

- ПОД НАДЕЖНЫМ КОНТРОЛЕМ
- НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ
- ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ
- УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ХОППЕР-ДОЗАТОР
- КАК ВЫПРАВЛЯЮТ ПУТЬ



ПЕРВЫЙ МИНИСТР ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

(к 120-летию со дня рождения И.В. Ковалёва)

В истории отечественных железных дорог середины XX в., особенно в период Великой Отечественной войны 1941—1945 гг., имя Ивана Владимировича Ковалёва занимает особое место. Выдающийся организатор железнодорожного транспорта И.В. Ковалёв стал легендой не только отрасли, но и страны в труднейший ее период.

Окончив в 1922 г. Воронежскую военно-железнодорожную школу техников, Иван Владимирович три четверти века отдал стальным магистралям. Он получил разнообразную профессиональную подготовку и богатый опыт на производстве, а также в органах управления войсками, в том числе железнодорожными.

В 1939 г. И.В. Ковалёва назначили начальником Центрального военного отдела, он стал членом коллегии НКПС. С этого момента его жизнь на долгие годы была связана с военным аспектом использования железных дорог. В годы Великой Отечественной войны Иван Владимирович — заместитель наркома государственного контроля СССР по железнодорожному транспорту, начальник Управления военных сообщений Рабоче-Крестьянской Красной Армии (Центрального управления РККА), член Транспортного комитета Государственного комитета обороны (ГКО).

В этой связи здесь уместно вспомнить ведущую роль генерал-лейтенанта технических войск И.В. Ковалёва в организации военно-эксплуатационных отделений и сохранении железнодорожных войск как самостоятельной единицы. В критическую осень 1941 г. их предлагалось расформировать, и личный состав прикрепить к 1-й Ударной армии, сражавшейся за Москву. А между тем именно эти войска сыграли решающую роль в восстановлении железных дорог на оккупированных территориях после их освобождения и занимались перешивкой колеи 1435 мм на 1524 мм на некоторых линиях для пропуска воинских эшелонов по территориям стран Восточной Европы в 1944—1945 гг.

Руководство страны, крупнейшие военачальники того времени высоко оценивали роль генерал-лейтенанта И.В. Ковалёва в Великой Отечественной войне, заслуженно признавали его как одного из творцов Победы: ни одна крупная оборонительная или наступательная операция не обходи-

лась без его участия, он всегда успешно управлял переброской войск и вооружения для нужд фронта, а также эвакуацией людей и производственного оборудования.

С 1944 г. Иван Владимирович Ковалёв — нарком путей сообщения, в марте 1946 г. занял высокий пост в Правительстве страны: стал первым министром путей сообщения Советского Союза.

В 1948—1950 гг. И.В. Ковалёв находился в командировке в Китае в качестве главного советника Политбюро Коммунистической партии Китая и руководителя советских специалистов, оказывавших помощь в восстановлении стальной колеи зарубежным коллегам.

По возвращении в СССР Ковалёв возглавил Донецкий округ железных дорог, затем был назначен заместителем министра угольной промышленности СССР по транспорту. Несколько лет И.В. Ковалёв трудился старшим научным сотрудником в Военно-научном управлении Генерального штаба Вооруженных Сил СССР, а в 1960 г. стал старшим преподавателем кафедры стратегии Военной

академии Генерального штаба. Защитил кандидатскую, затем — докторскую диссертации, получил звание профессора.

Последние годы жизни И.В. Ковалёв — старший научный сотрудник Института мировой экономики и международных отношений АН СССР, активный участник Научного совета АН СССР по комплексной проблеме единой транспортной системы страны. Был председателем Центрального совета ветеранов войны и труда железнодорожного транспорта СССР.

Иван Владимирович Ковалёв удостоен трех орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции, трех орденов Красного Знамени, ордена Суворова 1-й степени и ордена Кутузова 1-й степени (полководческие ордена — генерал-лейтенанту технических войск!), ордена Отечественной войны 1-й степени, ордена Красной Звезды и ордена Трудового Красного Знамени.

Как дань уважения к заслугам И.В. Ковалёва Министерство обороны Российской Федерации в 2018 г. учредило ведомственный знак отличия — медаль «Генерал-лейтенант Ковалёв».

Список источников

1. И.В. Ковалев // Куманев Г.А. Говорят сталинские наркомы. Смоленск: Русич, 2005. С. 270-363. URL: kumanev_ga2/11.html.
2. Награды Министерства обороны Российской Федерации : Википедия. Свободная энциклопедия. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Награды_Министерства_обороны_Российской_Федерации (дата обращения: 26.05.2021).

КОСМИНА А.А., НАРЫШКИН В.С.



Иван Владимирович Ковалёв



Медаль «Генерал-лейтенант Ковалёв»



Учредитель — ОАО «Российские железные дороги»

Научно-популярный
производственно-технический
журнал

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

Главный редактор С.В. ЛЮБИМОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.Г. АКОПЯН, Е.С. АШПИЗ, д.т.н.,
В.П. БЕЛТЮКОВ, д.т.н.,
Л.С. БЛАЖКО, д.т.н.,
В.М. БОГДАНОВ, к.т.н.,
Ю.А. БЫКОВ, д.т.н.,
В.Б. ВОРОБЬЁВ, к.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.И. РАТНИКОВ, А.В. САВИН, д.т.н.,
О.Б. СИМАКОВ, к.т.н.,
В.Ф. ТАРАБРИН, к.т.н.,
Т.В. ШЕПИТЬКО, д.т.н.,
А.С. ЯНОВСКИЙ

РЕДАКЦИЯ

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

Телефоны:

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

Адрес редакции

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

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-21830 от 07.09.2005

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

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

Подписано в печать 28.05.2021
Формат 60x84 1/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 4,9. Уч.-изд. л. 8,43.
Заказ № 21054 от 26.05.2021
Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм +»,
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

В НОМЕРЕ

Коньшев С.С. — Инфраструктура и железнодорожно-
строительные машины под надежным контролем..... 2

Контроль и диагностика

Рословец А.А. — Диагностика на страже безопасности 3

Содержание, ремонт и реконструкция

Васильева С.А., Борц А.И., Ваганова О.Н. — Новые
локомотивы — новые проблемы содержания пути..... 9

Романов А.В. — Об актуализации свода правил
«Железные дороги колеи 1520 мм» 13

Конструкции и сооружения

Овчинников Д.В., Суслов О.А. — Метод оценки
устойчивости бесстыкового пути под поездной
нагрузкой 16

Проектирование объектов инфраструктуры

Ашпиз Е.С., Бучкин В.А., Быков Ю.А. и др. —
О параметрах трассы линии
Обская—Салехард—Надым 20

**Емельянова Г.А., Сагайдачный Я.А., Шаманов Г.Д.
и др.** — Проблемы проектирования мостов на
высокоскоростных магистралях 25

Смирнов В.Н., Дьяченко Л.К. — Учет резонансных
явлений при проектировании мостов на ВСМ..... 30

Путевая техника

Карбовская О.В. — Хоппер-дозатор повышенной
грузоподъемности 34

Консультации

Карпик В.В. — Современные методы выправки пути 35

Подготовка кадров

Абрамов А.Д., Манаков А.Л., Маслов Н.А. —
Чемпионы из Сибири..... 39

На обложке

Первая страница — На магистралях России

Фото Боровика Р.И.



