителей, требований к системам диагностики СПС;

импортозамещение важных для изготовления СПС зарубежных комплектующих изделий, импортонезави-

симость предприятий-производителей компонентов инфраструктуры и путевой техники;

применение конструкций из полимерных композиционных материалов;

разработка измерительного комплекса диагностики станционной инфраструктуры, устанавливаемого на СПС;

изготовление вагона-дефектоскопа с колесной испытательной системой для неразрушающего контроля рельсов;

изменение порядка расширения или изменения области применения предприятием, присвоенного ему условного номера, согласно разд. 4 Положения об условиях номерах клеймения железнодорожного подвижного состава и его составных частей от 22.10.2014;

совершенствование процедуры подтверждения производства продукции на территории Российской Федерации, установленной Постановлением Правительства Российской Федерации от 17.07.2015 № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации», для упрощения ее прохождения отечественными производителями железнодорожной отрасли;

организация первичной эксплуатации вновь разработанной путевой техники по схеме аутсорсинга;

технические решения по модернизации существующей техники для возможности эксплуатации ее при температуре окружающего воздуха до -50°C;

изучение вопроса о реализации серийного производства универсальных технических средств для работы со скреплениями различных типов, в том числе перспективных;

создание средств средней механизации, обеспечивающих предварительную подъемку рельсошпальной решетки перед разборкой пути в период отрицательных температур;

разработка и внедрение методов диагностики преддефектного состояния рельсов и установление периодичности и режимов шлифования с минимальным воздействием на пропускную способность пути;

оптимизация процесса проверки качества термической обработки сварных стыков рельсов для снижения стоимости услуги и сокращения сроков исследования;

изготовление универсальной модульной конструкции служебно-технических вагонов на унифицированных тележках пассажирского типа;

разработка документа, определяющего срок эксплуатации служебно-технических вагонов по его техническому состоянию балансодержателем;

технические решения для внедрения цифровой модели управления рабочими процессами путевых машин для снижения отказов аналоговых систем;

возможность создания цифрового визуализированного 3D каталога составных частей и деталей путевых машин (по принципу «Exist») с присвоением деталям уникальных номеров и др.

ГОРЬКАНОВА Т.Н.





Учредитель — ОАО «Российские железные дороги»

Научно-популярный производственно-технический журнал

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

Главный редактор С.В. ЛЮБИМОВ

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

А.Г. АКОПЯН, Е.С. АШПИЗ, д.т.н.,  
В.П. БЕЛЬЮКОВ, д.т.н.,  
Л.С. БЛАЖКО, д.т.н.,  
Ю.А. БЫКОВ, д.т.н.,  
Т.Н. ГОРЬКАНОВА, С.А. КОБЗЕВ,  
И.Ю. КОВАЛЁВ — зам. главного  
редактора, А.И. ЛИСИЦЫН,  
А.А. ЛОКТЕВ, д.ф-м.н.,  
А.А. МАРКОВ, д.т.н.,  
В.И. НОВАКОВИЧ, д.т.н.,  
О.А. ПАШЕНЦЕВА — ответственный  
секретарь,  
А.В. САВИН, д.т.н.,  
О.Б. СИМАКОВ, к.т.н.,  
В.Ф. 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: rph@inbox.ru  
Сайт: <http://rph-magazine.ru>  
Электронная версия журнала: <http://elibrary.ru>;  
<https://rucont.ru>; <http://www.ivis.ru>/  
Аннотации статей: [www.rzd-expo.ru](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 30.05.2024  
Формат 60x84 1/8. Офсетная печать.  
Заказ № 24087 от 27.05.2024  
Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм +»,  
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

# — В НОМЕРЕ —

## Контроль и диагностика

**Чечельницкий А.И.** — Дирекция диагностики и мониторинга инфраструктуры: достижения, перспективы, новые технологии ..... 2

## Содержание, ремонт и реконструкция

**Романенко В.А., Мацкевич М.В., Востриков Д.В.** —

Сокращение мест временного восстановления плетей ..... 6

**Пикалов А.С., Ильиных А.С., Милорадович В.К.** —

Проблемы и перспективы технологии шлифования рельсов ..... 8

**Козлов В.В.** — Обслуживание малодеятельных участков машинизированным способом ..... 12

**Скутина О.Л., Скутин Д.А., Махова А.М., и др.** —

Анализ состояния земляного полотна Свердловской железной дороги ..... 14

## Конструкции и сооружения

**Полевой Е.В., Молоканов Р.Н., Борисов А.С. и др.** —

Опыт ЕВРАЗ ЗСМК по производству рельсов для тяжеловесного движения на экспорт ..... 18

**Рихтер Е.Е.** — К вопросу увеличения ресурса контррельсовых подкладок ..... 21

**Глюзберг Б.Э., Титаренко М.И.** — Обеспечение надежной работы стрелочного хозяйства в условиях повышенных нагрузок ..... 23

## Из истории транспорта

**Ашпиз Е.С., Замуховский А.В., Гречаник А.В.** —

История назначения модуля упругости пути в качестве основного расчетного параметра ..... 25

## Проблемы и решения

**Пупатенко В.В., Стоянович Г.М., Пупатенко К.В.** и др. —

Вибродинамическое воздействие на путь тяжеловесных поездов в летний период на Восточном полигоне ..... 28

**Людаговский А.В., Фазилова З.Т., Полухин В.А.** —

Особенности формирования и геометрия анодных пятен при электромагнитной наплавке ..... 32

## На обложке

**Первая страница — На магистралях России**

**Фото Ковалёва И.Ю.**

# ДИРЕКЦИЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ: ДОСТИЖЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



**ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ А.И., ОАО «РЖД», Центральная дирекция инфраструктуры, начальник  
Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры**

Диагностика и мониторинг неисправностей инфраструктуры — важнейшие элементы системы управления железнодорожным транспортом, позволяющие формировать объективную информацию о состоянии объектов. Только на основе достоверных сведений о работоспособности всех звеньев транспортного комплекса можно принимать эффективные управленческие решения.

В 2019 г. для диагностирования состояния пути мобильными средствами и автоматизации всех процессов мониторинга контролируемых объектов была создана Дирекция диагностики и мониторинга инфраструктуры (ЦДМ) — структурное подразделение Центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ) — филиала ОАО «РЖД».

Дирекция имеет 14 структурных подразделений на сети ОАО «РЖД» и осуществляет контроль состояния:

верхнего строения пути — оценка геометрии рельсовой колеи, диагностика рельсового хозяйства;

нижнего строения пути — оценка состояния земляного полотна;

инженерных сооружений — оценка состояния мостов, тоннелей, путепроводов и пр.;

устройств автоматики и телемеханики — оценка работы устройств АЛСН, САУТ, КТСМ;

устройств электрификации и электроснабжения — оценка состояния элементов контактной сети.

Для выполнения этих функций используются специализированные вагоны и комплексы, оборудованные различными системами диагностики, а также самоходные средства контроля. Кроме этого, для обследования особенно ответственных объектов инфраструктуры (опор мостовых переходов, русловых участков рек, земляного полотна и т. д.) применяются беспилотные аппараты (летательные, подводные и надводные). Парк средств и технологий постоянно пополняется, изменяется и совершенствуется.

За пять лет ЦДМ добилась ощутимых результатов, а именно: обеспечен рост выработки на один диагностический вагон на 28 %, оптимизирован парк мобильных средств на 30 %, сокращено использование тяговых ресурсов. Все это позволило снизить затраты на обслуживание и содержание основных средств ЦДМ, минимизировать влияние на перевозочный процесс.

В 2023 г. были выполнены все ключевые показатели деятельности ЦДМ и сформированы задачи на 2024 г. Основной упор сделан на технологическое, техническое и информационное развитие, а также структурные преобразования ЦДМ.

В части технологического развития следует отметить работу по совершенствованию технологии проверки рельсов, в том числе с применением специализированных схем неразрушающего контроля, а также использованием колесных эластичных искательных систем, обеспечивающих меньшую зависимость от качества содержания пути. В 2023 г. в Санкт-Петербургском РЦДМ была организована серия испытаний данной системы, проверена ее работоспособность и возможность ввода в постоянную эксплуатацию. Колесная система в отличие от традиционных систем скольжения способна обеспечить лучший акустический контакт с рельсовой нитью, в том числе в зонах болтовых и сварных стыков (рис. 1).

Отдельно необходимо выделить применение технологии однократно отраженного луча, которая по-



**Рис. 1. Колесная искательная система**

зволят повысить качество дефектоскопирования рельсов и повышает вероятность выявления дефектов в зоне болтовых отверстий. Носителями данной системы могут выступать не только новые высокоскоростные диагностические комплексы, но и вагоны-дефектоскопы, прошедшие модернизацию.

Ведется большая работа по диагностике станционной инфраструктуры, в результате которой создана система ИИС КСИ (информационно-измерительная система контроля станционной инфраструктуры), которая в настоящий момент существует в единственном экземпляре и функционирует на базе маневрового локомотива ТЭМ18, приписанного к эксплуатационному локомотивному депо Кинель Куйбышевской дирекции тяги (ТЧЭ-12). В процессе штатной работы локомотива по осуществлению маневров и формированию составов ИИС КСИ проводит диагностику объектов станционной инфраструктуры. Система запускается автоматически в момент пуска двигателя локомотива и работает в фоновом режиме без какого-либо участия оператора (рис. 2).

Использование ИИС КСИ позволяет в режиме реального времени автоматически выявлять отступления от норм содержания станционных путей, съездов и стрелочных переводов и при необходимости по радиоканалу выдавать ограничение скорости.

Высокая периодичность проверок, выполняемых ИИС КСИ, позволяет накапливать и анализировать большой объем информации о состоянии объектов путевой инфраструктуры, используемой для прогнозирования развития неисправностей и определения потребности в ремонтно-путевых работах.

Система ИИС КСИ получила доступ к эксплуатации на сети дорог ОАО «РЖД», и следующим этапом развития является тиражирование данной технологии, в первую очередь, на крупные железнодорожные узлы и сортировочные станции. Повсеместное использование ИИС КСИ позволит постоянно контролировать состояние объектов станционной инфраструктуры и вывести работников службы пути из зоны риска, обеспечив их безопасность.

Также в ЦДИ разработана и активно внедряется технология проверки геометрии рельсовой колеи после выполнения ремонтно-путевых работ в «окно». При таких проверках используются съемные средства диагностики современных типов, одним из которых является компьютеризированная путеизмерительная тележка. Данное оборудование предназначено для автоматического контроля полного набора параметров геометрии рельсовой колеи, способно обрабатывать и предоставлять информацию в том же формате, что и путеизмерительные вагоны. Использование портативных печатающих устройств (принтеров) позволяет незамедлительно после окончания проверки состояния пути распечатать бумажную версию графической диаграммы с выводом всех выявленных отступлений.



Рис. 2. Фрагмент системы ИИС КСИ, размещенной на маневровом локомотиве

Внедрение новых технологий на фронтах выполнения ремонтно-путевых работ позволяет значительно сократить расходы на использование локомотивов и повысить пропускную способность участка за счет отсутствия необходимости выделения «ниток» в графике движения поездов для прохода вагона-путеизмерителя. Также компактность и мобильность путеизмерительных тележек дает возможность оперативно доставлять данное путеизмерительное средство в любую точку в границах дистанции пути (рис. 3).

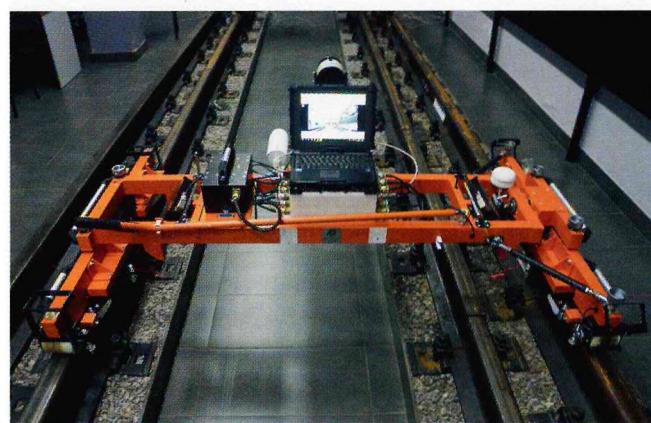


Рис. 3. Компьютеризированная путеизмерительная тележка ПТ-12



Рис. 4. Подводный телекомандированный аппарат

Не стоит на месте и развитие программного обеспечения, используемого для анализа и прогнозирования состояния объектов железнодорожной инфраструктуры — ЕК АСУИ СДМИ (информационно-аналитическая система комплексной диагностики и мониторинга железнодорожной инфраструктуры). В настоящее время в ЕК АСУИ СДМИ реализован функционал оценки и прогнозирования состояния геометрии рельсовой колеи, бокового износа рельсов, комплексной оценки объектов инфраструктуры, предотказного состояния бесстыкового пути и оценки качества выполнения путевых работ.

Разработка указанных функций прогноза позволит обеспечить наиболее рациональный подход к планированию и проведению ремонтов пути, что в целом снизит расходы на содержание инфраструктуры и предоставит возможность планировать работы в зависимости от текущего состояния пути, а не от нормируемых показателей назначения ремонтов.

Немало инновационных достижений появилось в сфере обследования искусственных сооружений и земляного полотна. В последние годы паводковые и ливневые воды стали серьезной проблемой для многих городов и предприятий. Обильные осадки и неконтролируемый сток воды могут причинить значительный ущерб как самой инфраструктуре, так и пассажирам, работникам и грузам. Проверка готовности линейных сооружений и устройств к пропуску паводковых и ливневых вод на железной дороге играет ключевую роль в обеспечении безопасности и бесперебойности перевозок.

Для решения этой проблемы используются различные методы, включая натурные осмотры специалистами РЦДМ объектов и устройств инфраструктуры, применение беспилотных летательных аппаратов и расшифровка обзорных видеосъемок, полученных с мобильных средств диагностики. Эти технологии и средства показали достаточно высокий уровень эффективности при оценке технического состояния ин-

женерных сооружений, в том числе при подготовке объектов к пропуску паводковых и ливневых вод, осмотрах водоотводных устройств в труднодоступных местах, не имеющих прямого визуального доступа, периодическом мониторинге размывных участков земляного полотна.

В 2023 г. при подготовке к пропуску паводковых и ливневых вод было осмотрено 427 водоотводных сооружений и потенциально опасных мест земляного полотна.

С целью контроля русел рек в границах опор мостовых переходов мостоиспытательные станции оснащаются аппаратными комплексами, которые позволяют определять наличие размывов, скоростей потока на поверхности и в толще воды, отслеживать изменение русла, а также состояние укрепительных сооружений. На сегодняшний день данными комплексами оснащено 13 структурных подразделений ЦДМ.

Для обследования и мониторинга подводной части мостовых опор и русел водотоков применяются подводные телекомандированные аппараты, способные выявлять дефекты и неисправности конструкций без водолазных погружений. На сегодняшний день подводными аппаратами оснащено пять структурных подразделений ЦДМ (рис. 4).

В современных условиях задача циклических наблюдений за состоянием как элементов всего комплекса инженерных сооружений, так и взаимодействующих с ним природных факторов успешно решается с использованием беспилотных воздушных судов, позволяющих без непосредственного присутствия на объекте в режиме реального времени оценить его состояние. А накопленная за определенный период информация раскрывает динамику развития нежелательных процессов деградации элементов земляного полотна, его водоотводных, защитных и укрепительных сооружений.

В 2023 г. специалистами инженерно-геологических баз региональных центров диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры на полигоне Октябрьской, Северной, Горьковской и Северо-Кавказской дорог было проведено обследование земляного полотна на участках прижимов рек с применением беспилотных летательных аппаратов в Петровск-Заводской, Хилокской, Читинской, Карымской, Шилкинской, Чернышевской, Зиловской, Могочинской, Амазарской, Сковородинской дистанциях пути. В итоге обследовано 198 участков земляного полотна общей протяженностью 144,033 км, разработаны и предложены конструктивные решения по противодеформационным мероприятиям.

Данные, полученные в результате такой работы, позволили, в том числе, оперативно спрогнозировать деградационные изменения конкретных объектов и рассчитать требуемые объемы затрат на поддержание устройств путевой инфраструктуры в работоспособном состоянии.



## ЗАЩИТА ГАЗОПРОВОДА ПОД ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГОЙ

### РАЗЪЕМНЫЙ КОМПОЗИТНЫЙ ФУТЛЯР ЗФГТ

Сертификация ГАЗСЕРТ



Защита трубопровода от нагрузок  
и механических повреждений



Монтаж на новом  
и действующем газопроводе



Отвод газа  
и контроль его утечки

📞 +7 (495) 989-48-42

✉ safit@safit.su

🌐 www.safit.su

# СОКРАШЕНИЕ МЕСТ ВРЕМЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛЕТЕЙ



**РОМАНЕНКО В.А.**, ОАО «РЖД», Центральная дирекция инфраструктуры (ЦДИ), Управление пути и сооружений, начальник отдела сварки, наплавки и шлифовки рельсов,  
**МАЦКЕВИЧ М.В.**, ОАО «РЖД», ЦДИ, Управление пути и сооружений, начальник сектора бесстыкового пути,  
**ВОСТРИКОВ Д.В.**, ОАО «РЖД», ЦДИ, Управление пути и сооружений, инженер сектора бесстыкового пути

На протяжении последних двух десятилетий на сети ОАО «РЖД» массово внедряется бесстыковой путь, доказавший свою значимость и эффективность в повышении безопасности движения поездов, увеличении скорости движения и снижении расходов на текущее содержание верхнего строения. Протяженность эксплуатируемых участков бесстыкового пути на железных дорогах России уже превышает 100 тыс. км и составляет 81 % от общей протяженности главных путей сети Компании.

Сегодня вряд ли найдется специалист, считающий, что бесстыковой путь — это малоэффективная конструкция. Динамика развития путевого комплекса свидетельствует об обратном. Только благодаря высокой технологичности бесстыкового пути полигон его эксплуатации в странах Европы и Азии (Германия, Франция, Китай и др.) практически соответствует протяженности главных путей.

Такое право бесстыковой путь «заслужил» повышением плавности хода поездов и увеличением комфортности езды пассажиров, высокими скоростями движения, меньшими затратами на тягу поездов, увеличенным нормативным сроком службы пути, сокращением расходов на текущее содержание пути и ремонт подвижного состава, а главное, снижением срока окупаемости по сравнению со звеневым путем. При этом необходимо отметить, что с увеличением грузонапряженности срок окупаемости бесстыкового пути уменьшается.

Несмотря на достоинства данной конструкции пути не прощает халатного и пренебрежительного от-

ношения к его обслуживанию и эксплуатации. В первую очередь, бесстыковой путь требует непрерывного контроля за жизненным циклом рельсовых плетей с тщательным анализом их состояния и учетом всех проводимых работ, связанных с нарушением устойчивости и целостности пути.

Первостепенной задачей путевого комплекса при содержании бесстыкового пути, конечно же, является контроль температурного режима рельсовых плетей, что гарантирует безопасность движения поездов. Также для обеспечения комфорtnого проезда пассажиров работа путей направлена на минимизацию рельсовых стыков, образованных вырезкой дефектных и остродефектных фрагментов плети с укладкой временного рельса, — так называемых мест временного восстановления плетей (далее — МВВП).

В последние годы прослеживается динамика интенсивного роста МВВП, вызванная ежегодным увеличением протяженности бесстыкового пути не менее чем на 1 тыс. км и повышением дефектности рельсовых плетей. На рис. 1 приведен график накопления МВВП на полигоне бесстыкового пути за последнее десятилетие.

Из приведенного графика следует, что за 10 лет число таких мест выросло с 184058 до 320427 шт., т. е. увеличилось почти в два раза. Несмотря на то, что в период с 2020 по 2022 г. сваркой было устранено около 54719 МВВП, а также всеми видами ремонта — 122510 МВВП, их прирост на 1 января 2024 г. составил 32 %.

Данная статистика показывает, что увеличение грузонапряженности приводит к повышению выхода остродефектных рельсов, вырезка которых из плетей и вызывает рост количества МВВП по сети.

Для решения рассматриваемой проблемы наряду с повышением качества рельсов и их сварки, совершенствованием приемов содержания бесстыкового пути необходимы дополнительные мероприятия, способствующие снижению

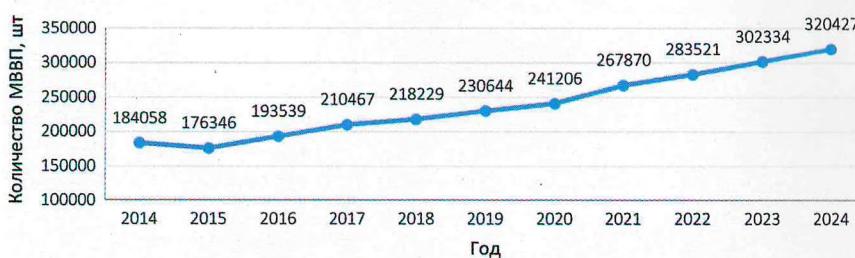


Рис. 1. Количество МВВП на полигоне бесстыкового пути с 1 января 2014 г. по 1 января 2024 г.



Рис. 2. Алюминотермитная сварка рельсов



Рис. 3. Электроконтактная сварка рельсов



Рис. 4. С помощью газового резака из головки рельса удален дефектный фрагмент



Рис. 5. Алюминотермитная наплавка въемки в головке рельса, образовавшейся при вырезке дефекта



Рис. 6. Поверхность катания головки рельса после ликвидации дефекта алюминотермитной наплавкой

интенсивности накопления МВВП, например, за счет увеличения временного интервала, когда можно выполнять сварочные работы, что также будет способствовать уменьшению эксплуатационных затрат на содержание МВВП.

В настоящее время на сети ОАО «РЖД» нашли широкое применение такие виды сварки как алюминотермитная (рис. 2) и электроконтактная (рис. 3). Преимуществом электроконтактной сварки является полностью автоматизированный процесс, а алюминотермитной — мобильность. Электроконтактную сварку выполняют как передвижными рельсосварочными машинами ОАО «РЖД», так и мобильными рельсосварочными комплексами подрядных организаций. До 2022 г. алюминотермитной сваркой занимались только подрядные организации, а с 2023 г. эта работа также проводится собственными силами ОАО «РЖД» по российской технологии.

Управлением пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры разработана и утверждена «Концепция перспективных направлений развития хозяйства пути и сооружений» с прогнозом на период до 2035 г. Неотъемлемой частью Концепции является развитие процессов сварки рельсов. Основная задача в данном направлении — увеличение объемов всех ви-

дов сварки до 81 тыс. стыков в 2025 г., что позволит в 2026 г. остановить прирост количества МВВП, а при ежегодном объеме сварки не менее 91 тыс. стыков с 2026 по 2035 г. обеспечить сокращение их количества на 33 %.

Увеличение объемов сварочных работ планируется как за счет применяемых сегодня технологий, так и благодаря внедрению новых перспективных методов сварки рельсов.

Кроме того, большую роль в снижении количества МВВП играет предотвращение их образования. После реализации в 2021–2022 гг. pilotного проекта по устранению дефектов 10.2, 11.2, 12.2, 14.2 алюминотермитной наплавкой на Октябрьской дороге, данная технология (рис. 4, 5, 6) получила применение на всей сети ОАО «РЖД». Мобильность алюминотермитной наплавки позволяет оперативно устранять возникающие дефекты головки рельсов с сохранением целостности пластины, а значит нет необходимости создания и содержания МВВП. В 2023 г. на сети ОАО «РЖД» работниками путевого комплекса вырезано и наплавлено 3445 дефектов.

Таким образом, в Центральной дирекции инфраструктуры организована работа по устранению и предотвращению образования МВВП, так же ведется поиск новых решений.

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ



ПИКАЛОВ А.С., АО «Калужский завод «Ремпутьмаш», заместитель генерального директора по развитию, канд. техн. наук,  
ИЛЬИНЫХ А.С., Сибирский государственный университет путей сообщения, докт. техн. наук,  
МИЛОРАДОВИЧ В.К., АО «Калужский завод «Ремпутьмаш», начальник технологической службы

Шлифование рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов является неотъемлемой частью текущего содержания пути. Шлифовка предназначена для следующего:

устранение обезуглероженного слоя и заводских геометрических неровностей на поверхности катания новых рельсов;

отдаление периода образования в головке дефектов контактно-усталостного характера;

восстановление, формирование и поддержание поперечного и продольного профилей головок;

предупреждение развития и устранение волнообразного износа, седловин, пробуксовок, механических повреждений, расплощивания, смятия, пластических деформаций головки рельса, неровностей в сварных стыках, отслоения и выкрашивания поверхности катания;

устранение шероховатости на рабочих поверхностях для снижения шума от движения поездов и повышения плавности хода подвижного состава.

Шлифовка рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов подразделяется на три вида:

**первоначальная** — предусматривает удаление обезуглероженного слоя у новых рельсов, а также дефектов их поверхности катания и новых рельсовых эле-

ментов стрелочных переводов. Ее целесообразно организовывать в заводских условиях;

**профилактическая** — подразумевает регулярное снятие поврежденного слоя металла с поверхностными трещинами. Позволяет предотвратить их ускоренное развитие, обеспечивает сохранение заданного профиля рельса. Как правило, назначается при наличии на поверхности катания неровностей, величина которых выше нормативной;

**профильная** — назначается в прямых участках пути для устранения волнообразного износа и неровностей; для восстановления поперечного профиля головки, приближенного к очертаниям нового рельса. В кривых участках пути она нужна для формирования профиля головки рельсов, способствующего улучшению контактирования колеса и рельса, устойчивому вписыванию экипажей.

Периодичность шлифовок планируют в соответствии с классификацией пути согласно Распоряжению ОАО «РЖД» от 22 февраля 2011 г. № 388р с учетом изменений от 25.05.2022 № 1399/р (табл. 1).

С учетом среднесетевых условий эксплуатации ( $v = 60 \text{ км/ч}, P_{oc} = 20 \text{ тс}$ ) шлифовку рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов необходимо выполнять после пропуска каждого 85 млн т брутто.

Шлифовка рельсов в пути происходит с помощью рельсошлифовальных поездов РШП-48К, РШП-48, RR-48, URR-112.

Однако ситуация с эксплуатируемым парком РШП на сегодняшний день довольно сложная. Парк рельсошлифовальных поездов устаревает и сокращается, в дальнейшем техника будет выбывать из

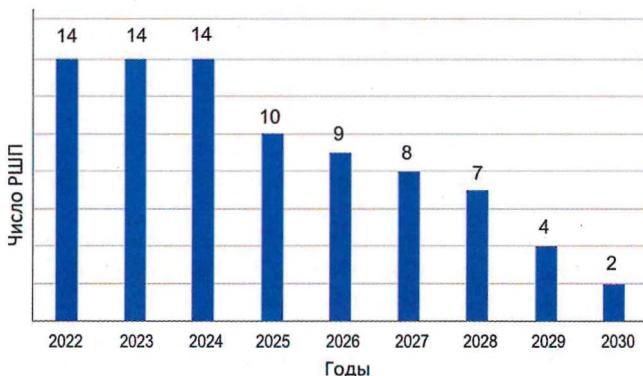


Рис. 1. Прогнозируемая динамика числа рельсошлифовальных поездов

Таблица 1  
Периодичность шлифовок рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов, выполняемых РШП и РШМ

Группа пути	Периодичность шлифовок, млн т брутто
В	40
С, П	40–60
О, I, II	85
III, IV, V	120

эксплуатации по причине исчерпания срока службы. Прогнозируемая динамика числа рельсошлифовальных поездов (без учета ввода в строй новых) приведена на рис. 1.

Из диаграммы можно сделать вывод, что в 2025 г. требуемый объем шлифования рельсов выполнить действующими РШП будет затруднительно, а к 2030 г. в эксплуатации их останется всего два. При этом необходимый ежегодный объем шлифовальных работ, по данным статистики ОАО «РЖД», составляет не менее 31 тыс. км проходов.

Самый востребованный рельсошлифовальный поезд РШП-48К представляет собой самоходную путевую машину с активными рабочими органами (рис. 2).

#### **Технические и технологические характеристики рельсошлифовального поезда РШП-48К**

Максимальная толщина снимаемого слоя (твёрдость 480 НВ) за один проход при скорости 5 км/ч, мм..... 0,2

Число шлифовальных головок, шт. ..... 48

Скорость движения, км/ч:

в составе грузового поезда или самоходом..... 80

в режиме шлифования..... 4–8

Длина поезда, м ..... 78,58

Тип энергетических установок и их мощность

(длительная), кВт:

КТТА50-G2 ..... 1298

6СТА8.3-G ..... 67

Параметры тока:

напряжение питания, В ..... 3×440

частота, Гц ..... 60

Масса поезда, т ..... 311

По применяемым на сегодняшний день технологиям шлифования рельсов регулирование режимов обработки возможно только за счет изменения скорости движения рельсошлифовального поезда. И то в очень узком диапазоне, что соответственно сужает область их применения. Разработка технологий шлифования с помощью РШП осуществляется на основе базы ремонтных профилей, из которых выбирается наиболее подходящий. К сожалению, эта база очень ограничена и, как правило, выбранный профиль не является оптимальным вариантом, в связи с чем происходит излишнее удаление металла, что отрицательно оказывается на общем ресурсе рельса. В используемых сейчас рельсошлифовальных поездах оценку качества проведенных работ можно выполнить только после полного завершения шлифования по результатам измерений.

Существующие технологии предполагают проектирование операций по шлифованию рельсов непосредственно на перегоне по результатам измерений, что отнимает значительный временной ресурс «окна».

Проектная команда РШП-2.0 на основании обращения ЦДИ от 17.04.2023 № 16392 проанализировала



Рис. 2. Рельсошлифовальный поезд РШП-48К

ситуацию за три года (2020, 2021, 2022 гг.) и пришла к выводу, что за одно «окно» продолжительностью 6 ч полезное время составило 200 мин (3,25 ч) в среднем по всем дорогам, а средняя выработка (при использовании РШП-48К с технологической производительностью от 4,4–5,5 км проход/ч) варьировалась от 14,2 до 17,9 км проходов.

При работе рельсошлифовального поезда съем металла составляет до 0,2 мм за один проход, при этом требуется закрытие движения поездов на целых перегонах. Низкая производительность приводит к значительным издержкам, связанным с ограничением пропускной способности участков пути, задержкой движения и снижением скорости перевозок.

#### **Предложения по усовершенствованию парка рельсошлифовальных поездов**

В соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р, необходима актуальная оптимизация производственных процессов.

В связи с этим остро встает вопрос создания нового рельсошлифовального поезда, отвечающего требованиям времени и способного решить задачи, наи-



Рис. 3. Рельсошлифовальный поезд РШП-2.0



Тягово-энергетическая секция	Секция для питания поезда от контактной сети	Рельсошлифовальная секция «Мастерская»	Рельсошлифовальная секция «Склад»	Рельсошлифовальная секция «Раздевалка»	Секция жилая с интегрированной кабиной управления
------------------------------	--	--	-----------------------------------	--	---

Рис. 4. Состав РСП-2.0

более важными из которых можно считать следующие:

увеличение скорости производства работ;  
повышение качества шлифования с минимальным набором технологических операций, которые надо выполнять до начала и по окончании работ.

**Обоснование оптимальных режимов скоростного шлифования рельсов. Влияние окружной скорости шлифовального круга на результат шлифования.** Уже давно известно, что с ростом окружной скорости шлифовального круга силы резания уменьшаются, шероховатость поверхности снижается, стойкость шлифовального круга возрастает, а износ при этом сокращается. Производительность съема металла за счет увеличения окружной скорости круга может быть значительно повышена.

Принимая во внимание особенности процесса шлифования, знание взаимозависимостей между его параметрами и применение максимальных окружных скоростей шлифовального круга, можно существенно повысить производительность труда по сравнению с обработкой металлов резанием с помощью геометрически определенной режущей кромки.

Для повышения производительности труда в технологические «окна» АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» реализует проект создания нового самоходного рельсошлифовального поезда РСП-2.0 (рис. 3, 4).

#### Техническая характеристика РСП-2.0

Длина поезда (6 секций), м .....	139
Скорость движения, км/ч:	
конструкционная на площадке (в снаряженном состоянии) .....	100

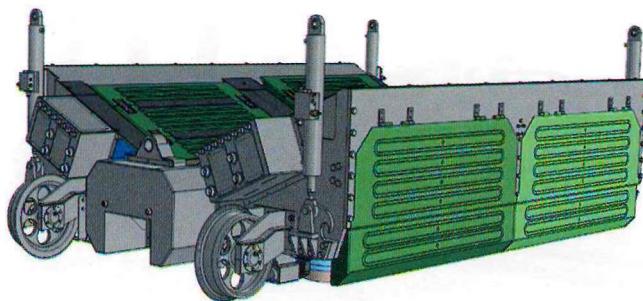


Рис. 5. Шлифовальная тележка рельсошлифовального поезда РСП-2.0

при транспортировании в составе поезда .....	100
рабочая (в зависимости от режима) .....	1–15
Максимальное возвышение наружного рельса, мм.....	150
Максимальный преодолеваемый уклон пути, %.....	40
Мощность тягово-энергетической секции, кВт....	3500
Вписываемость в габарит в транспортном положении по ГОСТ 9238 .....	1-Т
Минимальный радиус проходимых кривых, м:	
в транспортном режиме .....	120
в рабочем режиме .....	30
Толщина снятия слоя рельса в один проход при скорости:	
10 км/ч, мм.....	0,3
15 км/ч, мм.....	0,2
Угол поворота абразивных кругов относительно вертикальной оси рельсов, град:	
профиiliрующих тележек .....	от 0 до -70
сглаживающих тележек.....	от -20 до +20
Точность обработки поперечного профиля головки рельса, мм .....	±0,3
Количество шлифовальных кругов в тележке, шт. ....	8
Количество шлифовальных кругов, шт., не менее .....	48
Обслуживающий персонал, чел. ....	7
Автономность работы, мес. ....	1
Назначенный срок службы, лет, не менее .....	30
Рабочее оборудование (шлифовальные тележки) (рис. 5)	
Вписываемость в габарит в транспортном положении по ГОСТ 9238, габарит .....	1-Т
Рабочая скорость, км/ч.....	15
Угол поворота абразивных кругов относительно вертикальной оси рельсов, град:	
профиiliрующей тележки .....	от 0 до -70
сглаживающей тележки .....	от -20 до +20

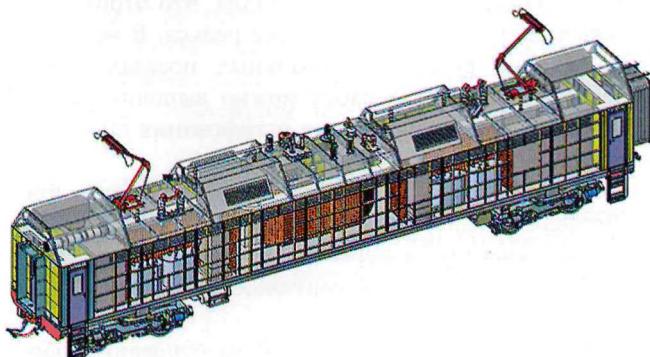


Рис. 6. Модуль для питания РСП-2.0 от контактной сети

Максимальный преодолеваемый уклон пути, %	40
Минимальный радиус проходимых кривых в рабочем режиме, м	200
Максимальное возвышение наружного рельса, мм	150

Большинство конструктивных элементов и узлов запланировано с использованием комплектующих и программного обеспечения Российского производства. Так, система адаптивного управления шлифованием разрабатывается Сибирским государственным университетом путей сообщения (СГУПС); дизельный двигатель 16-ДМ-185 — моторным заводом «Уральский дизель»; вспомогательный дизельный двигатель ЯМЗ — Ярославским моторным заводом (ЯМЗ); система управления рельсошлифовальным поездом — представителями ООО «Синара Алгоритм» и др. Важно отметить, что совместно с представителями оборонного предприятия АО «ТАЙФУН» удалось создать инновационный электропривод с частотой оборотов до 7000 об/мин, который будет установлен в рабочие органы машины.