ИНФРАСТРУКТУРА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОД НАДЕЖНЫМ КОНТРОЛЕМ

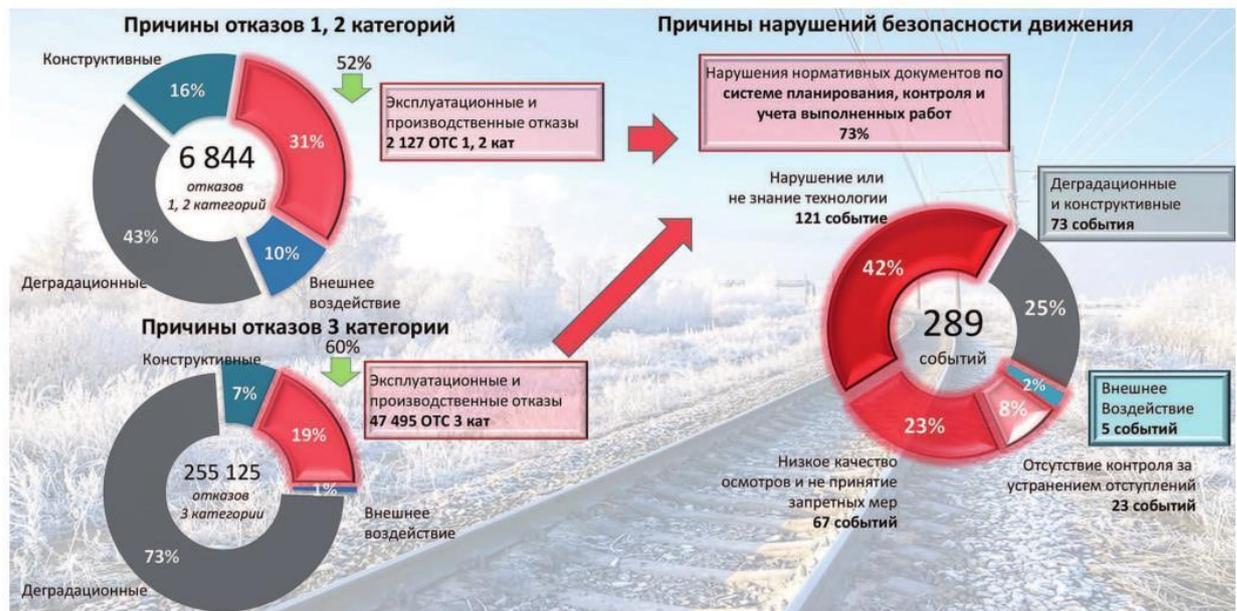
Автор: КОНЫШЕВ С.С.

КОНЫШЕВ С.С., ОАО «Российские железные дороги», заместитель начальника Центральной дирекции инфраструктуры по безопасности движения

Развивая систему осмотров в хозяйстве пути, руководство ОАО «РЖД» делает акцент на его диагностику и вывод людей из опасной зоны с преимущественным использованием мобильных средств диагностики и исключением съемных.

В настоящее время применяется новый подход к расчету периодичности и сокращению объемов контроля рельсов съемными средствами дефектоскопии, благодаря чему из опасной зоны выведен 2381 чел. При этом уже реализован и используется функционал автоматической расшифровки результатов измерений пути (по неисправностям геометрии рельсовой колеи), фиксации инцидентов в единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) и формирования плана работы дистанции пути (в период осеннего осмотра 2020 г. 11 % всех выявленных нарушений обнаружено системами видеоконтроля).

Основные причины нарушений безопасности движения и отказов технических средств 1, 2, 3-й категорий, допущенных в 2020 г., представлены на рисунке. Максимальная доля событий (73 %) приходится на «человеческий фактор» и эксплуатационные нарушения.



Основные причины нарушений безопасности движения и отказов технических средств 1, 2, 3-й категорий, допущенных в 2020 г.

Доля инцидентов, выявленных мобильными средствами диагностики, увеличилась: в 2016 г. - 7 %; 2019 г. - 17 %; 2020 - 19 %. Таким образом, их общее количество выросло в четыре раза.

Развитие, совершенствование и расширенное использование средств диагностики инфраструктуры, увеличение количества параметров контроля целесообразно только при их эффективности, в том числе с точки зрения обеспечения безопасности движения и передачи инцидентов в ЕК АСУИ.

В этой связи необходимо отметить следующее: количество измеряемых параметров увеличено с 2016 г. почти в два раза (с 56 до 94); количество инцидентов, выявляемых средствами диагностики, возросло с 2016 г. в четыре раза (с 1 до 4 млн).

Так, с начала 2020 г. выявлено: более 63 тыс. отступлений в содержании пути III и IV степеней (в 2019 г. - 73171), по которым путеизмерительными средствами выдано 69410 предупреждений об ограничении скоростей движения поездов (в 2019 г. - 98032); более 176 тыс. отступлений по системам видеоконтроля (в 2019 г. - 118 тыс.), по которым выдано почти 50 тыс. ограничений скоростей (в 2019 г. - 63,7 тыс.); 265946 отступлений в содержании бесстыкового пути; мобильными средствами рельсовой дефектоскопии - 20470 острodefектных рельсов, выдано 317873 отметки на вторичный контроль (из них подтверждено 73 тыс., или 23 %). Выявленные отступления указывают на объективность контроля состояния пути.

С 2018 г. в Дирекции по эксплуатации путевых машин внедряются бортовые диагностическо-ремонтные комплексы (ДРК) для анализа технического состояния специального подвижного состава (СПС) в межремонтные сроки с учетом сезонного характера его работы и удаленности от баз, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт. Следует отметить, что из необходимых 44 ДРК в наличии имеются только 15 (34 %).

Задачи диагностическо-ремонтных комплексов:

автоматизация процесса диагностики узлов и агрегатов, а также автоматического сбора параметров работы железнодорожно-строительных машин (ЖДСМ);

автоматизация обработки и анализа полученных параметров;

обеспечение единого централизованного хранения данных о параметрах работы ЖДСМ;

автоматизация формирования информации о текущем техническом состоянии узлов и агрегатов ЖДСМ для последующего принятия решения о целесообразности их дальнейшей эксплуатации;

снижение уровня влияния «человеческого фактора» при оценке фактического состояния ЖДСМ;

снижение эксплуатационных расходов владельца ЖДСМ.

Следует отметить, что на сегодняшний день трудно переоценить важность продолжения дальнейшего развития информационных, автоматизированных систем в инфраструктурном комплексе ОАО «РЖД», ведь автоматизированные системы диагностики в режиме онлайн беспристрастно оценивают состояние объектов инфраструктуры и агрегатов ЖДСМ, при этом выполняется ранжирование всех выявленных несоответствия (отступлений) по степени их критичности для определения приоритетных направлений принятия решений.



ДИАГНОСТИКА НА СТРАЖЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Автор: РОСЛОВЕЦ А.А.

**РОСЛОВЕЦ А.А., ОАО «Российские железные дороги»,
начальник Дирекции диагностики и мониторинга
инфраструктуры**

Одним из гарантов высокого уровня безопасности движения поездов является деятельность комплекса диагностики, в связи с чем в феврале 2019 г. в Центральной дирекции инфраструктуры создана Дирекция диагностики и мониторинга инфраструктуры (далее - Дирекция). Задача, возложенная ОАО «РЖД» на подразделение, - безусловное исполнение периодичности контроля объектов при внедрении инновационных технологий и решений.

В структуру Дирекции вошли 14 региональных центров диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры (РЦДМ), каждый из которых обслуживает полигон определенной дороги. За Новосибирским РЦДМ закреплены Западно-Сибирская и Красноярская дороги (рис. 1). Общая численность сотрудников Дирекции составляет более 5 тыс. чел.