Поезд оснащен различными системами российского производства: двумя контрольно-измерительными (СИ), аспирации, пылеудаления, пожаротушения, обнаружения препятствий, управления поездом (СУ), адаптивного управления процессом шлифования рельсов (САУ).

В проекте нового рельсошлифовального поезда также планируется реализовать систему электропитания от контактной сети переменного и постоянного тока (рис. 6). Данный модуль позволяет питать поезд в рабочем и транспортном режимах. Исходя из статистики потребления электроэнергии рельсошлифовальными поездами, загрузка этого модуля будет составлять не менее 84 %.

Отличительной чертой рабочего оборудования является использование усовершенствованных электродвигателей с частотой вращения абразивного инструмента до 7000 об/мин и новых абразивных кругов. Также в поезде планируется установить улучшенное программное обеспечение, позволяющее исключить операцию измерения до начала производства работ за счет получения фактических данных о состоянии пути из базы производственной системы ОАО «РЖД». Сравнительный анализ характеристик поездов РШП-48К и РШП-2.0 представлен в табл. 2.

Изучив предусмотренные в РШП-2.0 новшества, проектная команда составила график производства работ в технологическое «окно» продолжительностью 6 ч.

Из графика, следует, что при стандартном 6-часовом «окне» на участке ремонта пути полезное время использования нового самоходного рельсошлифовального поезда будет равно 4 ч. Это, в свою очередь, обеспечивает 60 км проходов за одно «окно» (при условии достижения требуемого качества работ за четыре прохода).

Таблица 2  
Сравнительный анализ технических и технологических характеристик поездов РШП-48К и РШП-2.0

№ п/п	Наименование	Значение		Эффект
		РШП-48К	РШП-2.0	
1	Вписываемость в габарит в транспортном положении по ГОСТ 9238	11-Т	1-Т	—
2	Максимальная толщина снимаемого слоя с головки рельсов за один проход, мм	0,2	0,3	Сокращение количества проходов
3	Скорость движения, км/ч: в режиме шлифования в транспортном режиме	4-8 80	1-15 100	Увеличение производительности на 88 % Увеличение транспортной скорости на 25 %
4	Назначенный срок службы, лет	25	30	Увеличение срока службы на 20 %
5	Длина участка производства работ, км	5	15	Увеличение участка производства работ в 3 раза
6	Количество выполненных километров проходов	20	60	Увеличение количества выполненных километров проходов в 3 раза
7	Общая производительность (с учетом сопутствующих операций), км проходов в час	3,3	10	Увеличение общей производительности в 3 раза

**Выводы.** Применение нового самоходного рельсошлифовального поезда РШП-2.0 позволит увеличить количество отшлифованных километров в стандартное технологическое «окно» продолжительностью 6 ч и сократить непроизводительное время. Возможная реализуемая выработка новым РШП на участке ремонта в стандартное технологическое «окно» составит 60 км проходов отшлифованного пути.

В пользу применения нового поезда говорит и возможность обновления базы данных производственной системы ОАО «РЖД» в части фактического состояния пути после шлифовки рельсов.

Немаловажным фактором является также использование в РШП-2.0 комплектующих и программного обеспечения российских производителей.

Технические и технологические решения, заложенные в новом РШП-2.0, позволяют создать поезд, который отвечает требованиям по увеличению производительности на участках ремонта, импортозамещению, внедрению цифровых систем и снижению вредных выбросов в окружающую среду.

Предполагаемая экономия эксплуатационных затрат на текущем содержании пути составит 85,7 тыс. руб/км в год.

# ОБСЛУЖИВАНИЕ МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МАШИНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ



КОЗЛОВ В.В., ОАО «Российские железные дороги», заместитель начальника Горьковской дирекции инфраструктуры

Начиная с 2017 г. на малоинтенсивных линиях Горьковской дирекции инфраструктуры созданы четыре дистанции инфраструктуры, в состав которых вошли практически все линии с 3-го по 5-й класс. Суммарная эксплуатационная протяженность дистанций составляет 2239,29 км.

При выполнении работ текущего содержания пути используют экскаваторы на комбинированном ходу. В 2023 г. объемы выполненных работ составили:

замена шпал — 2511 шт.;  
замена плети, разрядка плети, ввод плети в оптимальный режим — 30 км нити;  
погрузочно-разгрузочные и земляные работы — 23287 м<sup>3</sup>;  
замена рельсов, ремкомплектов, крестовин — 82 шт.;  
вырезка выплесков и загрязненного балласта — 9315 пог. м;  
очистка водоотводных канав, лотков — 30555 м<sup>3</sup>;  
вырубка кустарника в полосе отвода и окос травы — 821 га;  
планировка обочин, междупутий, полосы отвода — 9018 м<sup>3</sup>;  
очистка путей и стрелочных переводов от снега — 81000 пог. м.

В границах Горьковской железной дороги для экскаваторов-погрузчиков на комбинированном ходу при текущем содержании пути используют 17 видов навесного оборудования (96 шт.): крюк, ковш «обратная лопата», грейфер большой, грейфер для очистки шпальных

ящиков, баровую цепь, кусторез, планировочный ковш, ковш для зачистки водоотводных канав, модуль подбивки шпал, модуль для замены шпал, вертикальный бур, ковш трапециевидный, гидравлический молот, захват для шпал и бревен, щетку с гидроприводом, снегоочиститель шнекороторный, роликовый захват.

В 2024 г. с помощью экскаватора КГТ предстоит выполнить следующие работы:

замена деревянных шпал новыми — 30 тыс. шт.;  
замена деревянных шпал старогодными — 6,6 тыс. шт.;  
замена железобетонных шпал старогодными — 141,45 тыс. шт.;  
замена ремкомплектов новыми — 780 шт.;  
замена ремкомплектов старогодными — 110 шт.;  
замена крестовин новыми — 640 шт.;  
замена крестовин старогодными — 99 шт.;  
замена рельсов старогодными — 188,13 км нити;  
замена рельсовых плетей старогодными — 63 км нити;  
замена переводных брусьев — 65 комплектов;  
выправка пути одиночными машинами — 585,06 км;  
замена рельсовых плетей новыми по титулу ремонта — 120 км нити.

В дистанциях инфраструктуры проведен анализ работ по текущему содержанию пути, которые можно выполнить с применением экскаватора-погрузчика КГТ, а также другой автотракторной техники. Потребность в них составляет 33 единицы, в том числе:

экскаваторы на комбинированном ходу — 19 шт.;  
автомобили «КАМАЗ» с краном-манипулятором — 6 шт.;  
мульчер — 5 шт.;  
машина ЛПк\* — 3 шт.

Ключевой задачей в дистанциях является повышение доли механизированного труда при текущем содержании инфраструктуры. В 2023 г. доля ручного труда составила 92,7 %, механизированного — 7,3 %, причем учтены только путевые машины дирекции по эксплуатации путевых машин (ДПМ): выправочно-подбивочно-рихтовочные (ВПР и «Дуоматик»); выправочно-подбивочно-рихтовочные для стрелочных переводов (ВПРС и «Унимат»); путевой моторный гайковерт (ПМГ, МГП); машина для смены шпал (МСШУ). В результате применения машин всех типов численность монтеров пути в 2023 г. снизилась на

Сравнение трудоемкости выполнения работ ручным способом  
и с применением машин и механизмов

Вид работ	Трудоемкость, чел.-ч	
	без применения машин и механизмов	с применением машин и механизмов
Выправка пути (10 концов шпал)	3,13	0,93
Очистка кюветов (10 пог. м)	1,33	0,33
Замена шпал (1 шт.):		
деревянных	3,20	0,57
железобетонных	3,20	0,82
Очистка пути от снега (100 м <sup>2</sup> )	2,29	0,20
Вырезка балласта (1 м пути)	2,91	0,62

\*ЛПк — летучка путеремонтная комбинированная; может перемещаться как по автодороге, так и по пути.



Рис. 1. PETRAK-1221

51 чел. (10111 чел.-ч). В таблице представлены результаты сравнения трудоемкости выполнения работ ручным способом и с применением машин и механизмов.

Высвобождаемое рабочее время можно перераспределить для выполнения работ на других участках либо между дистанциями инфраструктуры.

Проведенные расчеты показали, что применение машин и механизмов позволяет условно высвободить 313265 чел.-ч, заменив их работой 3846 машино-смен.

В дирекции выполнен SWOT-анализ использования техники на KGT, который позволил выявить следующие преимущества и недостатки.

#### Преимущества:

- повышение производительности труда;
- уменьшение доли ручного труда;
- вывод работников путевого комплекса из зоны повышенной опасности;

минимизация потерь и повышение эффективности использования техники за счет большого набора выполняемых работ;

повышение качества работ и снижение затрат на устранение недоделок (дефектов);

в перспективе создание единой сквозной технологии и, как следствие, единая ответственность за производственный процесс; повышение надежности работы технических средств, безопасности движения.

#### Недостатки:

- значительные капитальные вложения;
- снижение пропускной способности участка из-за необходимости «окон» (в отдельных случаях);
- дефицит высококвалифицированных специалистов;
- неконкурентная заработка плата на уровне операторов экскаваторов;

недостаточный уровень долгосрочного планирования использования техники на объектах инфраструктуры;

необходимость изменения нормативной базы при организации работ на путях общего пользования;

несовершенство технологий передислокации техники по путям общего пользования.

В процессе эксплуатации техники на комбинированном ходу возникают следующие проблемы:

доставка машинистов, их проживание и прохождение медкомиссии;



Рис. 2. Железнодорожный автокран

отсутствие подменного парка при плановых видах ремонта;

значительные потери времени при транспортировке от места заезда экскаватора на путь до места выполнения работ;

необходимость экипировки экскаваторов-погрузчиков на комбинированном ходу навесным оборудованием.

Помимо KGT есть предложения и опыт работы с другой техникой, не уступающей в производительности и эффективности эксплуатации. Технику на комбинированном ходу изготавливают Санкт-Петербургские заводы «Желдормеханика», «Пролетарский завод», «Универсалмаш», Минский завод LOKOMOBILE, Калужский завод «Ремпутьмаш», Уфимский завод «Универсал агромаркет».

На рис. 1, 2 представлены аналоги экскаваторов-погрузчиков на комбинированном ходу KGT-4RS.

PETRAK-1221 (см. рис. 1), предназначенный для маневровых и поездных работ на пути с прицельным весом 500 т, может также передвигаться на колесном ходу по дорогам общего пользования. Локомобиль на базе МТЗ-1221.3 конкурирует с аналогичными отечественными и зарубежными транспортными средствами. Движение рельсового трактора осуществляется за счет колесного движителя по рельсам (два ведущих колеса переднего моста и два ведущих колеса заднего моста).

Железнодорожный автокран (см. рис. 2) собирают на шасси серийно выпускаемых грузовых автомобилей с установкой на раме передних и задних выносных опор для обеспечения устойчивости при работе крана с грузом и повышения грузоподъемности. Он оснащен системой комбинированного железнодорожного хода. К месту работ автокран способен передвигаться по рельсам колеи 1520 мм (1435 мм). По дорогам общего пользования он передвигается на штатном пневмоколесном ходу. Используют железнодорожный автокран для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, строительно-монтажных работ на рассредоточенных объектах; буровых и маневровых работ с вагонами.

Обслуживание малодеятельных участков железной дороги механизированным способом является перспективной технологией и заслуживает внимания для дальнейшей ее проработки и внедрения.

# АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

СКУТИНА О.Л., Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), канд. техн. наук,  
 СКУТИН Д.А., УрГУПС, канд. техн. наук, МАХОВА А.М., проектно-изыскательский  
 институт «Транспромпроект» УрГУПСа, инженер, СКУРИХИН А.И., ОАО «Российские железные дороги»,  
 Свердловская дирекция инфраструктуры, заместитель начальника отдела инженерных сооружений службы пути

**Аннотация.** В статье дана оценка состояния земляного полотна и водоотводных сооружений на Свердловской дороге в целом и по ее регионам. Определены основные факторы, действующие на образование и развитие деформаций. Проанализировано влияние движения тяжеловесных поездов на состояние земляного полотна железной дороги.

**Ключевые слова:** земляное полотно, водоотводные сооружения, дефекты и деформации, балластные корыта, тяжеловесное движение, крутизна откосов насыпи

Безопасные и бесперебойные железнодорожные грузовые и пассажирские перевозки могут быть обеспечены только при качественном обслуживании пути и, прежде всего, его основания — земляного полотна.

Как правило, доход железных дорог определяется объемом перевозимых грузов и получают его, как говорится, «с колес». При этом зачастую забывают, что состояние пути, по которому катится колесо, влияет не только на скорость и время доставки грузов, но и на себестоимость перевозок. Постоянные и временные ограничения скоростей движения поездов, связанные с наличием дефектов и деформаций земляного полотна, снижают доходность перевозок. Своевременное выполнение работ по содержанию, реконструкции и развитию объектов транспортной инфраструктуры позволит в разы сократить затраты на восстановление земляного полотна в аварийных ситуациях.

Однако состояние земляного полотна вызывает некоторые опасения. Статистические данные ОАО

«РЖД» свидетельствуют о том, что более 9 % (около 8 тыс. км) земляного полотна имеют дефекты и деформации [1]. При этом динамика изменения протяженности «большого» земляного полотна носит отрицательный характер.

На Свердловской дороге при общей протяженности около 7 тыс. км более 1 тыс. км — это земляное полотно, имеющее дефекты и деформации (рис. 1).

На рис. 2 приведен анализ состояния земляного полотна по регионам Свердловской дороги на основании данных за 2022 г. [2].

В соответствии с характером дефектов и деформаций земляного полотна все регионы дороги можно условно разделить на три группы.

В первую группу входят Пермский и Екатеринбургский регионы. На появление и развитие деформаций земляного полотна в этих регионах влияют горные подработки, карсты, скально-обвалочные участки с неустойчивыми откосами, а также дефекты водоотводных сооружений.

Вторая группа — Тюменский и Нижнетагильский регионы с более стабильным состоянием земляного полотна, но достаточно протяженными участками с балластными корытами (более 360 км или 85 % общей длины деформаций по регионам). Наличие балластных корыт приводит к просадкам и перекосам пути, неравномерному пучению грунтов. Всего на Свердловской дороге 164,28 км пучин, в том числе высотой более 25 мм — 9,46 км.

К третьей группе относится Сургутский регион, практически полностью расположенный на заболоченных участках и слабых основаниях, где протяженность насыпей составляет 114,84 км, при



Рис. 1. Техническое состояние земляного полотна на Свердловской дороге

том, что в пределах Свердловской дороги длина таких насыпей — 165,77 км.

Недостаточная несущая способность грунтов слабых оснований приводит к их осадке (этот дефект наблюдается на 14,83 км) и, как следствие, к осадке основной площадки земляного полотна, что вызывает необходимость периодической подъемки пути на балласт. Со временем ширина балластной призмы превышает нормативные размеры, что способствует образованию балластных шлейфов с завышенной крутизной откосов.

На появление дефектов и деформаций земляного полотна влияет состояние водоотводных сооружений. Они являются неотъемлемой частью всей конструкции. Их неудовлетворительное содержание приводит к появлению балластных корыт, осадке оснований, нарушению целостности и устойчивости откосов и т. д. Общая протяженность водоотводных сооружений на Свердловской дороге, требующих капитального ремонта, по данным за 2022 г. составляет 1150,4 км (табл. 1). На рис. 3 представлена протяженность водоотводных сооружений с дефектами и по видам деформаций без учета лотков и канализации.

Рост количества участков земляного полотна с дефектами и деформациями наблюдается также в связи с вводом в эксплуатацию тяжеловесных длинносоставных поездов. На Свердловской дороге выделяют два направления тяжеловесного движения (рис. 4) — Сургут—Войновка (Сургутский и Тюменский регионы) и Чепца—Седельниково—Называевская (Пермский, Екатеринбургский и Тюменский регионы). Суммарная длина таких участков по обоим направлениям превышает 2 тыс. км, (около 20 % протяженности главного хода), где обращаются грузовые поезда массой более 9000 т, длиной до 1,5 км, включающие более 100 условных вагонов.

Направление Север—Юг от Сургута — преимущественно равнинный участок, по которому доставляют жидкие углеводороды. При этом так называемые

Таблица 1  
Состояние водоотводных сооружений по регионам, км

Тип сооружения	Регион					Всего
	Пермский	Екатеринбургский	Тюменский	Нижнетагильский	Сургутский	
Кюветы	865,4	540,8	122,4	413,8	87,9	2030,3
	186,2	94,3	27,6	47,3	9,6	364,9
Нагорные канавы	367,6	217,4	29,9	164,0	21,7	800,7
	92,1	57,5	4,0	53,6	4,1	211,2
Водоотводные канавы	643,7	961,3	529,0	1047,4	1449,9	4631,3
	121,7	170,5	65,6	139,7	26,2	523,7
Лотки продольные	65,3	47,1	5,9	6,3	4,4	128,9
	14,5	10,6	1,6	3,7	1,3	31,7
Канализация и лотки на станциях	16,2	34,8	12,8	12,8	2,8	79,2
	4,5	10,0	2,6	1,5	0,2	18,9

Примечание. В числителе — общая протяженность участков, в знаменателе — протяженность участков, требующих капитального ремонта.

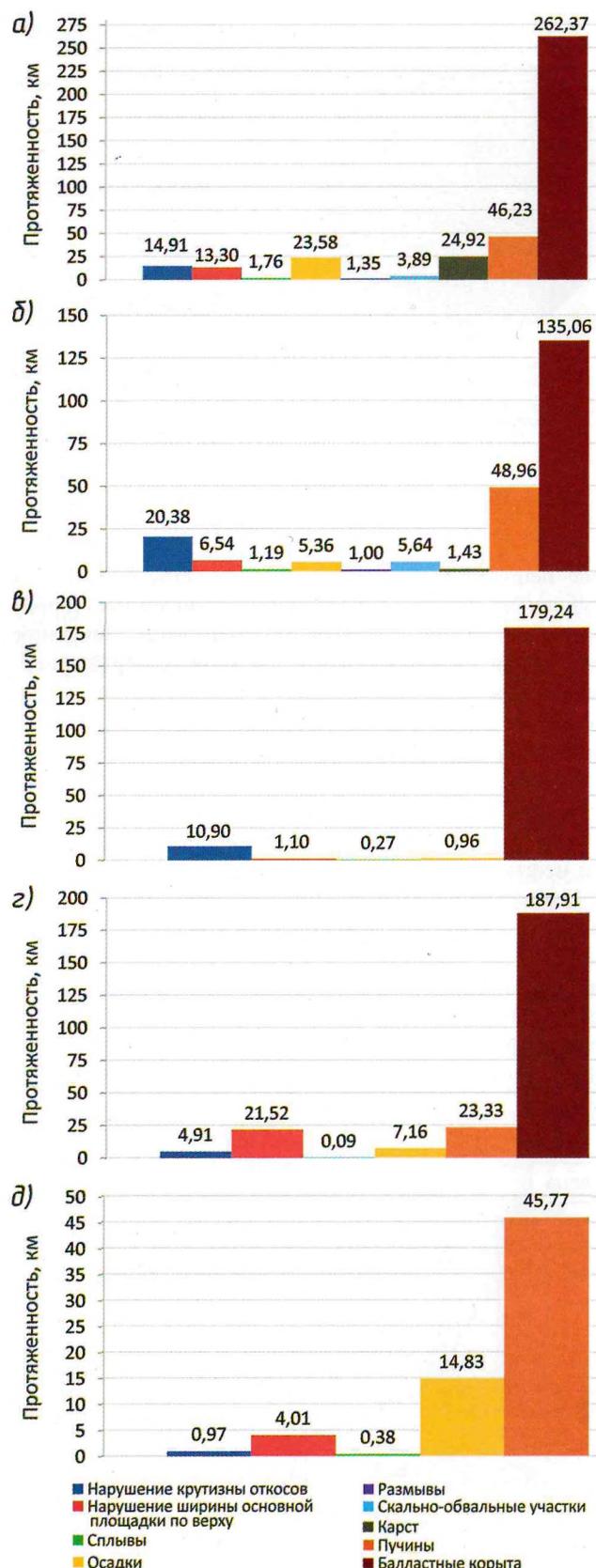


Рис. 2. Деформации земляного полотна по регионам Свердловской дороги:

а — Пермский, б — Екатеринбургский; в — Тюменский; г — Нижнетагильский; д — Сургутский

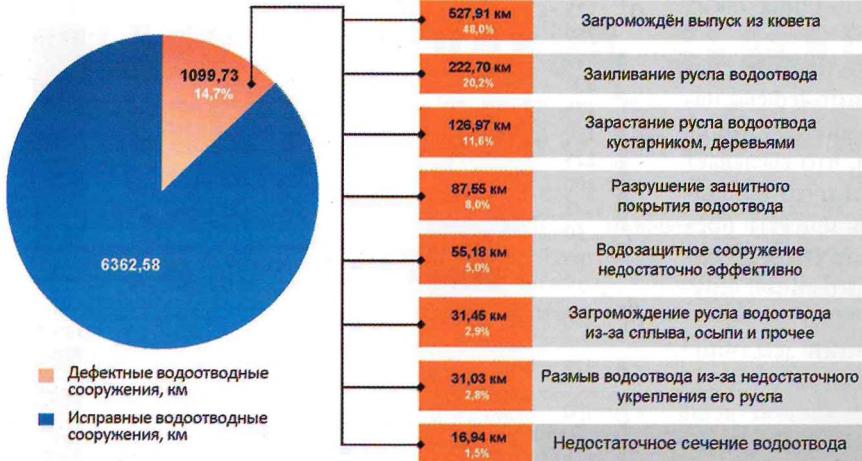


Рис. 3. Протяженность водоотводных сооружений с дефектами и по видам деформаций

мые нефтяные маршруты расположены во многих случаях на слабом основании (заболоченные территории, островная многолетняя мерзлота). Земляное полотно на таком основании склонно к неравномерным просадкам, что приводит к появлению неровностей на пути, толчкам при движении подвижного состава. Транспортировка жидких грузов — это всегда сложная задача, а при наличии неровностей на пути или колесе появляется дополнительное динамическое воздействие от колеблющейся густой тяжелой нефтяной массы, что усугубляет ситуацию.

Направление Восток—Запад — транзитный, в основном горный участок (часть Транссиба от Называевской до Чепцы), по которому проходят угольные маршруты поездов массой до 9000 т. От Перми сюда же подключаются составы с минеральными удобрениями, формируемые на дороге. На этом направлении в Пермском регионе затяжные многокилометровые

железных дорогах принято массу состава увеличивать не за счет осевых нагрузок, а за счет длины самого состава. Этот подход вызывает много «за» и «против», но факт остается фактом — по дорогам следуют поезда в 100 и более условных вагонов. При этом контакт длинносоставного поезда с путем примерно в 1,5 раза дольше, чем у состава стандартной длины. Это вызывает, во-первых, увеличенный боковой износ рельсов в кривых, так как проходит большее количество осей, и, во-вторых, возросшую концентрацию напряжений в нижнем и верхнем строении пути. Напряжения локализуются в местах существующих или зарождающихся дефектов, что приводит к их дальнейшему развитию и появлению деформаций. Путь не успевает «отдохнуть» от прохождения такого состава и вернуться в свое исходное состояние. Это еще одна причина появления и развития балластных углублений, выплесков, пучин.

Кроме того, участки тяжеловесного движения — это особо грузонапряженные участки (более 100–120 млн т·км груза брутто/км в год). Суммарный пропущенный тоннаж на таких линиях нарастает достаточно быстро и за короткий срок достигает значений, рекомендованных для проведения ремонтов пути. При этом приходится каждые 3–4 года выполнять средний ремонт и каждые 8–10 лет — капитальный. Напряженный график работы в «окно» нередко приводит к тому, что засорители выгружают прямо на откосы земляного полотна, что в итоге приводит к снижению их устойчиво-



Рис. 4. Участки тяжеловесного движения Свердловской дороги

сти и засорению кюветов в выемках. Объем таких «отложений» на откосах постоянно увеличивается.

Показатели дефектности земляного полотна в регионах с тяжеловесным движением наглядно свидетельствуют о наличии перечисленных проблем.

Следует также отметить, что около четверти общей протяженности дороги — земляное полотно, построенное более 100 лет назад. Нормы проектирования тогда были другие. За прошедшие годы нормативная ширина основной площадки увеличилась почти в 1,5 раза. Неудивительно, что земляное полотно, отсыпанное по старым нормам, не отвечает современным требованиям. Еще один момент: за годы эксплуатации таких участков пути капитальные ремонты проводились неоднократно, причем выправка пути в профиле зачастую выполнялась за счет досыпки балласта, со всеми вытекающими последствиями.

На дороге принимаются меры для стабилизации земляного полотна. В комплекс основных инженерных сооружений для защиты земляного полотна от повреждений и разрушений входят прорези и дренажи, подушки, улавливающие стенки, одевающие стенки, волноотбойные стенки, контрбанкеты и присыпные бермы, буны, волноломы (табл. 2 [2]).

Выполненный анализ состояния земляного полотна позволяет сделать следующие выводы:

основными деформациями земляного полотна на Свердловской дороге являются балластные корыта, завышенная крутизна откосов, неудовлетворительное состояние водоотводных сооружений;

возможен дальнейший рост и проявление новых деформаций, вызванный дефектами водоотводных сооружений;

рост количества деформаций земляного полотна вызван сложными природно-климатическими, строительно-технологическими, эксплуатационными и техногенными факторами.

Необходимо принимать все меры для обеспечения стабильности земляного полотна, финансировать и проводить его ремонт и реконструкцию. Надежная работа земляного полотна — это надежная работа пути в целом [4].

Таблица 2  
Основные инженерные сооружения по стабилизации земляного полотна на Свердловской дороге

Тип сооружений	Регион					Всего
	Пермский	Екатеринбургский	Тюменский	Нижнетагильский	Сургутский	
Прорези и дренажи, км	76,19 7,50	35,32 7,21	12,94 4,83	4,89 3,42	0,40 0	130 23
Подушки, пог. м	747532 0	1025451 0	831239 0	305449 0	144099 0	3053770 0
Улавливающие стенки, пог. м	3149 1319	0 0	0 0	0 0	0 0	3149 1319
Одевающие стенки, м <sup>2</sup>	59843 53535	19140 9900	0 0	0 0	0 0	78983 63435
Волноотбойные стенки, пог. м	309 0	2500 1100	0 0	0 0	25960 0	28769 1100
Контрбанкеты и присыпные бермы, пог. м	22114 0	108258 310	27932 0	20880 0	363212 0	542396 310
Буны, волноломы, пог. м	0 0	0 0	3550 0	0 0	13601 0	17151 0

П р и м е ч а н и е . В числителе приведена общая протяженность сооружений, в знаменателе — требующих капитального ремонта.

#### Список источников

- Лебедев А.В. Состояние земляного полотна по итогам его эксплуатации в 2016 г. // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: труды XIV Международной научно-технической конференции / Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. М.: МИИТ, 2017. С. 26–29.
- Технический паспорт земляного полотна по Свердловской дирекции инфраструктуры за 2022 г. Сводная ведомость показателей состояния земляного полотна по Свердловской дирекции инфраструктуры. Табл. 1.
- Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути в карстоопасных районах: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 30.11.2011 № 2576р.
- Повышение устойчивости земляного полотна с помощью армирования геосинтетическими материалами / А.И. Скутин, Д.А. Скутин, О.Л. Скутина, А.И. Табынщиков // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сборник научных трудов. Хабаровск: Издательство ДвГУПС, 2016. Вып. 4. С. 351–354.

#### ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE GROUNDBED OF THE SVERDLOVSK RAILWAY

**Skutina Olga** — Ph.D., Associate Professor of the Department of «Track and railway construction» of the Ural State University of Railways. Yekaterinburg, Russia. Oskutina@usurt.ru

**Skutin Dmitry** — Ph.D., Associate Professor of the Department of «Track and railway construction» of the Ural State University of Railways. Yekaterinburg, Russia.

**Makhova Alina** — engineer of the Design and Survey Institute «Transpromprojekt» of the Ural State University of Railways. Yekaterinburg, Russia.

**Skurikhin Anton** — Deputy Head of the Department Engineering Structures of the Track Service of the Sverdlovsk Directorate of Infrastructure of JSC «Russian Railways», Yekaterinburg, Russia.

**Abstract.** The article assesses the condition of the subgrade and water diversion ditch on the Sverdlovsk railway in general and in the regions of the railway. The main factors influencing the appearance and development of deformities have been identified. The influence of the movement of heavy trains on the condition of the railway subgrade is analyzed.

**Keywords:** subgrade, water diversion ditch, defects and deformations, ballast wash-tub, heavy trains, the angle of inclination of the slope of the subgrade.

# Опыт ЕВРАЗ ЗСМК по производству рельсов для тяжеловесного движения на экспорт

**ПОЛЕВОЙ Е.В., АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «Евраз ЗСМК»), начальник научно-исследовательского отдела, канд. техн. наук, МОЛОКАНОВ Р.Н., АО «Евраз ЗСМК», технический директор, БОРИСОВ А.С., АО «Евраз ЗСМК», начальник службы технического и технологического развития — главный инженер, ЮНУСОВ А.М., АО «Евраз ЗСМК», начальник бюро научных исследований и разработок, БЕССОНОВА О.В., АО «Евраз ЗСМК», главный специалист — металловед по электронной микроскопии и исследовательским работам**

В связи с расширением рынков сбыта существенно увеличился грузопоток как на межгосударственных, так и на национальных железнодорожных линиях. В связи с этим активно развивается тяжеловесное движение: увеличиваются массы составов и локомотивов, вводятся в эксплуатацию инновационные вагоны с повышенными нагрузками на ось, увеличиваются тяговые усилия подвижного состава и т.п. [1, 2], что влечет за собой ужесточение условий эксплуатации элементов верхнего строения пути (ВСП) и сокращение срока их службы. Назрела необходимость разработки новых конструкций и материалов, отвечающих современным требованиям.

Из всех элементов ВСП рельсы являются самыми металло- и ресурсоемкими. Для удовлетворения потребностей заказчиков АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (г. Новокузнецк) разработало новые категории рельсов специального назначения, в том числе предназначенных для высокогрузонапряженных дорог Восточного полигона и Сибири [3]. Кроме того, рельсы производства ЕВРАЗ ЗСМК, выполненные по экспортным заказам, широко используются за рубежом на линиях грузового движения с повышенными осевыми нагрузками.

Для рельсов, работающих в условиях высокой грузонапряженности, требуются высокая износостойкость, а для рельсов, работающих в условиях высоких осевых нагрузок, — высокая конструктивная прочность, для обеспечения которой необходимы тяжелые рельсы.

В настоящее время погонный вес самых тяжелых типов в наиболее часто применяемых рельсовых

стандартах составляет 65–75 кг/м. Для достижения максимального эффекта нужно использовать комфортные профили колеса и рельса, а также систематически проводить шлифование, гарантирующее устранение дефектов, возникающих при эксплуатации, и максимальный срок службы рельсов.

В России и за рубежом износостойкость рельсов повышают, увеличивая их твердость, разрабатывая и применяя заэвтектоидные стали с повышенным содержанием углерода [3–6]. К недостаткам таких рельсов относится высокая склонность к поражению контактно-усталостными дефектами вследствие сниженной пластичности. Отечественным металлургам удалось увеличить прочность и твердость, сохранив пластичность, при разработке новых рельсов категории ДТ400ИК [3, 7], однако оптимальный химический состав, структура и свойства рельсов требуют доработки.

В рамках выполнения экспортных заказов ЕВРАЗ ЗСМК осваивает новые марки сталей, в том числе для тяжеловесного движения. Следует выделить рельсы углеродистые стандартного химического состава по AREMA\*, получившие во внутреннем марочнике ЕВРАЗ ЗСМК маркировку Б76, и Apex<sup>TM</sup> G2HH (далее — G2HH), разработанные специалистами Evraz North America (г. Пуэбло, США) [8]. В настоящее время они поставляются в Бразилию и Северную Америку, а в перспективе будут применяться в Южной Африке и Австралии. Железные дороги этих стран характеризуются высокими осевыми нагрузками — 32–36 тс.

Рельсы Б76, освоенные на ЕВРАЗ ЗСМК в 2013–2015 гг., используются в Бразилии тремя крупнейшими операторами: All Latina logistics, Rumo и VLI. Структура железных дорог Бразилии почти на 2/3 состоит из участков тяжеловесного движения и на 1/3 — из участков совмещенного смешанного движения. Рельсы поставляются в двух профилях: 60E1 по EN 13674 и RE136 по AREMA. К настоящему времени успешно эксплуатируются более 23 тыс. т рельсов.

Сложность освоения этих рельсов заключалась в требованиях, выдвинутых заказчиком: они должны быть изготовлены в соответствии с требованиями AREMA из стандартной стали и при этом по свойствам отвечать требованиям, предъявляемым к высокопрочной стали, обладающей высокой твердостью

Таблица 1  
Требования к механическим свойствам рельсов Б76

Образец	Характеристика	Норма, не менее
Головка	Твердость на ПКГ*, НВ	370
	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	830
	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	1200
	Относительное удлинение, %	10
	Относительное сужение, %	18
Подошва	Относительное удлинение, %	10
	Относительное сужение, %	18

\*ПКГ — поверхность катания головки.

\*AREMA — American Railway Engineering and Maintenance of Rail Association — Американская ассоциация по технике железнодорожного транспорта и техническому обслуживанию пути.

на поверхности катания и высокими прочностными свойствами при невысоких требованиях по относительному сужению (табл. 1). Потребитель предъявил также дополнительное требование по оценке и нормированию пластических свойств на образцах, вырезанных из центральной части подошвы.

Требования АРЕМА к химическому составу стали Б76 (рельсы стандартной прочности) по сравнению с требованиями отечественного стандарта ГОСТ Р 51685–2013 к рельсовым маркам стали отличаются в основном нормами содержания углерода, хрома, ванадия и алюминия.

Низкое (не более 0,30 %, а с выходом АРЕМА 2017 г. – 0,25 %) содержание хрома обусловило трудности в достижении необходимого уровня свойств стали при термообработке с использованием остаточной теплоты предпрокатного нагрева на установке дифференцированной закалки ЕВРАЗ ЗСМК, использующей в качестве закалочной среды воздух с низкой охлаждающей способностью. Тем не менее, комбинируя оптимальный химический состав, технологические режимы прокатки и термообработки, удалось получить требуемые свойства. Из представленных на рис. 1 частотных распределений механи-

ческих свойств по результатам приемосдаточных испытаний 84 плавок видно, что металл рельсов соответствует требованиям научно-технической документации как в головке (близкий уровень свойств рельсов категории ДТ350 текущего производства), так и в подошве. Относительное сужение в подошве немного ниже, чем в головке.

Марка стали G2HN разработана в 2015 г. и запатентована в 2017 г. специалистами EVRAZ North America. В 2019 г. на ЕВРАЗ ЗСМК освоена технология производства рельсов из этой стали и начаты их поставки в Бразилию (рельсы типа 60E1 и 136RE длиной 24 м). Эта сталь относится к перлитному классу эвтектоидного состава. В ней, в отличие от традиционных перлитных сталей, существенно изменены соотношения марганца и хрома. Твердость на ПКГ рельсов из стали G2HN составляет более 400 НВ. Изначально они заявлены разработчиками как рельсы с высокими твердостью и вязкостью.

В табл. 2 и на рис. 2 представлены параметры и микроструктура рельсов из сталей Б76 и G2HN по сравнению с рельсами новых категорий ДТ370 и ДТ400ИК производства ЕВРАЗ ЗСМК.