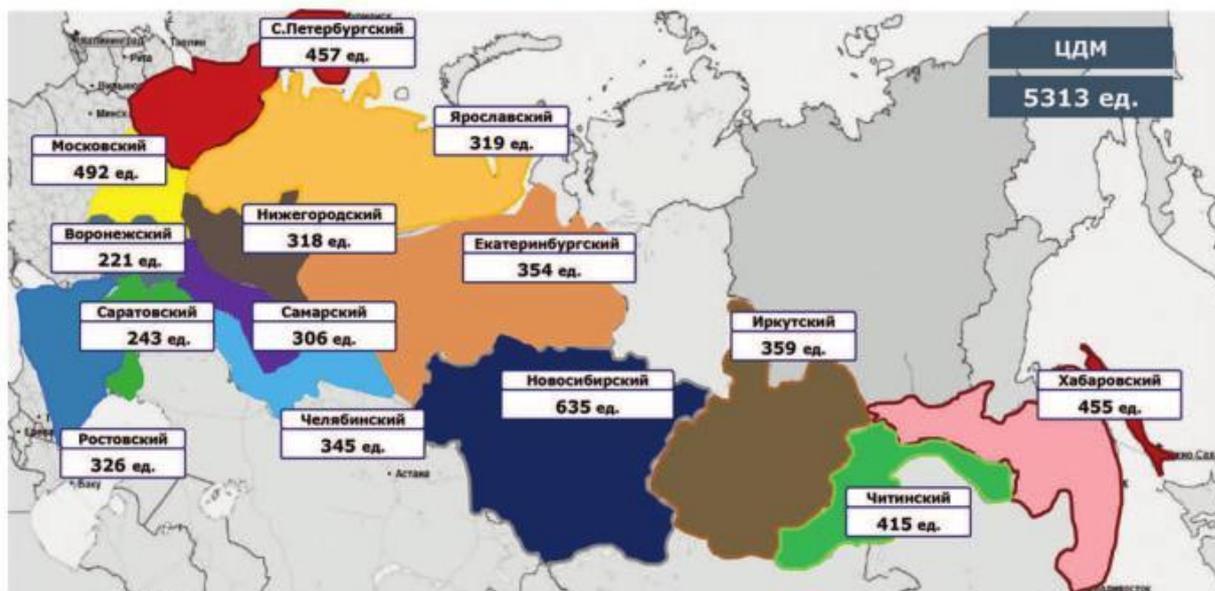


Рис. 1. Схема расположения структурных подразделений Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры с распределением штатных единиц

Дирекция осуществляет мониторинг развития отступлений состояния объектов, обеспечивая надежное функционирование комплекса инфраструктуры. При этом главной задачей является планирование устранения отступлений от норм на предотказном уровне, в противном случае потребуются ограничить скорости движения. Основные направления диагностики - контроль геометрии рельсовой колеи, дефектоскопия рельсов, видеоконтроль объектов инфраструктуры, оценка состояния балластного слоя и земляного полотна, осмотр искусственных сооружений.

Оценка объектов инфраструктуры осуществляется 345 участками диагностики дистанций пути (11783 штатные единицы); 88 обследовательскими станциями (32 мостоиспытательные и тоннелеобследовательские станции, 19 инженерно-геологических баз, 9 геодезических баз, 13 габаритообследовательских станций, 15 геофизических станций); 226 мобильными средствами диагностики (восемь диагностических комплексов инфраструктуры (ДКИ) «Спринтер-ИНТЕГРАЛ», «ЭРА+»; 80 вагонов-путеизмерителей КВЛП, «Декарт»; 93 вагона-дефектоскопа ВД-УМТ-1, ВД-УМТ-2, АВИКОН-03М; 45 дефектоскопных автомотрис, в том числе МТКП, СУПДК «СЕВЕР»); 3090 съёмными средствами.

С 2019 г. на сеть дорог стали поступать диагностические комплексы инфраструктуры (ДКИ «Спринтер-ИНТЕГРАЛ»; ДКИ «ЭРА+»; СДКИ «Пионер»), которые объединяют в себе четыре мобильных средства диагностики и измеряют до 94 параметров объектов инфраструктуры (рис. 2). В 2020 г. реализована полигонная технология функционирования комплексов. Для этого выделено 16 маршрутов, общая развернутая длина которых составляет 120 тыс. км. Причем производительность каждого такого комплекса выросла в два раза. Отрабатывается диагностика объектов инфраструктуры с помощью оборудования, расположенного в составе пассажирских поездов, что также позволяет исключить территориальные барьеры. Внедрение полигонной технологии и новых средств позволит в перспективе снизить количество эксплуатируемых средств диагностики.

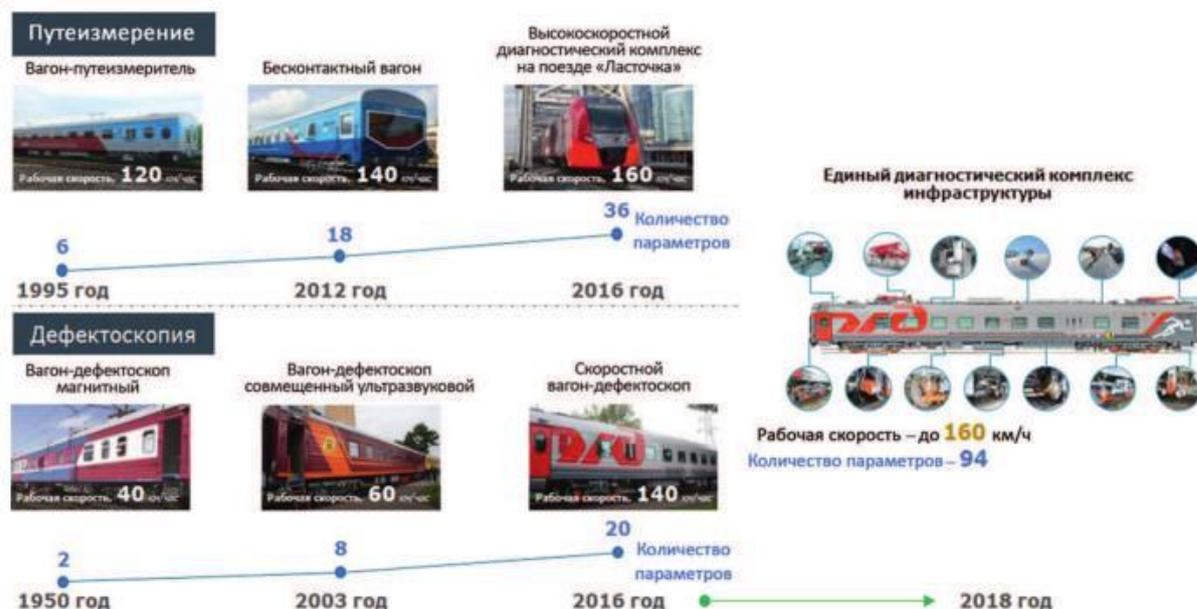


Рис. 2. Хронология развития мобильных средств измерения и диагностики объектов инфраструктуры

Для развития цифровых технологий и автоматизации бизнес-процессов в программном комплексе «Геоинформационная платформа ОАО «РЖД» (ПК ГИП) визуализирована информация по запланированным и фактически выполненным объемам работ основных направлений деятельности Дирекции, осуществлено геопозиционирование мобильных средств диагностики в режиме онлайн с сохранением базы маршрутов передвижения (рис. 3).



Рис. 3. Пример функциональности программного комплекса «Геоинформационная платформа ОАО «РЖД» (ПК ГИП)

Внедрение сервиса ПК ГИП упростило восприятие большого объема данных, доступ к информации из различных систем и соответственно увеличило эффективность управления Региональными центрами диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры. Применение новой технологии в 2020 г. позволило Дирекции достигнуть следующих результатов: рост выработки одного средства на 16 % (на 816 км/мес), снижение количества заказываемых локомотивов на 10 % (на 4472 ед.), сокращение парка мобильных средств на 16 % (на 70 ед.), уменьшение нагрузки на график движения поездов на 5,4 % (на 7 ед/сут).

Главное направление в развитии системы неразрушающего контроля рельсов в путевом комплексе ОАО «РЖД» связано с преимущественным применением мобильных средств дефектоскопии, парк которых в последнее время обновился на 80 %, а его основу составляют современные устройства, позволяющие осуществлять высокоскоростную диагностику (рис. 4).