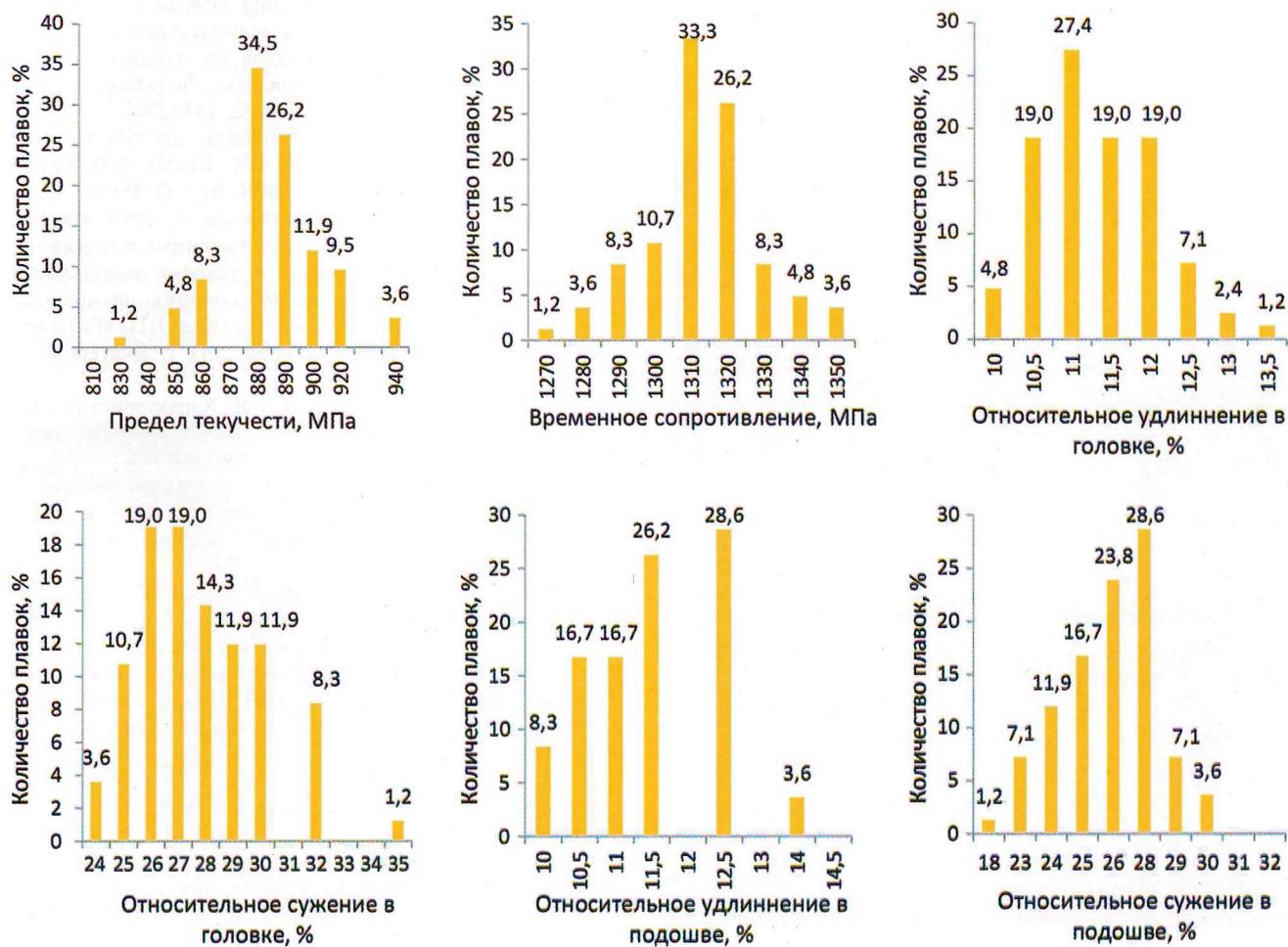


Рис. 1. Механические свойства рельсов Б76

Таблица 2

## Характеристика рельсовой стали для тяжеловесного движения

Характеристика стали	Марка стали			
	Б76	ДТ370	G2НН	ДТ400ИК
Твердость на ПКГ, НВ	396	395	415	425
Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	880	941	976	950
Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	1310	1356	1385	1440
Относительное удлинение, %	11	12	10,7	11
Относительное сужение, %	30	36	38	29
Ударная вязкость, КСУ+20Дж/см <sup>2</sup>	17	26	14,5	20,5
Трещиностойкость, K <sub>IC</sub> , МПа·м <sup>1/2</sup>	34	34	35	34
Межпластиночное расстояние, нм	129	84	82	105
Размер зерна, мкм	25	22	28	25

Механические свойства рельсов марки ДТ400ИК и G2НН схожи, при этом ДТ400ИК немного тверже и прочнее, а G2НН имеют лучшие показатели относительного сужения и самые низкие показатели ударной вязкости. Квалификационные испытания, выполненные во ВНИИЖТе, подтвердили сопоставимость механических свойств рельсов из этих сталей. В то же время исследования, проведенные ОАО «УИМ» по прокаливаемости и износостойкости [9], выявили небольшое преимущество рельсов заэвтектоидного состава ДТ400ИК.

Рельсы ДТ370ИК имеют преимущество перед рельсами Б76 по пластичности, ударной вязкости и прочности; по твердости и трещиностойкости они сопоставимы.

Минимальные значения межпластиначатого расстояния отмечены для сталей ДТ370 и G2НН; минимальный размер зерна — для стали ДТ370, а максимальный — для G2НН. Максимальное межпластиночное расстояние отмечено в стали Б76, легированной в наименьшей степени.

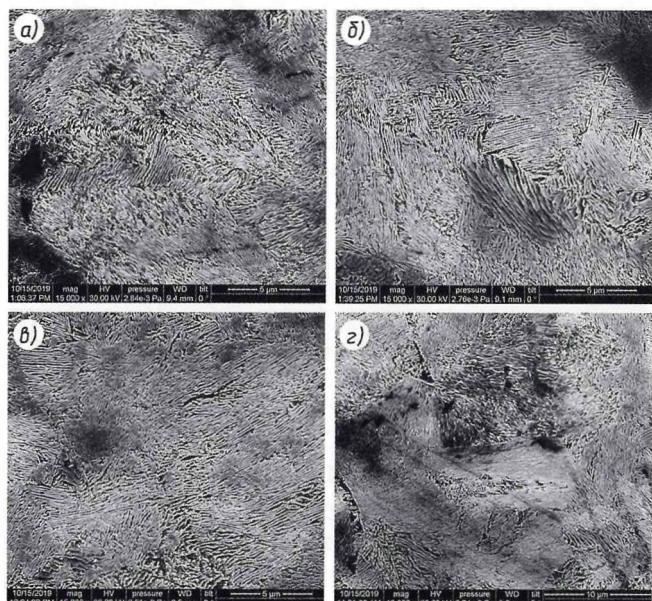


Рис. 2. Микроструктура рельсов из стали:  
а — Б76; б — ДТ370; в — Г2НН; г — ДТ400ИК

**Заключение.** Компания ЕВРАЗ ЗСМК имеет большой опыт производства и поставки рельсовой продукции, предназначенной для наиболее нагруженных участков с различными климатическими условиями как в России, так и за рубежом.

Требования бразильских потребителей, предъявляемые к рельсам для тяжеловесного движения, не превышают требований к новой и текущей рельсовой продукции для ОАО «РЖД». Более того, разработанные для российских нужд рельсы категорий ДТ370 и ДТ400ИК имеют ряд преимуществ и отличаются наиболее сбалансированным комплексом свойств среди сталей эвтектоидного и заэвтектоидного состава по сравнению с рельсами, разработанными для зарубежных поставок. Тем не менее, при необходимости ЕВРАЗ ЗСМК, используя накопленный опыт, готов к производству опытной партии рельсов для экспортной поставки и оценки ее в условиях ОАО «РЖД».

## Список источников

1. Захаров С., Мугинштейн Л., Шур Е. Ренессанс железных дорог: новые вызовы для производителей рельсов // Инженерные решения. 2012. № 1. С. 2–3.
2. Лисицын А.И. Актуальные требования к рельсовой продукции, поставляемой для ОАО «РЖД» // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сборник научных докладов по материалам 131-го заседания НП «Рельсовая комиссия», Челябинск, 24–25 сентября 2015 г. Екатеринбург, 2016. С. 193–200.
3. Новейшие разработки рельсовой продукции в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» / Е.В. Полевой, Г.Н. Юнин, А.В. Головатенко, М.В. Темлянцев // Сталь. 2019. № 7. С. 55–58.
4. Ивано Г., Каця И. Технические и эксплуатационные характеристики рельсов с высоким содержанием углерода // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сборник научных докладов по материалам 127-го заседания НП «Рельсовая комиссия», Анапа, 28–29 сентября 2011 г. Екатеринбург, 2012. С. 72–80.
5. Масару У., Каця И., Такэси Я. Характеристики термоупрочненных рельсов и новейшие разработки Nippon Steel // Инженерные решения. 2012. № 1. С. 5–7.
6. Производство рельсов повышенной износостойкости / В.В. Павлов, Л.А. Годик, Л.В. Корнева, Н.А. Козырев, Р.А. Гизатулин // Известия вузов. Черная металлургия. 2007. № 10. С. 35–37.
7. Патент № 2743534. РФ, B21B 1/85. Способ изготовления железнодорожных рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости / Полевой Е.В., Юнин Г.Н., Кузнецов Е.П., Дорофеев В.В., Головатенко А.В.; патентообладатель АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». № 2020115426; заявл. 04.09.2018; опубл. 19.02.2021; Бюл. № 5.
8. Patent № 9670570 B2 US. High carbon steel rail with enhanced ductility / J.V. Kristan, G.R. Lehnhoff, M.D. Richards; Assig. EVRAZ Inc. Appl. 14/255693570; Filed 17.04.2014; Publ. 06.06.2017.
9. Исследование влияния химического состава, микроструктуры и механических свойств на износостойкость рельсовой стали / А.Б. Добужская, Г.А. Галицын, Г.Н. Юнин, Е.В. Полевой, А.М. Юнусов // Известия вузов. Черная металлургия. 2020. № 12. С. 52–55.

УДК 625.151

# К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА КОНТРРЕЛЬСОВЫХ ПОДКЛАДОК

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

**Аннотация.** Объект исследования — подкладка контррельса стрелочного перевода. Выполнен анализ характера разрушения подкладок, проведены циклы лабораторных и натурных экспериментов для изучения напряженно-деформированного состояния в опасной зоне опорной пластины подкладки. Разработана дискретная модель подкладки и проведен цикл расчетных исследований. Предложены варианты конструкции подкладки контррельса, которые позволяют снизить уровень напряжений в опасной зоне. Выполнена сравнительная оценка среднего ресурса серийной и новой конструкции подкладок контррельса.

**Ключевые слова:** контррельсовая подкладка, лабораторный и натурный эксперимент, дискретная модель подкладки, оценка среднего ресурса, конструкция.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации предусматривает значительное повышение сроков эксплуатации стрелочных переводов за счет внедрения новых, перспективных конструкций отдельных элементов этих сложных объектов верхнего строения пути [1].

В данной статье рассмотрим конструкцию специальной подкладки стрелочного перевода, выполняющей двоякую функцию — фиксацию подошвы ходового рельса и крепление контррельса. Такие подкладки устанавливают по всей длине контррельса, и в зависимости от марки перевода их число может изменяться от шести до девяти и более. Поскольку контррельсовая подкладка поддерживает оба элемента — ходовой рельс и контррельс, то длина ее больше, чем у обычной подкладки и колеблется от 406 до 586 мм. Ширина же изменяется от 178 до 203 мм, толщина — от 16 до 25 мм [2–5]. Конструктивно подкладка представляет собой опорную пластину (подошву) с размещенным на ней перпендикулярно упором, к которому собственно и крепится уголковый контррельс. Для усиления конструкции соединение опор-

ной пластины с упором снабжено ребрами жесткости.

На рис. 1 показан вариант контррельсового узла, где хорошо виден сам контррельс из уголкового спецпрофиля СП-850, ходовой рельс и подкладки под ними на железобетонных брусьях. На рис. 2 отдельно представлена контррельсовая подкладка с упором, имеющим передние и задние ребра жесткости.

Анализ работы контррельсовых подкладок показывает, что эти элементы часто выходят из строя по причине излома опорной пластины. Излом вызывают усталостные трещины, зарождающиеся и развивающиеся в зоне, где подошва ходового рельса сближает-



Рис. 1. Контррельсовый узел — ходовой рельс с контррельсом уголкового профиля СП-850

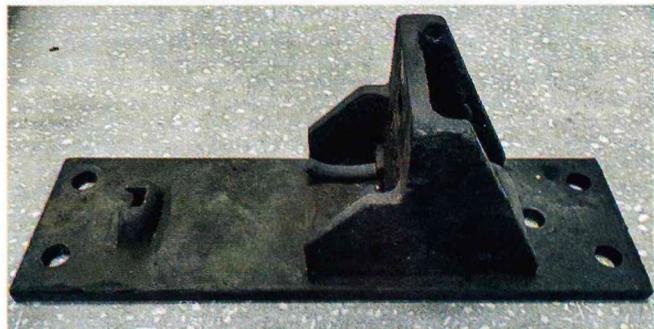
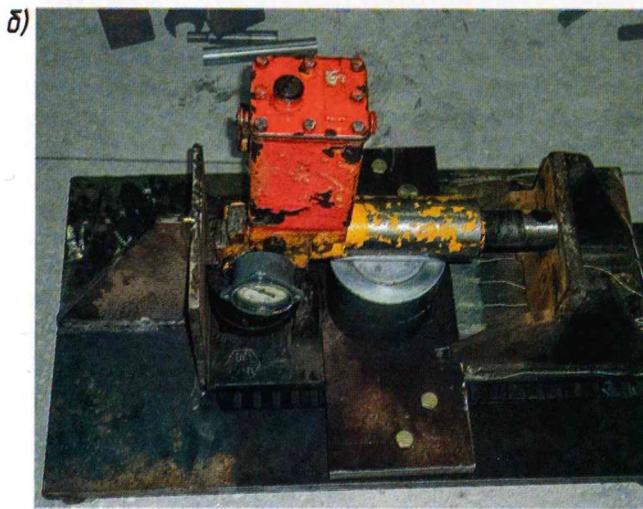


Рис. 2. Контррельсовая подкладка с упором



Рис. 3. Характерный вид разрушения контррельсовой подкладки

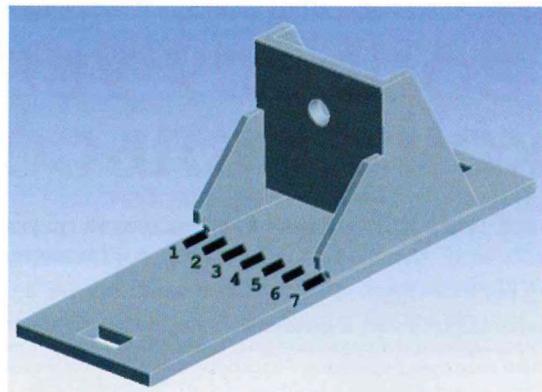


**Рис. 4.** Приспособление (а) с размещенной на нем контррельсовой подкладкой и металлической пластины, имитирующей подошву рельса, и нагруженное устройство (б)

ся с краем ребра жесткости упора [6]. На рис. 3 можно видеть типовой характер разрушения подкладки. Как правило, такому повреждению наиболее подвержены передние подкладки, расположенные на входе в сужающийся желоб контррельса. Это неудивительно, так как именно они воспринимают наиболее жесткий удар колесных пар, смещаемых в колее контррельсом.

Выход из строя подкладки контррельса может привести к серьезным нарушениям в графике движения поездов. В соответствии с Инструкцией [7] при полном или частичном разрушении одной или нескольких подкладок скорость требуется резко ограничить либо вообще закрыть движение.

Данные по эксплуатации материалов верхнего строения пути только по двум региональным отделениям различных участков Южно-Уральской дороги свидетельствуют, что расходы на ремонтные комплексы контррельсовых подкладок без учета затрат на их



**Рис. 5.** Дискретная модель подкладки с указанием мест размещения датчиков

замену составляют более 2 млн руб. в год. Таким образом, повышение усталостной прочности этих изделий — актуальная задача, решение которой предполагает проведение комплексных расчетно-экспериментальных исследований, целью которых является следующее: уточнение нагрузок, действующих на подкладку в условиях эксплуатации; изучение характера распределения напряжений в опасных зонах; создание дискретной модели подкладки для расчетных исследований; разработка конструкторских мероприятий по повышению надежности подкладок.

На первом этапе уже выполнены лабораторные эксперименты на специальном приспособлении (рис. 4, а) для последующей верификации дискретной модели подкладки [6]. Нагружение подкладки осуществлялось гидравлическим домкратом (рис. 4, б), распределение деформаций регистрировалось тензорезисторными преобразователями, установленными по ширине подкладки. Результаты фиксировались измерительными устройствами.

В результате лабораторных исследований была получена необходимая информация для верификации дискретной модели подкладки контррельса, подготовленной с использованием ППП «SolidWorks». Расчетные исследования 3D-модели выполнялись с использованием пакета «ANSYS Workbench» [6, 8–11].

Сравнение расчетных и экспериментальных результатов представлено в таблице.

Созданная дискретная модель (рис. 5) позволяет выполнять оценку напряженно-деформированного состояния контррельсовой подкладки, анализировать ее различные конструктивные варианты и выбрать из них наиболее приемлемый.

(Окончание в следующем номере)

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ СТРЕЛОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ НАГРУЗОК



ГЛЮЗБЕРГ Б.Э., АО «ВНИИЖТ», докт. техн. наук,  
ТИТАРЕНКО М.И., АО «ВНИИЖТ», канд. техн. наук

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы обеспечения надежной работы стрелочного хозяйства в условиях повышенного воздействия подвижного состава, приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния стрелочных переводов типа Р50 на деревянном основании в условиях обращения поездов с повышенными нагрузками на ось, даны рекомендации по эксплуатации таких переводов.

**Ключевые слова:** нагрузка на ось вагонов, стрелочные переводы, напряженно-деформированное состояние, повышенное воздействие, особенности работы, предложения по эксплуатации.

Особенности современного развития страны требуют быстрого наращивания объемов перевозок на ряде направлений сети ОАО «РЖД». Решать эту задачу возможно за счет организации движения поездов повышенной массы и длины. В частности, планируется использовать грузовые вагоны с нагрузкой на ось 25 тс и более. Инфраструктура железных дорог, и в первую очередь путевое хозяйство, должны обеспечивать устойчивую работу в этих напряженных условиях [1–3].

Однако на тех магистралях, где необходимо существенное увеличение объемов перевозок, мощность верхнего строения пути и стрелочных переводов не всегда отвечает планируемым нагрузкам от подвижного состава. Так, на Восточном полигоне в маршрутах обращения поездов повышенной массы и длины наряду с конструкциями верхнего строения пути с рельсами типа Р65 эксплуатируются также стрелочные переводы типа Р50 на деревянном основании устаревших проектов. Замена этих переводов на современные, соответствующие новым условиям эксплуатации, потребует значительных средств и, что особенно важно, это процесс отнюдь не быстрый. Тем не менее, в сложившейся обстановке требуется обеспечить безопасную работу стрелочных переводов в условиях, когда нагрузки, испытываемые ими, могут превышать значения, заложенные при проектировании.

В рамках подготовки стрелочного хозяйства Восточного полигона к интенсивному использованию в перевозочном процессе поездов повышенной массы и длины, АО «ВНИИЖТ» были проведены испытания по определению воздействия таких поездов на

стрелочные переводы и глухие пересечения типа Р50 на деревянном подрельсовом основании. При этом ставилась задача оценки воздействия тяжеловесных поездов на переводы при их фактическом состоянии, имеющем место на тот момент (учитывалась износшенность конструкции).

Стрелочный перевод типа Р50 марки 1/9 проекта 2643.00.000 (рис. 1) и глухое пересечение типа Р50 марки 2/9 проекта 1686.00.000 (рис. 2) на деревянных переводных брусьях, эксплуатирующиеся на путях приемо-отправочного парка станции Тында, послужили объектами для испытаний. Грузонапряженность путей, на которых они находятся, достигает 18,1 млн т·км брутто/км в год, наработанный тоннаж на момент испытательных работ составлял 350 млн т брутто.



Рис. 1. Стрелочный перевод типа Р50 марки 1/9 на путях приемо-отправочного парка станции Тында



Рис. 2. Глухое пересечение типа Р50 марки 2/9 на путях приемо-отправочного парка станции Тында

На момент проведения динамико-прочностных испытаний износ остряков, рамных рельсов и рельсов соединительных путей стрелочного перевода не превышал 4,0 мм. Поверхность катания остряков и рамных рельсов не была поражена дефектами. Износ крестовины составлял 2,3 мм. На поверхности катания усиков и сердечников отмечены выкрашивания металла глубиной до 1,5 мм.

Износ острых крестовин типа Р50 марки 2/9 глухого пересечения достигал 2,5 мм, тупых — 6,5 мм. На поверхности катания острых и тупых крестовин глухого пересечения отмечено выкрашивание металла глубиной до 2,0 мм.

Состояние стрелочного перевода типа Р50 марки 1/9 и глухого пересечения типа Р50 марки 2/9 по параметрам ширины колеи, ординатам и разметрам желобов соответствовало требованиям Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути.

Состояние переводных брусьев и скреплений на стрелочном переводе и глухом пересечении соответствовало требованиям обеспечения безопасности движения. На переводе и глухом пересечении отмечено не более двух—трех отдельных дефектных брусьев.

Таким образом, общее состояние стрелочного перевода и глухого пересечения можно считать вполне удовлетворительным.

Испытания указанных объектов проводились как под воздействием грузовых составов так, и испытательного поезда, включающего локомотив и два груженых грузовых вагона, с проследованием по прямому и боковому направлениям стрелочного перевода. Осевые нагрузки вагонов достигали 25,0 тс, скорости движения — 25 км/ч.

В результате испытаний получены следующие результаты. Наибольшие зарегистрированные напряжения в кромках подошвы остряков, рамных рельсов, рельсов соединительных путей и усиков крестовины перевода типа Р50 марки 1/9, а также усиков острых крестовин глухого пересечения типа Р50 марки 2/9 достигали соответственно 340, 360, 280, 200 и 300 МПа при допускаемых величи-

нах 275 МПа в кромках подошвы остряков и 240 МПа во всех остальных элементах. Как следует из представленных данных, за исключением напряженного состояния усиков крестовины стрелочного перевода, в остальных рельсовых элементах наибольшие зарегистрированные напряжения превышали допускаемые значения.

В подошве литой части крестовины стрелочного перевода, острой и тупой крестовин глухого пересечения наибольшие зарегистрированные напряжения достигли соответственно 250, 270 и 240 МПа при допускаемой величине 110 МПа. Таким образом, в литой части крестовины перевода и глухого пересечения наибольшие зарегистрированные напряжения превышали допускаемые значения более чем в два раза.

Наибольшие упругие изменения ширины колеи в сторону уширения в зоне стрелки, соединительных путей и крестовины стрелочного перевода достигли 4,2; 5,0 и 1,5 мм. В зоне острой и тупой крестовин глухого пересечения наибольшие зарегистрированные упругие уширения составили соответственно 1,5 и 2,5 мм. Такие деформации можно отнести к допустимым, так как они не превышают аналогичных величин, получаемых при испытаниях стрелочных переводов.

## Выводы и предложения

Для стрелочных переводов типа Р50 устаревших конструкций скорости движения поездов повышенной массы и длины по их прямому и ответвленному направлениям (включая глухие пересечения и перекрестные съезды) могут быть установлены 25 км/ч.

В то же время следует иметь в виду, что результат превышения силовых параметров воздействия на стрелочные переводы типа Р50 будет выражаться в сокращении ресурса их элементов. Поэтому в целях обеспечения безопасности движения поездов необходимо реализовать комплекс мероприятий по повышению надежности конструкций.

1. Прежде всего, в связи с тем, что уровень напряжений в элементах стрелочных переводов и глухих пересечений типа Р50 на маршрутах обращения поездов повышенной массы и длины превышает допускаемый, необходим усиленный контроль за ними с полным обследованием металлических частей, в том числе за счет увеличения частоты осмотров.

2. Необходимо обеспечить поставку новых элементов для своевременной замены дефектных в эксплуатируемых переводах и глухих пересечениях.

3. Для повышения стабильности колеи на стрелочных переводах типа Р50 зону стрелки целесообразно усилить стяжными элементами, разработанными на основе применяемых в современных конструкциях переводов. Следует повысить мощность опорных поверхностей рельсовых элементов

# ИСТОРИЯ НАЗНАЧЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПУТИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО РАСЧЕТНОГО ПАРАМЕТРА



**АППИЗ Е.С., Российский университет транспорта (МИИТ), докт. техн. наук,  
ЗАМУХОВСКИЙ А.В., МИИТ, канд. техн. наук,  
ГРЕЧАНИК А.В., МИИТ, канд. техн. наук**

Методики расчетов пути на прочность появились практически одновременно со строительством первых железных дорог в России и наиболее активное развитие получили в начале ХХ в. Целью расчетов являлась (и является) оценка надежности существующей и перспективной конструкции верхнего строения пути, а также расчетное обоснование эффективности конструктивных решений.

Первоначально, еще в 1835 г. П.П. Мельников предложил рассчитывать рельс как балку, лежащую на двух жестких опорах, за таковые принимались две рядом лежащие шпалы. В 1874 г. Ф. Энрольд, а после него в 1875 г. Э. Винклер, рассматривали рельс как балку на нескольких жестких опорах. Формула для рельса как балки на трех упругих опорах дана И. Шведлером. В 1888 г. доктор Г. Циммерман рассмат-

ривал рельс как балку на четырех упругих опорах под воздействием одиночного груза. В 1888 г. профессор А.А. Холодецкий дал расчет рельсов на совместное действие вертикальных и горизонтальных статических сил, а в 1897 г. определил моменты, изгибающие рельс, и опорные давления от системы сил. Он впервые сделал попытку ввести в расчет динамические воздействия от подвижного состава на рельс.

Замечательный русский ученый Н.П. Петров представил работу рельса как балки на шести упругих опорах и впервые (1903 г.) составил и решил, пользуясь методом конечных разностей, дифференциальное уравнение равновесия вертикальных сил, возникающих при движении колес. Он исследовал влияние неровностей на колесах и рельсах (1905 г.) и составил для практических расчетов специальные таб-

в зоне крестовин за счет увеличения площади опирания подкладок и количества прикрепителей. Эта мера достигается установкой дополнительных подкладок на брусьях в упор к основным.

4. На маршрутах обращения грузовых поездов повышенной массы и длины целесообразно предусмотреть плановое усиление конструкций верхнего строения, для чего вместо стрелочных переводов типа Р50 на деревянном основании выполнить укладку переводов типа Р65 на железобетонном основании, что будет способствовать повышению скоростного режима и пропускной способности линии.

## Список источников

1. Королёв В.В., Шишкина И.В., Зверкова Н.В. Обеспечение работы стрелочных переводов в условиях сибирского климата // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 10. С. 2—4.
2. Королёв В.В. Перспективные разработки стрелочных переводов для российских железных дорог // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: труды XIV Международной научно-технической конференции. М., 2017. С. 193—194.
3. Шишкина И.В., Зверкова Н.В., Елесина Л.А. Применение стрелочных переводов с непрерывной поверхностью катания при повышении осевых нагрузок и скоростей движения поездов // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2018. Том 12. № 12. С. 127—128.

## ENSURING RELIABLE OPERATION OF TURNOUT FACILITIES UNDER INCREASED LOADS

**Glyuzberg Boris** — D. Sci., Professor JSC «Research Institute of Railway transport» (JSC «VNIIZHT»), Chief researcher of the institute. Moscow, Russian Federation. Glusberg@mail.ru

**Titarenko Michail** — Ph. D., scientific consultant, JSC «Research Institute of Railway transport» (JSC «VNIIZHT»). Moscow, Russian Federation. 77tit@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the issues of ensuring the operation of switch facilities under conditions of increased exposure to rolling stock, presents the results of studies of the stress-strain state of Р50 type turnouts on a wooden base under conditions of exposure to rolling stock with increased axle loads, and provides recommendations for the operation of such turnouts under heavy load conditions movements.

**Keywords:** loads on the axle of cars, turnouts, stress-strain state, increased impact, operating features, suggestions for operation.

лицы. В 1915 г. А.А. Холодецкий, после Н.П. Петрова, получил функциональную зависимость влияния неровности, очерченной по двум прямым («впадина Холодецкого»), на изгиб рельса.

Классическое исследование воздействия подвижного состава на путь в кривых принадлежит крупнейшему русскому ученому профессору К.Ю. Цеглинскому (1903 г.).

Большие для того времени экспериментальные исследования были проведены в 1897–1898 гг. профессором А.Л. Васютынским на Варшаво-Венской железной дороге, показавшие запаздывание вертикальных изгибов рельсов по отношению к действующей нагрузке. Им же в 1932 г. на участке Варшава–Прушков были выполнены тщательно поставленные эксперименты, подтвердившие эти запаздывания. Такое явление имеет место вследствие действия сил неупругого сопротивления, развивающихся в пути под нагрузкой и вызывающих рассеяние энергии.

Соображения о вероятностном характере распределения напряжений и деформаций в каждом сечении пути высказывал Н.П. Петров еще в 1906 г. в своей работе [1].

В 1920-х годах рельс было принято рассматривать как многопролетную неразрезную балку, лежащую на упругих опорах, поэтому естественно, что и расчет его развился из методов расчета неразрезных балок на упругих опорах [2].

При этом первоначально рельс рассчитывался по теории Г. Циммермана, рассматривавшего рельс как балку, лежащую на четырех упругих опорах, нагруженную посередине среднего пролета одним грузом. Профессор В.П. Крачковский вникает в расчетную схему глубже [2]: «В действительности же действующие на рельс силы в виде локомотива представляют собой не один груз, а целую систему их, причем моменты, определенные для системы грузов, дают расхождения с моментами, найденными по одиночному грузу, весьма значительные (30–40 %). Это заставляет принимать в расчет систему грузов.

До 1925 г. расчет пути на систему грузов у нас делался по формулам Клапейрона, причем решение по этому способу было чрезвычайно громоздко и потому практического распространения не имело».

В 1925 г. В.П. Крачковский разработал таблицы ординат инфлюэнтных линий, благодаря которым определение изгибающего рельс момента и давления на опору свелось к простым арифметическим действиям. Дальнейшее развитие метода расчета балок на многих упругих опорах, выполненное инженером В.В. Григорьевым (1928 г.) и профессором В.П. Крачковским (1931 г.), позволило уточнить значения ординат инфлюэнтных линий.

Необходимость решения задачи по расчету пути для системы грузов и те трудности ее разрешения, которые возникли при непосредственном примене-

нии сложных клапейроновских уравнений, заставили искать иную схему, приводящую к цели более простым способом. Такой схемой явился расчет рельсово-го пути как балки, лежащей на сплошном равногупругом основании.

Первоначально решение этой задачи было дано немецким ученым Гаарманом, но оно получилось весьма громоздким и по удобству, изяществу и простоте значительно уступало решению, предложенному в 1915 г. профессором С.П. Тимошенко [3] и получившему распространение в США, а с 1925 г. и в СССР. «Таким образом, статический расчет пути в настоящее время может вестись одинаково просто и успешно как по методу упругих опор, так и по методу сплошного упругого основания» [2].

Расчет пути как балки, лежащей на сплошном упругом основании, ведется, как известно, по следующим формулам.

Напряжение в рельсе

$$\sigma = M/W = (\Sigma P\mu)/4kW, \quad (1)$$

где  $M$  — изгибающий момент в рельсе от воздействия эквивалентной нагрузки;

$W$  — момент сопротивления рельса;

$\Sigma P\mu$  — эквивалентный груз, заменяющий систему сил от поездной нагрузки при работе рельса на изгиб; при одиночном грузе он обращается в  $P$ ;

$k = \sqrt[4]{(U/4EI)}$  — коэффициент относительной жесткости основания рельса. В последнем выражении  $U$  — модуль упругости основания рельса, МПа, т. е. сила, приходящаяся на единицу длины рельсового пути, вызвавшая его осадку на 1 мм;

$E$  — модуль упругости рельсовой стали, равный  $2,1 \times 10^5$  МПа;

$I$  — момент инерции рельса.

Давление на шпалу определяется по формуле

$$Q = (kI\Sigma P)/2, \quad (2)$$

где  $I$  — расстояние между шпалами;

$\Sigma P$  — эквивалентный груз, заменяющий поездную нагрузку в отношении давления на шпалу.

Рассматривая формулы (1) и (2), мы видим, что обе они содержат модуль упругости подрельсового основания  $U$ , от значения которого и зависят как  $\sigma$ , так и  $Q$ .

Так как в действительности рельс опирается на основание не сплошь по всей длине, а только по попечным поверхностям шпал, то  $U$  представляет собой некоторую фиктивную силу. Ее можно получить, разделив силу  $D$ , вызывающую осадку полуспалы на глубину 1 см, на величину расстояния между шпалами:

$$U = D/I. \quad (3)$$

Появление фиктивной силы и есть результат принятия в качестве рабочей гипотезы метода расчета рельса как балки, лежащей на сплошном упругом основании.

Что касается силы  $D$ , то ее определяют по формуле

$$D = \alpha w C, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент изгиба шпалы, т.е. отношение средней осадки шпалы к ее осадке под рельсом;

$w$  – площадь нижней постели полуспалы;

$C$  – коэффициент постели шпалы, т.е. сила, приходящаяся на единицу площади нижней постели шпалы и вызывающая ее осадку на единицу длины.

Профессор Крачковский пишет [2]: «Таким образом, коэффициент  $U$  не является первичным, самостоятельным коэффициентом, а зависит от типа шпалы (зависимость эта выражается коэффициентом изгиба  $\alpha$  и площадью  $w$ ), числа шпал на километр (величина  $l$ ) и коэффициента постели шпалы  $C$ .

Первичным коэффициентом является коэффициент  $C$ , коэффициент же  $U$  есть функция  $C$  и ряда остальных перечисленных выше факторов. Тем не менее в США, а с 1931 г. и у нас, за основной коэффициент, принятый при официальных расчетах пути, принял коэффициент  $U$ . Поэтому необходимо коснуться истории перехода у нас от  $C$  к  $U$ .

Это привело к выводу, что коэффициент  $\alpha$  нельзя определять теоретически, а только экспериментально. Таким образом, для выявления численных значений характеристик пути требовалось ставить эксперименты для определения  $\alpha$  по прогибам шпалы и, кроме того, производить измерение осадки шпалы в сечении под рельсом для установления  $C$ .

Одновременно выяснилось, что осадки рельса значительно превосходят осадки шпал. Это было открыто, собственно говоря, еще профессором А.Л. Васютынским, но соответствующих выводов не сделано, и лишь в 1931 г. инженер Б.Н. Сергеев пришел к следующему заключению: «Нельзя ожидать, что коэффициент  $C$ , определенный по осадкам шпалы, может служить основанием для вычисления упругих оседаний пути и напряжений в рельсах. Точно также нельзя определять напряжения в шпалах по коэффициенту, определенному на основании измеренных оседаний рельса, без введения соответствующих поправочных коэффициентов» [4]. Далее он пришел к выводу, который сформулировал следующим образом: «Чтобы получить способ расчета, основанный на вполне реальных коэффициентах, установленных опытным путем, оставался только один путь – отказаться от традиционного коэффициента  $C$  и по примеру Американской комиссии перейти к модулю рельсового основания  $U$ , определенному по действительным осадкам рельса под нагрузкой. Этую последнюю задачу Путевая экспериментальная станция и выполнила в течение 1930 г.» [4].

Таким образом, мотивами к отказу от коэффициента постели шпалы  $C$  и переходу к модулю упругости рельсового основания  $U$  послужили следующие причины:

1) сложность определения коэффициента изгиба шпалы  $\alpha$  и невозможность правильно установить его теоретически;

2) необходимость помимо  $\alpha$  определять коэффициент постели шпалы  $C$ , для чего необходимы наблюдения над осадками шпал в сечениях под рельсом;

3) непригодность  $C$ , определенного по осадкам шпалы, для вычисления упругих оседаний пути и напряжений в рельсах;

4) возможность определения  $U$  непосредственными измерениями осадок рельса.

К необходимости отказаться от  $C$  и перейти к  $U$  приходит и инженер А.Е. Алексеев, который формулирует свое мнение следующим образом: «Для характеристики упругости основания при расчете напряжений в рельсах следует отказаться от коэффициента постели шпал  $C$  и пользоваться модулем упругости основания рельса  $U$  как величиной, наиболее полно отражающей упругие свойства всех элементов пути в целом» [5].