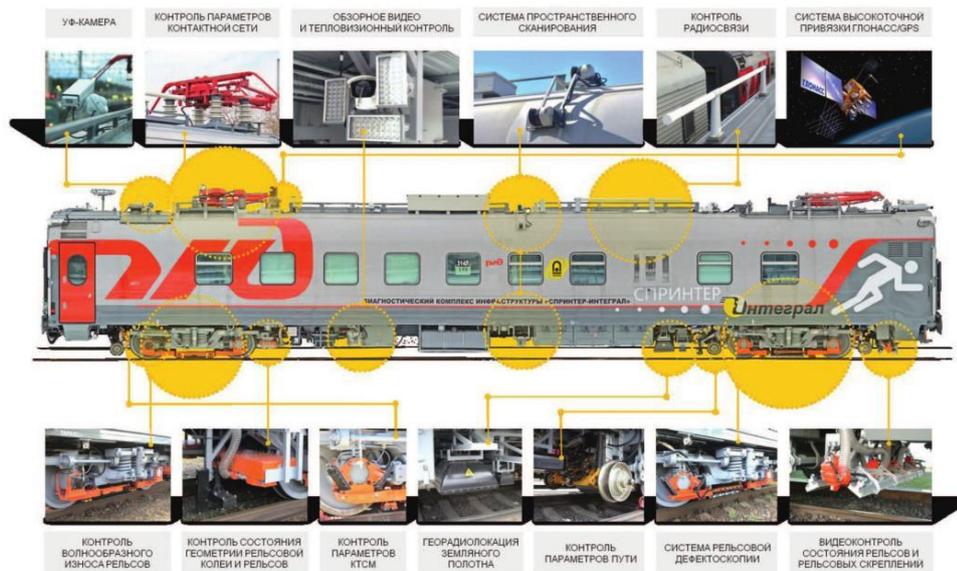


Рис. 4. Схема размещения диагностических систем на диагностическом комплексе инфраструктуры

Новая система организации работы средств неразрушающего контроля базируется на методике, созданной АО «НИИ Мостов и дефектоскопии» и АО «ВНИИЖТ» в

рамках плана научно-технического развития в 2020 г. Методика учитывает мировой опыт и результаты научных трудов российских специалистов по расчету скорости развития дефектов в рельсах в зависимости от эксплуатационных характеристик пути, благодаря чему определены интервалы между проверками, позволяющие своевременно выявлять дефекты рельсов. Согласно полученным результатам внесены изменения в Положение о системе неразрушающего контроля рельсов и эксплуатации средств рельсовой дефектоскопии в путевом хозяйстве железных дорог ОАО «РЖД», которые утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 21.05.2020 № 1067/р. Таким образом общий объем проверок средствами неразрушающего контроля уменьшен на 25 %, при этом низкопроизводительный сплошной контроль рельсов съёмными дефектоскопами снижен на 40 %, обеспечив вывод людей из опасной зоны.

На Московском центральном кольце реализован проект диагностики геометрических параметров рельсовой колеи автономной информационно-измерительной системой на подвижном составе «Ласточка», которая представляет собой следующее поколение измерительной техники, разработанной для подвижного состава «Сапсан». В рамках внедрения автономных измерительных систем в настоящее время осуществляется пилотный проект - размещение на маневровом локомотиве на станции Кинель Куйбышевской дороги.

С 2017 г. начал активно развиваться новый вид диагностики состояния пути - автоматизированные системы видеонаблюдения. В настоящее время ими уже оборудованы 115 мобильных средств диагностики, что позволяет осуществлять проверку участков пути 1 и 2 классов не реже одного раза в месяц. Стоит отметить, что при помощи автоматизированных систем видеонаблюдения в 2021 г. уже удалось выявить 29 случаев изломов стыковых накладок и избежать сходов подвижного состава, что безусловно свидетельствует о правильно выбранном направлении развития диагностики инфраструктуры. Одновременно с этим разрабатывается универсальная система автоматической расшифровки результатов видеофиксации состояния пути «АС ВИДЕОКОНТРОЛЬ» по 13 параметрам.

Развитие автоматизированных систем видеонаблюдения позволило применять новые подходы к осмотрам инфраструктуры. Так, уже сейчас при генеральном осмотре данные системы выявляют 22 % нарушений от их общего количества. Целевое значение с учетом совершенствования средств диагностики - 50 %.

Диагностика инфраструктуры не ограничена информацией о состоянии верхнего строения пути. Одна ко из-за отсутствия прямого визуального контакта мобильные средства диагностики не оценивают зоны, прилегающие к насыпи, подводные части опор мостов, русла и бассейны рек. Зону конструкций искусственных сооружений (ИССО) обследуют инструментально-визуальным методом, наименее эффективным и трудозатратным. Такой метод основан на экспертной оценке выявляемых отступлений человеком и требует глубоких знаний и профессиональных компетенций.

Для повышения эффективности диагностики объектов инфраструктуры сотрудники Дирекции изучают достижения современной технической мысли, рассматривая технологические и цифровые тренды. В связи с этим достигнуты определенные результаты в следующих направлениях:

автоматизация процесса формирования результатов обследования ИССО и земляного полотна;

применение мобильных рабочих мест (МРМ) при осмотрах, развитие Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой ОАО «РЖД» (ЕК АСУИ), в части передачи информации об инциденте, своевременности его устранения, контроля, учета повторяемости, установки барьерных функций;

автоматический расчет и моделирование технического состояния искусственных сооружений;

использование беспилотных летательных аппаратов.

Совершенствование средств диагностики инфраструктуры ОАО «РЖД» требует развития обеспечивающих процессов, таких как цифровизация, связанных с автоматизацией всех этапов обработки измерений.

В рамках реализации Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» в Центральной дирекции инфраструктуры на период до 2025 г. запланирована инициатива «Предиктивная аналитика технического состояния на основе данных мобильных средств диагностики», которая включает несколько этапов.

В 2019 г. в ходе первого этапа разработана информационно-аналитическая система комплексной диагностики и мониторинга инфраструктуры (рис. 5) в составе ЕК АСУИ, содержащая сведения о геометрии рельсовой колеи, бесстыковом пути и земляном полотне (ЕК АСУИ СДМИ). Система получает первичные и обработанные данные напрямую с борта вагона, анализирует и оценивает текущее состояние инфраструктуры, а также формирует краткосрочный прогноз динамики развития неисправностей на будущий месяц (рис. 6). Для унификации процесса обработки информации к закупаемым с 2020 г. средствам диагностики предъявляется требование о формировании данных для ЕК АСУИ СДМИ в едином формате. Конечным пользователям результаты контроля состояния пути доступны при помощи веб-приложения.



Рис. 5. Информационно-аналитическая система комплексной диагностики и мониторинга инфраструктуры



Рис. 6. Схема обмена данными посредством информационно-аналитической системы комплексной диагностики и мониторинга инфраструктуры

В 2021 г. будет завершён второй этап, включающий в себя формирование комплексной оценки состояния инфраструктуры. Доработка СДМИ на втором этапе направлена на повышение точности и увеличение горизонта прогнозирования за счёт совершенствования алгоритмов анализа физико-статистического моделирования взаимодействия системы «колесо-рельс».

В 2022 г. при реализации третьего этапа, запланирована интеграция ЕК АСУИ СДМИ с базами данных рельсового хозяйства (рельсовая книга). При этом информация о фактическом состоянии рельсового хозяйства будет формироваться автоматически и может быть использована для работы средств неразрушающего контроля. Данные о реальном положении пути мобильные средства будут получать с привязкой к высокоточной системе координат, что позволит создать базу для оценки фактического положения пути относительно проектного.

В 2023 г. основными задачами должны стать автоматическая подготовка заданий на выправку пути для путевых машин, а также составление перечня необходимых работ для приведения пути в нормативное состояние.

В результате внедрения ЕК АСУИ СДМИ будет обеспечено формирование плана ремонтов, определение потребности ресурсов на основе моделирования инфраструктурного комплекса и учёта бюджетных ограничений.

Создание цифровой модели инфраструктуры и предиктивная аналитика технического состояния пути позволят, начиная с 2024 г., снизить ежегодное количество километров, требующих ремонта. Назначаться ремонты будут не по сроку наработки тоннажа или сроку эксплуатации, а по фактическому состоянию пути.

Все технические преобразования невозможны без постоянного развития человеческого капитала. В настоящее время в Дирекции работает 5123 чел., из них 3514 руководителей и специалистов, 1609 рабочих. С начала создания Дирекции обучение на курсах подготовки и повышения квалификации прошли 6297 сотрудников, в том числе 205 из них прошли обязательную сертификацию и ресертификацию на II уровень квалификации по акустическому виду

неразрушающего контроля. Подготовлено и трудоустроено 92 специалиста по договорам о целевом обучении по программам высшего и среднего профессионального образования, и еще 78 продолжают обучение. Также, учитывая важность вопроса повышения квалификации и профессиональных компетенций специалистов и руководителей в области неразрушающего контроля объектов инфраструктуры, в 2021 г. организовано централизованное обучение сотрудников в Институте повышения квалификации и переподготовки руководящих работников и специалистов Петербургского государственного университета путей сообщения по программе профессиональной переподготовки «Приборы и методы контроля качества и диагностики».

За два года целенаправленного повышения профессиональных компетенций работников Дирекции доля сотрудников с несоответствующим уровнем и профилем образования снижена более чем в два раза.

В настоящее время в Самарском государственном университете путей сообщения организовано дополнительное обучение 12 студентов в «авторском классе» по программе «Инновационные методы и средства диагностики, оценки и контроля состояния железнодорожного пути». В основу программы положены уникальные инновационные разработки НПЦ ИНФОТРАНС в области диагностики и мониторинга инфраструктуры, которые используют на всей сети железных дорог России, а также в Германии и Швейцарии. По окончании обучения специалисты будут трудоустроены в структурные подразделения Дирекции.

Для получения аттестации на право выполнения работ в области строительства, инженерных изысканий и проектирования работников Дирекции включают в Национальный реестр специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования.

Школу подготовки резерва на должности руководителей структурных подразделений Дирекции прошли 83 работника, из них на должность начальника центра - 30 чел., на должности заместителя начальника и главного инженера - 53. На сегодняшний день 15 работников, прошедших школу резерва, уже назначены на вышестоящие должности. Кроме того, 85 сотрудников Дирекции отобраны в пул кандидатов высшей готовности Центральной дирекции инфраструктуры, из них 17 чел. также повышены в должности.

Для развития человеческого капитала в Дирекции активно применяют систему Единых корпоративных требований к персоналу (далее - ЕКТ). Эта система позволяет сформировать единую прозрачную и объективную информационную базу для повышения качества подготовки персонала, принимать управленческие решения при подборе и расстановке кадров, повышать эффективность формирования кадрового резерва, а также системно планировать обучение и развитие персонала. Блок «Профессиональные компетенции» - одна из четырех составляющих ЕКТ. Уже проведены мероприятия по оценке уровня развития профессиональных компетенций более чем у 50 % сотрудников в соответствии с разработанной моделью профессиональных компетенций для хозяйства диагностики, 85,3 % из них соответствуют профилю. Для тех, у кого уровень оценки ниже установленного, разработаны адресные планы развития профессиональных компетенций, после выполнения которых они вновь проходят оценочные мероприятия.

Для совершенствования профессиональных компетенций работников в Дирекции пересмотрена учебная программа повышения квалификации по теме «Неразрушающий контроль рельсов», сформированы технические задания на подготовку в 2021 г. дополнительных профессиональных программ по темам «Организация работы диагностических средств» и «Технические условия, нормативы устройства и содержания верхнего строения пути».

В Дирекции для обследования инженерных сооружений запланирована закупка инновационных средств диагностики - промышленных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (рис. 7). В связи с этим намечено направить специалистов мостоиспытательных станций и инженерно-геологических баз на обучение в специализированные образовательные учреждения по специальности оператор БПЛА.

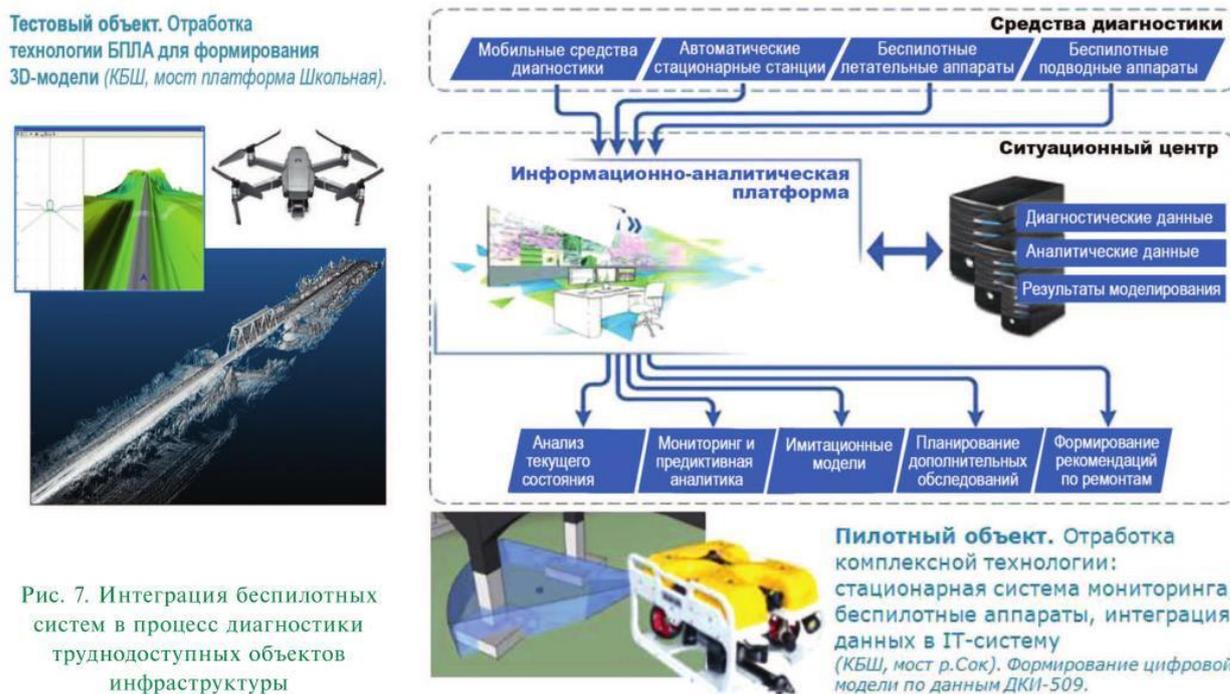


Рис. 7. Интеграция беспилотных систем в процесс диагностики труднодоступных объектов инфраструктуры

Сегодня приоритетными направлениями развития деятельности Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры являются формирование комплексной оценки; автоматизация процессов расшифровки; развитие информационно-аналитической системы комплексной диагностики; создание современных средств мониторинга и диагностики состояния инфраструктуры (стационарная диагностика, безлюдные технологии и т. д.). Реализация перечисленных выше мероприятий позволит обеспечить выполнение существующих и перспективных объемов перевозок железнодорожным транспортом в соответствии с утвержденным графиком и установленными скоростями движения поездов.

НОВЫЕ ЛОКОМОТИВЫ - НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ

Автор: ВАСИЛЬЕВА С.А., БОРЦ А.И., ВАГАНОВА О.Н.

Аннотация. В статье приведены аналитические данные, подтверждающие отрицательное влияние локомотивов нового поколения с асинхронными двигателями 2ЭС10 на состояние рельсового хозяйства. В результате авторы делают вывод о необходимости комплексного решения возникшей проблемы за счет преобразования схемы обслуживания верхнего строения пути на участках обращения локомотивов с асинхронными двигателями и внесения изменений и дополнений в эксплуатационную и ремонтную документацию локомотивов серии 2ЭС10.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, локомотивы 2ЭС10, дефектность рельсов.

ВАСИЛЬЕВА С.А., ОАО «Российские железные дороги», Центральная дирекция инфраструктуры, Управление пути и сооружений, ведущий инженер



БОРЦ А.И., АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), канд. техн. наук



ВАГАНОВА О.Н., «Российские железные дороги», Центральная дирекция инфраструктуры, Управление пути и сооружений, начальник отдела



Основной задачей развития железнодорожного транспорта является повышение грузооборота. Отсюда актуальны вопросы разработки и внедрения локомотивов с повышенными тяговыми характеристиками. С 2010 г. Уральским заводом железнодорожного машиностроения выпускается двухсекционный восьмиосный электровоз постоянного тока с асинхронными двигателями 2ЭС10 «Гранит». Он способен вести поезд массой 9000 т на участках с равнинным профилем и 6300 т - на участках с горным профилем.