Тем не менее, в Европе основным параметром для пути принят коэффициент постели подшпалового основания  $C$ , перевести его в модуль упругости подрельсового основания можно по формуле

$$U = \frac{C\Omega_a}{l}, \quad (5)$$

где  $C$  – коэффициент постели подшпалового основания,  $N/m^3$ ;

$\Omega_a$  – эффективная площадь полуспалы,  $m^2$ ;

$l$  – расстояние по осям шпал, м.

Итак, модуль упругости пути  $U$  является характеристикой пути, наиболее полно отражающей упругие свойства подрельсового основания, поскольку коэффициент постели  $C$  не учитывает упругий прогиб рельса относительно подрельсовой опоры.

#### Список источников

- Петров Н.П. Напряжения в рельсах от изгибов в вертикальной плоскости и вероятность определения этих напряжений опытами. СПб.: Типо-литография Шредера, 1906. 107 с.
- Крачковский В.П. Расчеты железнодорожного пути: работы Кафедры железнодорожного пути / Под ред. Н.Т. Митюшина. М.: Трансжелдориздат, 1937. 135 с. (Труды Московского института инженеров транспорта им. И.В. Сталина).
- Тимошенко С.П. К вопросу о прочности рельс. СПб.: Издательство Института инженеров путей сообщения, 1915. 42 с.
- Сергеев Б.Н. Пересмотр действующих правил расчета пути // Пересмотр путевых расчетов. М.: Гострансиздат, 1931. С. 133–185. (Труды Центрального института научных исследований и реконструкций железнодорожного пути НКПС; сборник №. 11).
- Алексеев А.Е. Экспериментальное определение модуля упругости рельсового пути // Пересмотр путевых расчетов. М.: Гострансиздат, 1931. С. 30–89. (Труды Центрально-го института научных исследований и реконструкций же-лезнодорожного пути НКПС; сборник №. 11).

УДК 625.12.033

# ВИБРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПУТЬ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА ВОСТОЧНОМ ПОЛИГОНЕ

**ПУПАТЕНКО В.В.,** Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС),  
канд. техн. наук, **СТОЯНОВИЧ Г.М.,** ДВГУПС, докт. техн. наук, **ПУПАТЕНКО К.В.,** ДВГУПС, канд. техн. наук,  
**БОБРИНСКАЯ В.Е.,** ДВГУПС, студентка

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований колебаний грунтов земляного полотна, измеренных на уровне основной площадки. Для анализа выделены группы записей, полученных на участках четного пути Транссиба с бесстыковой конструкцией пути. Определены линейные зависимости амплитуд трех компонент колебаний и результирующих значений от скорости движения подвижных единиц. Установлено превышение базового уровня воздействия исправных полувлагонов с углем при изменении режима ведения поезда и при наличии отступлений от норм содержания подвижного состава в 2–2,5 раза. В расчетах конструкций земляного полотна конечно-элементными методами предлагается применять синтезированные расчетные акселограммы (велосиграммы или дисплограммы), построенные на основе спектров по трем независимым координатным осям.

**Ключевые слова:** земляное полотно, измерение колебаний, осевая нагрузка, виброускорения, виброскорость, виброперемещения, тяжеловесные поезда, длинносоставные поезда.

В целях определения уровня вибрационного воздействия поездной нагрузки на земляное полотно сотрудники ДВГУПС ежемесячно (1–3 раза в месяц) с марта 2022 г. по август 2023 г. проводили полевые измерения на участках Восточного полигона. Измеряли колебания грунтов, зарегистрированные при проходе тяжеловесных и сдвоенных поездов (массой 6300–7100, 8000, 15000 т и более), доля которых на Дальнем Востоке в последние годы увеличивается. Регистрировали уровни виброускорений, виброскоростей и виброперемещений. Работа выполнена в связи с изменениями условий эксплуатации пути, изменением конструкции пути (повсеместным переходом на бесстыковой путь с железобетонными шпалами), увеличением весовой нормы поездов и применением новых типов локомотивов.

Основная задача — актуализация данных [3, 5, 7] об уровне вибрационного воздействия на грунты земляного полотна в зоне основной площадки для основных компонент колебательного процесса.

Для непрерывной одновременной регистрации трех компонент ускорения применяли акселерометр Guralp GMT-5T, регистратор GeoSIG GSR-24A и комплекс проприетарного программного обеспечения GeoDAS [2, 4, 7]. Зарегистрированы скорости грузовых поездов на участке до 80 км/ч. К обработке приняты полувлагоны с углем с осевой нагрузкой 23–25 тс. За время экспериментов записаны данные от проходящих поездов, состоящих из электровозов серии ЭС и полувлагонов с углем общим количеством от 55 до 63–68 шт., и сдвоенных поездов (в каждой группе — 71–74 шт.) с тремя секциями электровозов в середине состава.

Обработаны следующие выборки: все вагоны состава; группы полувлагонов до 20 шт., движущихся с

примерно одинаковой скоростью (первая группа); отдельные вагоны, имеющие неисправности ходовой части или вызывающие повышенное динамическое воздействие на путь в момент изменения режима ведения поезда (вторая группа), и другие выборки.

Выполнена стандартная статистическая обработка исходных записей акселограмм, велосиграмм и записей виброперемещений с расчетом среднеквадратического значения, дисперсии, максимального вероятного значения с нормирующим множителем, определяющим вероятность события 0,994 [1, 3, 4, 7]. Дополнительно обработаны выборки по наиболее часто применяемым локомотивам — электровозам ЗЭС5К (двух- и четырехсекционные электровозы ЭС рассматривали отдельно). Измерения были выполнены на четном пути главного хода Транссиба в прямом участке бесстыкового пути (рельсы Р65, шпалы ШЗД, стандартная эпюра, скрепление ЖБР-65Ш с полимерным боковым упором, балласт щебеночный) на здоровом земляном полотне.

На рис. 1 приведен пример записи ускорений (от 18.06.2023), зарегистрированных при проходе сдвоенного тяжеловесного поезда с углем со средней скоростью 63 км/ч: в голове состава — локомотив ЗЭС5К (скорость его движения — 58,5 км/ч), затем 72 полувлагона с углем (скорость — 59–65 км/ч), в средней части состава — второй трехсекционный электровоз ЗЭС5К (скорость — 65,3 км/ч), затем 73 полувлагона с углем (скорость — 65,3–62,8 км/ч).

Получены максимальные (пиковые) значения ускорения в долях ускорения свободного падения  $g$ : по вертикальной составляющей — 1,942  $g$ ; по горизонтальной вдоль пути составляющей — 2,114  $g$ ; по горизонтальной поперек пути составляющей — 2,067  $g$ . Эти уровни воздействия связаны с возникно-

вением продольных сил в поезде при ступенчатом изменении тяги локомотива, неодновременном воздействии головного электровоза и электровоза, находящегося в середине состава, при увеличении или уменьшении скорости движения.

Кроме того, повышенные воздействия на верхнее строение происходят при проходе вагонов с отступлениями в тележках, ползунами на колесах. Они фиксируются как повторяющиеся удары с характерным звуком на контрольном видеофрагменте, который сопровождает каждую экспериментальную запись. Выделяется также повышенный уровень амплитуд колебаний в момент прохода электровозов, заметно общее увеличение амплитуд ускорений в хвосте состава при увеличении скорости движения до 65 км/ч (см. рис. 1).

Пиковые значения в долях г для тех же составляющих виброскоростей: 0,003247, 0,00626, 0,004420 гс; для виброперемещений — соответственно 0,000625, 0,0000575, 0,00003041 гс<sup>2</sup>. Такой информации для анализа записи, в которой содержится 98544 отсчета по каждому из трех измерительных каналов, недостаточно. Обработка исходной информации для отдельно обработанной записи позволила перейти от ускорений интегрированием исходной записи к виброскоростям, а последующим интегрированием получить значения виброперемещений (см. таблицу).

После обработки каждой полученной исходной записи или выборки массивы данных перестраивают в зависимости от цели исследования, например от скорости движения поездов, осевой нагрузки и других параметров.

Такой порядок расчетов применен далее к каждой полученной в цикле измерений записи; для построения графиков использовались средние квадратические значения амплитуд каждой компоненты колебаний по осям X, Y и Z. Кроме того, рассчитаны результатирующие амплитуды колебаний  $A_p$  как корень из суммы квадратов вертикальной, горизонтальной вдоль пути и горизонтальной поперек пути составляющих.

После обработки исходных записей получены массивы значений по полувагонам и электровозам ЗЭС5К для различных скоростей движения.

По всем полученным зависимостям стандартными средствами выведены уравнения линий тренда. Использовались линейная и степенная зависимости. При определенных преимуществах степенной зависимости [2, 7] к дальнейшему анализу принята линейная зависимость вида  $y = kx$ . Единственный угловой коэффициент всех зависимостей

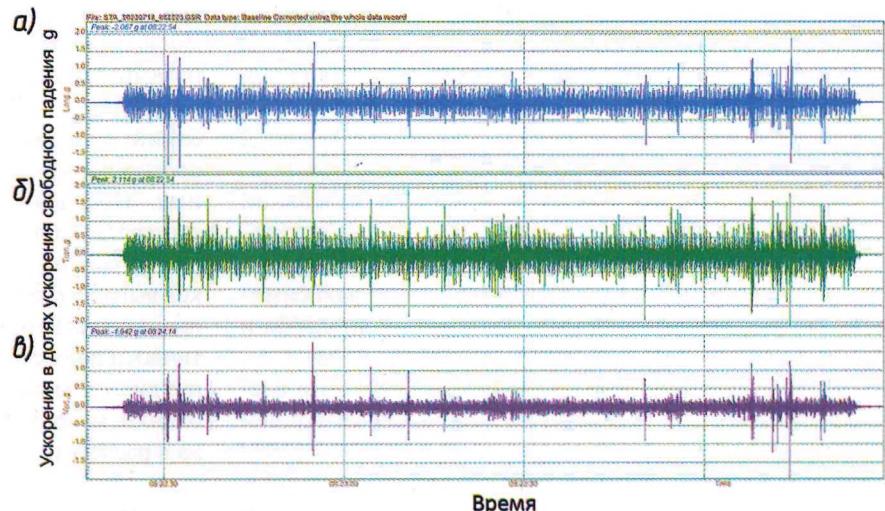


Рис. 1. Запись ускорений при проходе тяжеловесного состава с углем:  
а — горизонтальные поперек пути; б — горизонтальные вдоль пути; в — вертикальные

может быть использован для прогноза уровня амплитуд при увеличении скоростей движения поезда или, наоборот, в условиях, когда необходимо исключить влияние скорости движения подвижного состава (например, для анализа изменения уровня колебаний от состояния грунтов земляного полотна в период глубокого сезонного промерзания и оттаивания, в период сезонного обводнения и в других случаях).

#### Результаты статистической обработки записи, полученной при проходе сдвоенного грузового поезда (локомотив ЗЭС5К, 74 полуваагона с углем, электровоз ЗЭС5К, 71 полуваагон с углем)

Амплитуда по ортогональным осям и $A_p$ (результатирующая амплитуда)	$A_y$	$A_x$	$A_z$	$A_p$
Виброускорения				
Среднее квадратическое значение	$6,88 \cdot 10^{-1}$	$7,53 \cdot 10^{-1}$	$7,91 \cdot 10^{-1}$	1,29
Дисперсия	$4,82 \cdot 10^{-2}$	$5,78 \cdot 10^{-2}$	$6,38 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-1}$
Среднеквадратическое отклонение, м/с <sup>2</sup>	$6,88 \cdot 10^{-1}$	$7,53 \cdot 10^{-1}$	$7,91 \cdot 10^{-1}$	$9,95 \cdot 10^{-1}$
Максимальное вероятное значение, м/с <sup>2</sup>	1,72	1,88	1,98	3,31
Виброскорости				
Среднее квадратическое значение	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$2,11 \cdot 10^{-3}$	$3,67 \cdot 10^{-3}$
Дисперсия	$3,48 \cdot 10^{-7}$	$5,68 \cdot 10^{-7}$	$4,53 \cdot 10^{-7}$	$6,92 \cdot 10^{-7}$
Среднеквадратическое отклонение, м/с	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$2,11 \cdot 10^{-3}$	$2,60 \cdot 10^{-3}$
Максимальное вероятное значение, м/с	$4,62 \cdot 10^{-3}$	$5,90 \cdot 10^{-3}$	$5,27 \cdot 10^{-3}$	$9,09 \cdot 10^{-3}$
Виброперемещения				
Среднее квадратическое значение	29,65	68,90	46,19	88,09
Среднеквадратическое отклонение, мкм	29,65	68,90	46,19	55,65
Максимальное вероятное значение, мкм	74,14	172,27	115,46	207,41

\*Данные В.В. Пупатенко, обработка Ю.А. Сухобок и К.В. Пупатенко; расчет по средней скорости с использованием [2].

На рис. 2 представлены зависимости результирующих амплитуд виброускорений, виброскоростей и виброперемещений от скорости движения подвижной нагрузки (полувагонов с углем, осевая нагрузка — 23–25 тс; выборки по скорости движения). Из рис. 2 видно, что линейная функция хорошо описывает зависимость величины каждой компоненты колебаний от скорости движения полувагонов с углем; показатель достоверности  $R^2$ , позволяющий оценить отклонение измеренных данных от выбранной зависимости, высок — от 0,767 для виброускорений до 0,8556 и 0,9181 для виброперемещений и виброскоростей.

В диапазоне скоростей движения 60–80 км/ч и осевых нагрузок 23–25 тс заметен разброс измеренных значений; в этом диапазоне можно описать связь параметров со скоростью двумя линейными зависимостями.

На рис. 3 приведены результаты обработки записи колебаний при движении вагонов, имеющих отступления в ходовой части и при изменении скорости движения, оказывающих на путь повышенные ударные, пиковье воздействия.

На рис. 3 зафиксированы следующие уровни колебаний: до 9 м/с<sup>2</sup> — для ускорений; 2,5 см/с — для виброскоростей; около 1000 мкм — для виброперемещений. Продолжительность таких ударных воздействий составляет доли секунды, однако на конструкцию верхнего строения действуют силы, приводящие к перегрузке, выраженной в ускорении свободного падения 1г и последующей разгрузке с таким же ускорением, практически до состояния невесомости. Верхняя огибающая на рис. 3 может быть построена при необходимости оценки максимального воздействия подвижного состава в расчетах пути и конструкций земляного полотна.

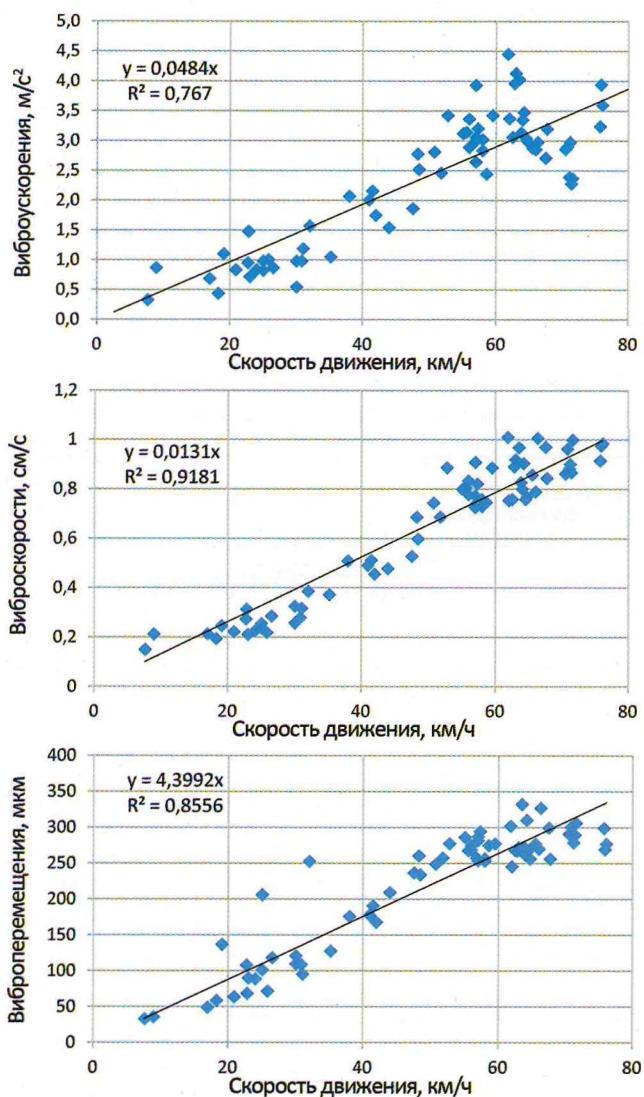


Рис. 2. Среднеквадратические значения результирующих амплитуд колебаний при проходе тяжеловесного состава с углем (выборка по группам вагонов с одинаковой скоростью движения)

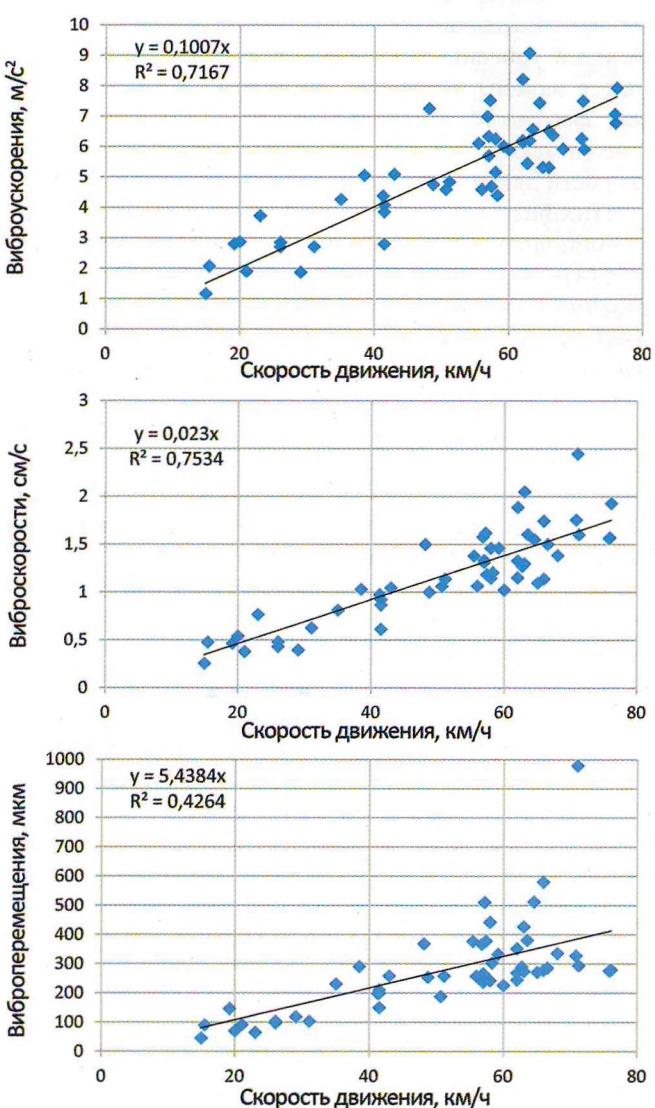


Рис. 3. Среднеквадратические значения результирующих амплитуд компонент колебаний при проходе тяжеловесного состава с углем (выборка по вагонам с особым воздействием: ползуны, другие отступления в конструкции ходовой части, силовые воздействия при служебном торможении локомотивом и разгоне поезда)

Для описания записей виброускорений электровозов линейную зависимость вида  $y = kx$  применять нецелесообразно. Колебания, передающиеся на путь от электровозов даже при скоростях до 10 км/ч, велики. Тем не менее эта нагрузка до измеренных скоростей движения 80 км/ч может быть хорошо описана линейной зависимостью вида  $y = a + kx$ .