Уже выпущено 169 электровозов 2ЭС10 (в том числе 49 снабжены дополнительной бустерной секцией 2ЭС10С, делающей локомотив трехсекционным), которые курсируют на грузонапряженных направлениях с наиболее сложным профилем Свердловской и Западно-Сибирской дорог.

Сравнение характеристик типового электровоза ВЛ11 и повышенной мощности 2ЭС10 приведено в табл. 1.

Таблица 1
Основные технические характеристики электровозов ВЛ11 и 2ЭС10

Технические характеристики	ВЛ11	2ЭС10
Нагрузка от колесной пары на рельсы, тс	23	25
Мощность в часовом режиме, кВт	5360	8800
Сила тяги в часовом режиме, тс	39,5	54,9
Максимальная скорость эксплуатации, км/ч	100	120
Служебная масса, т	184	200
Тип двигателя	Коллекторный	Асинхронный
Допускаемое управляемое проскальзывание колес, м/с	—	0,83

В 2019 г. специалистами АО «ВНИИЖТ» была выполнена научно-исследовательская работа по определению воздействия электровозов нового поколения 2ЭС10 на путь в части оценки продольных и поперечных сил. По результатам исследований сделаны следующие выводы:

при эксплуатации грузовых электровозов с асинхронными двигателями в режиме максимальной тяги продольные силы в рельсах могут достигать 250 кН. В условиях

Московского региона эта величина составляет около 30 % от максимальных температурных сил в летний период - 580 кН;

поперечные силы в кривой радиусом 400 м в режиме максимальной тяги и электродинамического торможения электровоза 2ЭС10 составили 83 кН, что влечет за собой повышенное накопление деформаций и расстройств пути в плане.

Это указывает на необходимость усиления пути на участках эксплуатации грузовых электровозов с асинхронными двигателями в режимах максимальной тяги и электродинамического торможения для обеспечения стабильности пути по показателям угона и поперечных деформаций. Для недопущения угона необходимо применение усиленной эпюры шпал 2000 шт/км, подрельсовых прокладок повышенной жесткости (от 200 кН/мм и более) и увеличение силы прижатия клемм промежуточных скреплений (от 25 кН и более).

Анализ состояния путевой инфраструктуры на участках обращения новых электровозов с асинхронными двигателями обнажил еще одну проблему - рост дефектности рельсов, вероятно связанный с особенностью режима эксплуатации этих локомотивов в виде допускаемого управляемого проскальзывания колес до 0,83 м/с.

Мировой опыт эксплуатации электровозов повышенной тяги свидетельствует, что технологическое проскальзывание колес локомотива при асинхронном двигателе выступает причиной образования контактно-усталостных повреждений рельсов, большинство которых зарождаются в так называемом «белом» слое, образующемся на поверхности катания и имеющем небольшую глубину (около 0,1 мм), повышенную твердость (НВ 750-780) и хрупкость, аустенито-мартенситную микроструктуру. Такой слой возникает в результате термомеханического воздействия при проскальзывании в контакте «колесо-рельс» и, несмотря на небольшую глубину, инициирует развитие микротрещин в глубь основного металла головки рельса.

Как отмечалось ранее, в настоящее время наибольшее количество локомотивов 2ЭС10 обращается в границах Свердловской дирекции инфраструктуры. Динамика увеличения числа локомотивов с асинхронными двигателями на Свердловской дороге приведена на рис. 1.

Одновременно с появлением локомотивов 2ЭС10 на Свердловской дороге стал наблюдаться рост контактно-

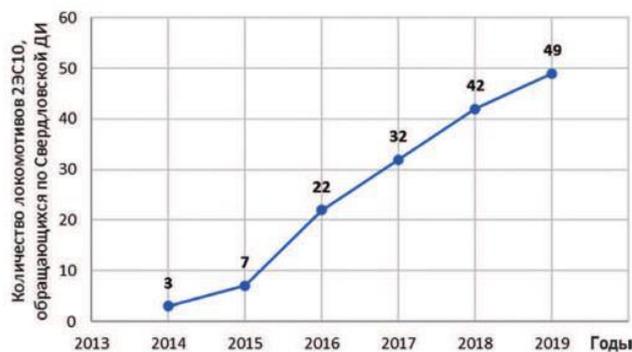


Рис. 1. Увеличение количества новых локомотивов 2ЭС10 на Свердловской дороге за последние годы

усталостных повреждений рельсов. При этом наибольший рост дефектности рельсов зафиксирован в 2017 и 2018 гг., когда грузонапряженность не возросла, а протяженность пути с рельсами, пропустившими сверхнормативный тоннаж (более 700 млн т груза брутто), была наименьшей, что видно на графиках рис. 2.

При более детальном анализе установлены виды дефектов рельсов, по которым наблюдается наибольший рост с

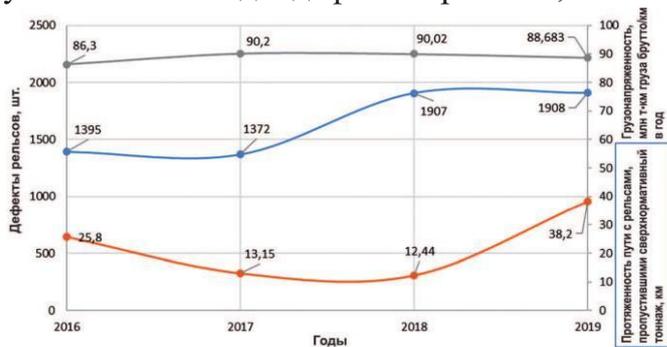


Рис. 2. Динамика дефектов рельсов (синяя линия), грузонапряженности (серая) и протяженности пути с рельсами, пропустившими сверхнормативных тоннаж (оранжевая) по Свердловской дирекции инфраструктуры с 2016 по 2019 гг.

момента начала эксплуатации локомотивов 2ЭС10. Это дефекты 11.1-2 (трещины и выкрашивания металла, возникшие внутри от местных скоплений неметаллических включений или с наружной поверхности рельса из-за недостаточной контактно-усталостной прочности металла) и 40 (волнообразный износ и смятие головки рельса).

Из графика на рис. 3 видно, что с 2014 по 2019 г. выход рельсов по дефекту 11.1-2 на 1 км пути вырос в три раза. При этом кривая графика хорошо коррелирует с кривой поступления новых локомотивов на дорогу (см. рис. 1) - та же возрастающая зависимость.

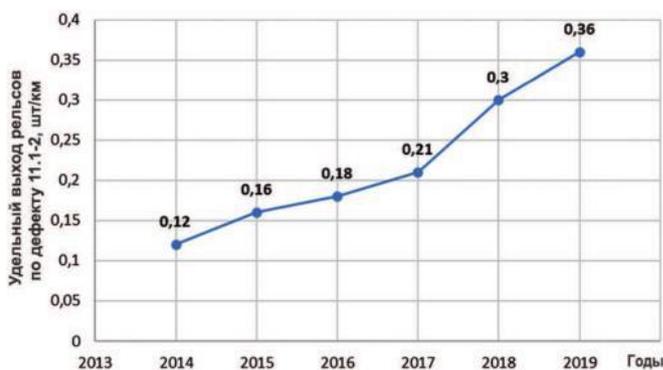


Рис. 3. Динамика удельного выхода рельсов по дефекту 11.1-2 на Свердловской дороге с 2014 г.

Что же касается дефектов 40, то тут необходимо отметить, что до начала эксплуатации локомотивов 2ЭС10 волнообразный износ рельсов на Свердловской дороге вообще отсутствовал (рис. 4).

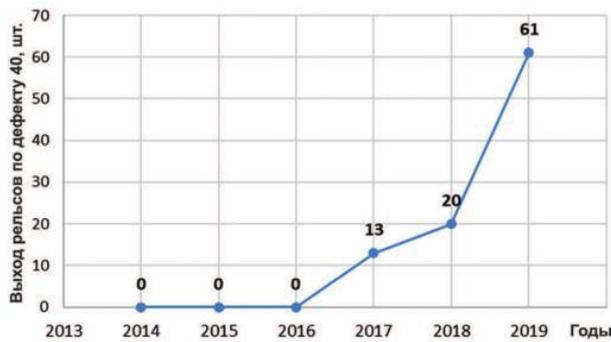


Рис. 4. Выход рельсов по дефекту 40 на Свердловской дороге с 2014 г.

Куйбышевской - километр с подобными характеристиками на Абдулинской дистанции (ПЧ-14).

Таблица 2

Технические характеристики сравниваемых участков пути Куйбышевской и Свердловской дорог

Основные технические характеристики	Участок Свердловской ДИ	Участок Куйбышевской ДИ
Грузонапряженность, млн т·км груза брутто/км в год	58,7	58
Год последнего капитального ремонта	2009	2007
Пропущенный тоннаж, млн т груза брутто	579	920
План пути (радиусы кривых, м/возвышение наружного рельса, мм)	630/50	543/80, 730/75
Скорость движения поездов, км/ч	85/80	80/60 и 100/80
Заменено дефектных рельсов	0	0
Лежит в пути дефектных рельсов	15	0

Как видно из приведенного анализа, при почти равных технических характеристиках верхнего строения пути и близких эксплуатационных условиях на свердловском участке зафиксировано 15 дефектных рельсов, а на куйбышевском их нет, хотя он и пропустил больший тоннаж (920 млн т груза брутто) по сравнению с куйбышевским (579 млн т). Такую разницу в уровнях дефектности можно объяснить только негативным воздействием локомотивов 2ЭС10 на рельсы. При этом дефекты все те же - 11.1-2 и 40.

Влияние электровозов повышенной тяги с асинхронными двигателями на образование импульсных неровностей на рельсах (волнообразный износ) в настоящее время изучается специалистами АО «ВНИИЖТ» в рамках научно-технической работы. Уже проведены предварительные исследования рельсов категории Т1 с волнообразным износом, изъятых из пути Свердловской дороги. Результаты измерений показали, что глубина волн варьирует в диапазоне от 0,3 до 1,0 мм. При этом длина волн составляет 20-25 см, т. е. их можно охарактеризовать как короткие (в соответствии с



Рис. 5. Профиль головки рельса с трещиной контактной усталости (сечение рельсовой нити с максимальным волнообразным износом)

Инструкцией «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов», утвержденной Распоряжением ОАО «РЖД» от 23 октября 2014 г. № 2499р).

Из мест с минимальным и максимальным износом были вырезаны поперечные темплеты, при изучении которых обнаружены продольные подповерхностные трещины (рис. 5) на рабочей выкружке, возникшие из-за

развития процессов контактной усталости металла рельса. Микроструктура представляет собой волокнисто-деформированный перлит, что является характерным для контактного взаимодействия с проскальзыванием.

Исследования также подтвердили однородность физико-механических свойств данного рельса по длине и их соответствие требованиям ГОСТ Р 51685-2000. Таким образом, в данном случае короткие волны возникли из-за периодического проскальзывания колес, что привело к сдвигу и повышенному истиранию верхних слоев металла. Как мы помним, режим проскальзывания колес характерен для локомотивов повышенной мощности 2ЭС10.

Остается сделать обоснованный вывод, что негативное воздействие на путь новых локомотивов с асинхронными двигателями 2ЭС10 требует комплексных решений по усилению конструкции верхнего строения пути и изменению схем его обслуживания, а также технических разработок по созданию рельсов новой категории со специальным комплексом свойств, устойчивых к повреждению в условиях регулярного проскальзывания колес локомотивов.

В качестве необходимых, но не исчерпывающих весь перечень технических и технологических направлений для реализации поставленных задач, можно назвать следующие меры:

разработка новых конструкций рельсовых скреплений с повышенной удерживающей способностью в продольном и поперечном направлениях. При этом должны быть оптимизированы материалы для изготовления подрельсовых прокладок с увеличенным коэффициентом трения;

реализация новых технологий шлифования рельсов, включая скоростное шлифование с последующей оценкой продольного и поперечного профиля рельсов;

разработка новой марки стали и категории рельсов, устойчивых к локальному истиранию и износу при одновременно высоком сопротивлении образованию термомеханических повреждений с пониженной закаливаемостью микроструктуры на мартенсит;

внесение изменений и дополнений в эксплуатационную и ремонтную документацию локомотивов серии 2ЭС10, направленных на сокращение отрицательных воздействий на путь.

Васильева Светлана Анатольевна - ведущий инженер нормативно-методологического отдела Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД». E-mail: ryndinavasiljeva@mail.ru

Борц Алексей Игоревич - канд. техн. наук, заместитель директора научного центра «Рельсы, сварка, транспортное материаловедение» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). E-mail: borts@list.ru

Ваганова Олеся Николаевна - начальник нормативно-методологического отдела Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД». E-mail: vaganovaon@mail.ru

ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ СВОДА ПРАВИЛ «ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ КОЛЕИ 1520 ММ»

Автор: РОМАНОВ А.В.

Аннотация. Рассмотрена проблема актуализации нормативно-технических документов и документов в области стандартизации, регламентирующих требования безопасности к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта, а также к процессам их проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта. Сделан вывод о необходимости пересмотра действующей редакции свода правил «Железные дороги колеи 1520 мм» с внесением в него требований по всем подсистемам инфраструктуры, приведения всех нормативно-технических документов в области инфраструктуры железнодорожного транспорта к единой классификации, а также необходимости инициирования разработки и утверждения на федеральном уровне документов, регламентирующих методики расчета.

Ключевые слова: техническое регулирование, свод правил, объекты инфраструктуры

РОМАНОВ А.В. Петербургский государственный университет путей сообщения, канд. техн. наук



В настоящее время весьма актуальны вопросы технического регулирования в области проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. При эксплуатации объектов инфраструктуры требования безопасности устанавливаются техническими регламентами таможенного союза ТР ТС 002 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» [1] и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [2]. Этими документами установлены требования к продукции (подсистемам и элементам инфраструктуры) и к связанным с ней процессам проектирования, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, капитального ремонта и утилизации. В то же время требования к железной дороге как к объекту капитального строительства и к процессам инженерных изысканий, проектирования, строительства, монтажа, капитального ремонта и реконструкции устанавливаются Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, принятым в Российской Федерации в виде Федерального закона № 384-ФЗ [3].

Основным документом, включенным в перечни документов, применение которых на обязательной [4] и добровольной [5] основе подтверждает соблюдение требований безопасности, установленных вышеуказанным Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений [3], является Свод правил 119.13330.2017 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм» [6]. В настоящее время имеются уже две его редакции 2012 и 2017 гг. с актуализацией в 2019 г.

Действующая редакция свода правил не удовлетворяет потребности проектных институтов, занимающихся проектированием строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, подразделений заказчика (в том числе ОАО «РЖД») и органы государственной экспертизы. Среди основных недостатков действующей редакции свода правил СП 119.13330.2017 можно выделить следующие:

- отсутствуют нормы по проектированию объектов инфраструктуры;
- отсутствует разделение норм на новое строительство, реконструкцию, капитальный ремонт;
- имеется противоречие в классификации железнодорожных линий в различных нормативных документах;
- отсутствует графический материал;
- имеются противоречия с документами обязательного применения по разделу «Примыкания и пересечения».

История и причины данной ситуации известны. В 1995 г. Госстрой России ввел в действие СНиП 32-01-95 с аналогичным названием, который заменил СНиП П-39-76, однако по своему объему, детализации и конкретике составлял лишь одну десятую часть своего предшественника. Введенный в действие в 1995 г. СНиП регламентировал весьма ограниченный набор параметров, необходимых для проектирования и, в основном, содержал нормы декларативного характера. Полноценно использовать его для разработки проектной документации, а также для ее экспертизы специалисты не могли. Именно этот документ и послужил основой для действующего ныне свода правил СП 119.13330.2017.

В то же самое время, то есть в 1995 г., Министерство путей сообщения РФ, как федеральный орган исполнительной власти, издает строительные технические нормы СТН Ц-01-95, которые, в отличие от СНиП 32-01-95, содержали в себе все необходимые нормативные акты и использовались разработчиками проектной документации, заказчиком и органами государственной экспертизы как основной документ для проектирования. К сожалению, в 2015 г. СТН Ц-01-95 были отменены без замены.