Следует учесть небольшую продолжительность вибрационного воздействия локомотивов на путь при общей массе трех секций около 300 т (из 6000–15000 т массы всего поезда) и первые 10 с воздействия сдвоенного поезда при общей продолжительности около 2 мин. Средний уровень воздействия от электровозов сопоставим с воздействием от вагонов первой группы с осевой нагрузкой 23–25 тс в диапазоне скоростей 20–80 км/ч.

**Заключение.** В результате исследований, проведенных в сухой летний период (при полном оттаивании грунтов земляного полотна, отсутствии затяжных дождей, тайфунов с интенсивными осадками) установлена линейная зависимость всех компонент колебаний от скорости движения, выраженная в единственном угловом коэффициенте  $k$ . Следовательно, грунты в таких условиях работают практически в упругой стадии.

Экспериментами установлено значительное, в 2–2,5 раза превышающее общий уровень, вибрационное воздействие вагонов в тяжеловесных составах, связанное с изменением скоростного режима поезда. Кроме того, на величину колебаний влияют отступления в состоянии тележек, ползуны на поверхности катания колес. Учесть возможные пиковые значения колебаний можно, используя максимально вероятные значения амплитуд, определенных экспериментально для соответствующих компонент. В задачах, которые требуют оценки максимально возможного уровня колебаний при высоких скоростях и наиболее неблагоприятном сочетании грунтовых условий (избыточное обводнение, период весеннего оттаивания грунтов тела земляного полотна и др.) актуальны степенные зависимости соответствующих амплитуд компонент от скорости подвижного состава [2, 7].

При выполнении традиционных расчетов земляного полотна на прочность и устойчивость следует отказаться от применения среднеквадратических значений компонент колебаний; использовать значения максимальных вероятных амплитуд виброускорений, вибропре-

скоростей и виброперемещений (см. таблицу), определенных по рекомендациям проф. Г.М. Шахунянца как сумма среднего значения и среднеквадратического отклонения, умноженного на нормирующий множитель 2,5, определяющий вероятность события 0,994.

Для учета динамики в расчетах земляного полотна методом конечных элементов можно использовать синтезированные акселерограммы [5], рассчитанные на основе частотного анализа группы исходных записей для однородного подвижного состава [6]. Полученная по огибающей спектра трехкомпонентная акселерограмма соответствует динамическому воздействию от подвижного состава и является входным сигналом при расчетах в современных программных комплексах с учетом динамического воздействия поездов.

#### Список источников

1. Стоянович Г.М., Пупатенко В.В. Распространение колебаний в железнодорожном земляном полотне при оттаивании сезонно-мерзлых грунтов в условиях глубокого промерзания // II Международный симпозиум земляного полотна в холодных регионах: материалы симпозиума. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. С. 71–78. EDN: VJJBAT.
2. Пупатенко В.В., Стоянович Г.М., Пупатенко К.В. Результаты измерения трех компонент колебаний грунтов железнодорожного земляного полотна при воздействии тяжеловесных поездов // Проектирование развития транспортной сети Дальнего Востока. 2022. № 10. С. 85–95. EDN: RMURTH.
3. Стоянович Г.М. Натурное изучение величины вибродинамического воздействия подвижной нагрузки на грунты: монография. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. 147 с.
4. Опыт регистрации и обработки результатов измерения трех компонент колебаний грунтов железнодорожного земляного полотна / В.В. Пупатенко, К.В. Пупатенко, Г.П. Соколов, В.А. Шабалин // Проектирование развития транспортной сети Дальнего Востока. 2022. № 10. С. 5–13. EDN: JGWOVC.
5. Пупатенко В. В. Вибрационное воздействие «эталонного» подвижного состава на железнодорожное земляное полотно и синтез расчетных акселерограмм / В.В. Пупатенко, В.А. Шабалин, К.В. Пупатенко // Проектирование развития транспортной сети Дальнего Востока. 2023. № 11. С. 48–57. EDN ZEXBIY.
6. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. Введ. 01.07.1999. М.: НТЦ ЯРБ, 2000. 76 с. (Руководства по безопасности).
7. Колебания грунтов железнодорожного земляного полотна в зависимости от режима ведения поезда и состояния грузовых вагонов / В.В. Пупатенко, К.В. Пупатенко, В.Е. Бобринская, Г.П. Соколов // Проектирование развития транспортной сети Дальнего Востока. 2023. № 11. С. 66–72. EDN NWSEOZ.

#### SUMMER' HEAVY TRAINS VIBRODYNAMIC EFFECTS ON THE EASTERN REGION RAILROAD TRACK

Pupatenko Victor — Ph.D., Far Eastern State Transport University. Khabarovsk, Russia, pvv@festu.khv.ru  
Stoyanovich Gennady — D.Sci. Far Eastern State Transport University. Khabarovsk, Russia.  
Pupatenko Kira — Ph.D., Far Eastern State Transport University. Khabarovsk, Russia.  
Bobrinskaya Violetta — Far Eastern State Transport University. Khabarovsk, Russia.

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of fluctuations in the soil of the roadbed, measured at the level of the main site. For analysis, groups of records obtained on sections of the even-numbered Trans-Siberian railway with a jointless track structure have been identified. The linear dependences of the amplitudes of the three oscillation components and the resulting values on the speed of movement of moving units are determined. The excess of the basic level of exposure of serviceable gondola cars with coal was found when changing the mode of operation of the train and in the presence of deviations from the standards of maintenance of rolling stock by 2–2.5 times. It is proposed to use synthesized computational accelerograms (velosigrams or dysplograms) based on spectra along three independent coordinate axes in calculations of roadbed structures using finite element methods.

**Keywords:** railway formation, vibration measurement, axial load, vibration acceleration, vibration velocity, vibration displacement, heavy-load train, long trains.

# ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕОМЕТРИЯ АНОДНЫХ ПЯТЕН ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ



**ЛЮДАГОВСКИЙ А.В.**, Российский университет транспорта (МИИТ), докт. техн. наук,  
**ФАЗИЛОВА З.Т.**, РУТ (МИИТ), канд. техн. наук,  
**ПОЛУХИН В.А.**, Брестский механический завод, начальник цеха

**Аннотация.** В статье приведена оценка распределения температуры по анодному пятну при электромагнитной наплавке с учетом распределения тока по пятну нагрева и его геометрии. По результатам серии экспериментальных исследований установлены реальные геометрические параметры анодных пятен, определяющих электрические и тепловые показатели наплавки.

**Ключевые слова:** поверхность, электромагнитная наплавка, зона термического влияния, плотность тока, полюсный наконечник, геометрия пятна.

Ремонт и упрочнение узлов трения в элементах путевого хозяйства могут быть выполнены методом электромагнитной наплавки (далее ЭМН). ЭМН позволяет восстановить геометрические размеры и увеличить срок службы деталей (узлов трения) за счет упрочнения и повышения износостойкости рабочей поверхности. Применение порошков с переменным составом легирующих элементов дает возможность варьировать степень необходимого упрочнения той или иной детали.

При ЭМН в процессе нанесения покрытия в рабочей зоне энергией магнитного поля формируется многоэлектродная система, в которой цепочки зерен порошка хаотически контактируют с обрабатываемой поверхностью.

Удельный тепловой поток дуговых разрядов  $q_2$  наиболее значителен в пределах площади электрически активного пятна. Дуговые разряды развиваются тепло за счет непосредственного превращения энергии электрически заряженных частиц в тепловую энергию поверхностного слоя материала наплавки. Кольцевая зона пятна нагрева, лежащая вне активного пятна, нагревается конвективным теплообменом с пламенем дуговых разрядов, а также лучистым теплообменом со столбом дуги и с анодным пятном. Поэтому удельный тепловой поток  $q_2(r)$  убывает с удалением от центра пятна нагрева и, как следствие, больше диаметра активного пятна  $d_a$ , см, [1–3].

Площадь активного дугового пятна с учетом тока  $I$ , А, и плотности тока  $i$ , А/см<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$S_a = \frac{I}{i}, \text{ см}^2, \quad (1)$$

а его радиус  $r_a = \sqrt{\frac{S_a}{\pi}}$  и, соответственно, диаметр  $d_a = 2r_a$ , см.

Плотность тока  $i$  неравномерно распределена по электрически активному пятну дуги: в центральной части наиболее значительна и убывает до нуля на границе [4]. Поэтому электрические характеристики коррелируют с тепловыми и позволяют оценить изменение температуры по полю пятна.

Ввиду отсутствия надежных данных о распределении плотности тока по площади электрически активного пятна считают приближенно, что ток  $I$  распределен равномерно по площади электрического пятна диаметром  $d_a$ , см, тогда средняя плотность тока составит:

$$i_{cp} = \frac{I}{\pi / 4d_a^2}, \text{ А/см}^2. \quad (2)$$

Для получения значений распределения температуры по анодному пятну необходимо определить значения распределения по пятну нагрева.

При расчете нагрева подвижным нормально-круговым источником основной характеристикой является предельное значение эффективной мощности, которая обозначается буквой  $q$  без индекса [5].

Эффективная тепловая мощность процесса нагрева детали

$$q = 0,24UI\eta, \quad (3)$$

где 0,24 — коэффициент перевода из электротехнических единиц в тепловые;

$U$  — напряжение, В;

$UI$  — электрическая мощность дуговых разрядов, Вт;

$\eta$  — эффективный к.п.д. процесса нагрева детали дуговыми разрядами. Тепло дуговых разрядов передается в металл через пятно нагрева  $d_a$ .

Для изучения реальных размеров электрического пятна и пятна нагрева при ЭМН и получения значений коэффициента сосредоточенности  $k$ , см<sup>-2</sup>, [1, 4] графическим методом была проведена серия опытов.

Для опытов были использованы катушка электромагнита, сердечником которой является полюсный наконечник диаметром 16 и 19 мм; сварочный аппарат ВД-306 с диапазоном используемых токов 80–320 А напряжением 34 В; стальной лист толщиной 1,5 мм. Рабочий зазор принят размером 6 мм.

При подаче напряжения на катушку электромагнита возникает магнитное поле, действующее на частицы наплавочного порошка, выстраивающегося в цепочки —



Рис. 1. Отпечатки анодных пятен на стороне наплавки в диапазоне 80–160 А при диаметре полюсного наконечника 16 мм

микроэлектроды. Количество порошка рассчитывается на заполнение рабочего зазора. Подключение полярности следующее: минус — стальной лист; плюс — полюсный наконечник (анодное пятно на стальном листе). При подаче на полюсный наконечник сварочных токов посредством аппарата ВД-306 происходит формирование дуговых разрядов, которые трансформируются в тепловую энергию поверхностного слоя материала наплавки, расплавление наплавочного порошка и образование наплавочного слоя. Необходимым условием качественного проведения опытов является равное количество порошка при одинаковом рабочем зазоре.

Толщина листа, подверженного воздействию мгновенного объемного источника, настолько мала, что теплота мгновенно распространяется по ней и нагревает ее, оставляя на обратной стороне листа четкий отпечаток как электрического пятна, так и пятна нагрева (рис. 1).

С наплавочной стороны пластины отчетливо видна не только анодная область пятна, но и распределение по нему наплавочного материала: наибольшая концентрация в центре и практически затухающая по его краям (рис. 2).

В отличие от передней стороны пластины (рис. 3, а), на обратной отчетливо видны отпечатки как анодного пятна, так и границы контуров пятна нагрева (рис. 3, б).

Таким образом, в пределах используемых вольт-амперных характеристик и технологического оборудования были определены реальные размеры электрического пятна и пятна нагрева, образующихся при электромагнитной наплавке, что позволяет выявить зависимость температурных полей от режимов наплавки.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке гранта ОАО «РЖД» по Договору № 5106449 от



Рис. 2. Отпечатки наплавки в диапазоне 40–100 А при диаметре полюсного наконечника 19 мм

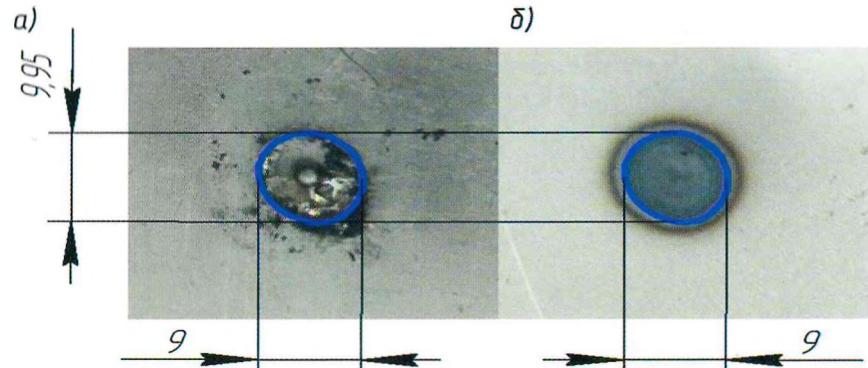


Рис. 3. Наплавочная сторона стальной пластины с анодным пятном (а), обратная сторона стальной пластины с отпечатком анодного пятна и границей пятна нагрева (б)

28.12.2022 г. на развитие научно-педагогических школ на железнодорожном транспорте.

#### Список источников

- Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
- Закономерности формирования структуры покрытий, полученных методом электромагнитной направки / А.В. Людаговский, В.А. Полухин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XVI Международной научно-практической конференции. Курск, 2021. С. 197–201.
- Расчетные параметры температурных полей в поверхностном слое деталей в процессе электромагнитной наплавки / Х.А. Дианов, А.А. Локтев, В.С. Соколов, А.В. Людаговский, В.А. Полухин // Наука и техника транспорта. 2018. № 1. С. 73–78.
- Электромагнитная наплавка рельсового стыкового соединителя / А.А. Локтев, А.В. Людаговский, И.В. Шишкина, В.А. Полухин // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 2. С. 8–10.
- Теория сварочных процессов: учебник / А.В. Коновалов, В.М. Неровный и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 749 с.

#### FEATURES OF THE FORMATION AND GEOMETRY OF ANODE SPOTS DURING ELECTROMAGNETIC SURFACING

**Lyudagovsky Andrey** — D. Sci., Professor of the Department of «Transport Construction» of the Russian University of Transport (MIIT). Moscow, Russia.

**Fazilova Zulfia** — Ph.D., Associate Professor of the Department of «Transport Construction» of the Russian University of Transport (MIIT). Moscow, Russia. fazil\_1905@mail.ru

**Polukhin Vladimir** — Postgraduate student of the Department of «Transport Construction» of the Russian Transport University (MIIT), head of the workshop, Brest Mechanical Plant. Republic of Belarus, Brest.

**Abstract.** The article provides an estimate of the temperature distribution over the anode spot during electromagnetic surfacing, taking into account the current distribution over the heating spot and its geometry. Based on the results of a series of experimental studies, the real geometric parameters of the anode spots, which determine the electrical and thermal parameters of the surfacing, have been established.

**Keywords:** surface, electromagnetic surfacing, thermal influence zone, current density, pole tip, spot geometry.



Кубаньжелдормаш

Завод основан в 1933 году

## КЛЮЧ ПУТЕВОЙ МОТОРНЫЙ

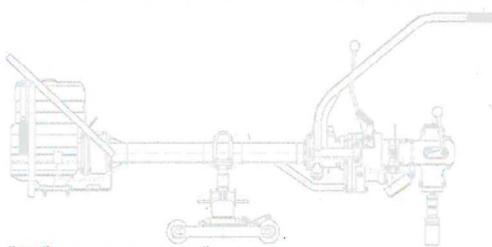
# КПМ

Российский аналог Geismar TS-2

КЛЮЧ ПУТЕВОЙ МОТОРНЫЙ КПМ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ЗАВИНЧИВАНИЯ И ОТВИНЧИВАНИЯ КЛЕММНЫХ ГАЕК, ЗАКЛАДНЫХ БОЛТОВ И ПУТЕВЫХ ШУРУПОВ



- Конструкция узла сцепления имеет масляную ванну, которая увеличивает износостойкость и возможность работы без перегрева
- Идеально подходит для интенсивной работы в «окно»
- Две передачи для различной степени завинчивания
- Точно настраиваемый крутящий момент
- Отсутствие реактивного момента на рукоятках
- Длительный срок службы благодаря надёжной конструкции
- Подходит для всех типов верхнего строения пути
- Широкий обзор в темноте благодаря светодиодной подсветке
- Сделано в России
- Гарантийное и постгарантийное обслуживание заводом-изготовителем "Кубаньжелдормаш"



На правах рекламы