Начиная с 2015 г. Минтранс России утверждены 14 сводов правил, которые охватывают все подсистемы инфраструктуры железнодорожного транспорта. К сожалению, статус этих документов не позволяет использовать их в полной мере для разработки проектной документации. Эти своды правил не включены ни в один из перечней документов, поддерживающих Технический регламент о безопасности зданий и сооружений, и в настоящее время их можно рассматривать как документы рекомендательного, методического характера.

Таким образом, сейчас, как никогда остро, стоит вопрос о пересмотре свода правил СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм». В этом ключе можно выделить несколько задач, которые необходимо решить в ближайшее время.

Первой архиважной проблемой является классификация железнодорожных линий и железнодорожных путей. В настоящее время существует пять

различных документов, которые устанавливают категорию железнодорожной линии и класс пути и противоречат друг другу. Среди этих документов три являются документами федерального уровня:

Свод правил СП 119.13330.2017 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм»;

Свод правил СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования»;

Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [7].

А также два ведомственных документа ОАО «РЖД»: Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная Распоряжением ОАО «РЖД» от 28.01.2020 № 28/р;

Технические условия на работы по ремонту железнодорожного пути, утвержденные Распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р (в действующей редакции).

Данная ситуация недопустима. Должна быть одна единая классификация во всех документах, которая будет распространяться на процессы проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, в том числе и железнодорожного пути.

Дискуссионным остается вопрос о необходимости разделения категории железнодорожных линий и класса железнодорожного пути. Существует несколько подходов к решению данного вопроса, в том числе существует позиция о необходимости исключения класса железнодорожного пути из всех документов. Однако класс пути необходим, наряду с категорией линии. Такая позиция может быть аргументирована следующим образом. Категория железнодорожной линии, определенная СП 119.13330, устанавливает нормативные требования безопасности ко всем подсистемам и объектам инфраструктуры в целом по участку. При этом существуют участки, где на одном земляном полотне располагаются пути с различной грузонапряженностью (грузовое и негрузовое направления на перегонах, главные и приемо-отправочные пути на станциях). Очевидно, что в этом случае требования к пути и связанным с ним процессам должны (в том числе периодичность и схемы ремонтов) быть различные.

При этом должна быть установлена связь на уровне нормативного документа между категорией железнодорожной линии и классом железнодорожного пути. Это соответствие должно быть установлено в новой редакции свода правил СП 119.13330.

Второй проблемой является отсутствие разделения норм проектирования на новое строительство, реконструкцию и капитальный ремонт железнодорожного пути. Известно, что основные направления сети железных дорог Российской Федерации сформировались в конце XIX - начале XX столетия по действующим тогда нормам проектирования. При проектировании и выполнении капитального ремонта пути основным ограничивающим фактором является существующее положение основной площадки земляного полотна и

обеспечение габаритов приближения строений до имеющихся устройств инфраструктуры. Таким образом, зачастую отдельные участки железнодорожной трассы не удовлетворяют современным требованиям для нового строительства, а выполнить перенос устройств инфраструктуры (в том числе земляное полотно в рамках титула капитального ремонта пути) не представляется возможным. Таким образом, срочно необходимы научно обоснованные нормы проектирования капитального ремонта пути, обеспечивающие безопасность движения поездов с учетом вписывания в существующие габариты устройств инфраструктуры.

Не менее серьезные нарекания у экспертного сообщества имеются и к Перечню обязательных документов в области стандартизации, поддерживающих 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Этот перечень был обновлен в июле 2020 г., но, к сожалению, не откорректирован. В него так и не включены в качестве обязательных важнейшие требования безопасности к плану и продольному профилю трассы, верхнему строению пути, земляному полотну и водоотводным сооружениям.

В настоящее время Департаментом капитального строительства инициирована масштабная актуализация свода правил СП 119.13330. Предполагается, что структура документа будет включать в себя требования ко всем подсистемам инфраструктуры железнодорожного транспорта. За основу разработки предлагается взять 14 сводов правил, утвержденных Минтрансом России. В процессе работы будут выбраны параметры безопасности, регламентируемые Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, как численные, так и качественные, в том числе:

механической безопасности;

пожарной безопасности;

безопасности при опасных природных процессах и явлениях и/или техногенных воздействиях;

безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях;

безопасности для пользователей зданий и сооружений;

доступности зданий и сооружений для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения;

энергетической эффективности зданий и сооружений;

безопасного уровня воздействия зданий и сооружений на окружающую среду.

Будет выполнен подробный анализ документов на предмет дублирования требований безопасности и удаления неконкретных, декларативных или непроверяемых, учтен зарубежный опыт, а также даны предложения по исключению требований к процессу проектирования и строительства из ведомственных документов ОАО «РЖД».

Еще одной актуальной проблемой, которую необходимо решить в настоящее время, является отсутствие верифицированных методик расчета различных элементов и подсистем железнодорожного транспорта, о чем неоднократно

отмечалось ранее [8, 9]. В частности, в рамках «регуляторной гильотины» отменены без замены важнейшие документы, такие как «Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности» (ЦПТ 52/14), «Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта» (Приказ № 41), «Технические указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути» (ЦПИ-24). В ближайшее время, вероятно, будут отменены «Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути» (ТУ-2000) и многие другие. Эти документы были приняты Министерством путей сообщения Российской Федерации как федеральным органом исполнительной власти и в настоящее время не действуют. ОАО «РЖД» постоянно актуализирует документы, однако они подлежат применению исключительно как локальные нормативные акты организации.

К сожалению, ни Минтранс, ни Росжелдором актуализация необходимых методик расчета не ведется, что также вызывает большие сложности при разработке проектной документации на строительство, реконструкцию и капитальный ремонт объектов железнодорожного транспорта, приемку этих работ со стороны заказчика и рассмотрению документации органами государственной экспертизы.

Таким образом, в настоящее время для решения актуальных проблем в области технического регулирования объектов железнодорожного транспорта необходимо следующее:

пересмотр свода правил «Железные дороги колеи 1520 мм» с внесением в него требований по всем подсистемам железнодорожного транспорта, который также необходимо распространить на процессы проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта;

привести все нормативно-технические документы в области железнодорожного транспорта к единой классификации железнодорожных линий и путей;

инициировать разработку и утверждение на федеральном уровне нормативно-технических документов рекомендательного характера (методик расчета, классификаторов и т.п.) в области установления требований к подсистемам железнодорожного транспорта.

Романов Андрей Валерьевич - канд. техн. наук, доцент кафедры «Железнодорожный путь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andrey.romanov@mail.ru SPIN-код: 6385-3293

МЕТОД ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПОД ПОЕЗДНОЙ НАГРУЗКОЙ

Автор: ОВЧИННИКОВ Д.В., СУСЛОВ О.А.

Аннотация. В статье представлена методика оценки устойчивости бесстыкового пути при одновременном воздействии температурных усилий в рельсовых плетях и нагрузки от подвижного состава в среде конечно-элементного моделирования с помощью математической модели с нелинейными характеристиками сил сопротивления. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, подтверждающий валидность модели. Использование представленной методики позволяет сократить объем экспериментальных исследований в процессе разработки норм устойчивости для новых типов конструкции верхнего строения пути и подвижного состава.

Ключевые слова: устойчивость бесстыкового пути, выброс, резкое искривление рельсошпальной решетки, конечно-элементная модель бесстыкового пути, оценка устойчивости при воздействии поездной нагрузки.

ОВЧИННИКОВ Д.В., Самарский государственный университет путей сообщения, канд. техн. наук,



СУСЛОВ О.А., Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, Научный информационно-аналитический центр, докт. техн. наук.



Укладка бесстыкового пути на дорогах Российской Федерации показала его высокую эффективность по сравнению со звеньевой конструкцией. К тому же ряд конструктивных решений - применение рельсов повышенного качества, тяжелых железобетонных шпал на щебеночном балласте, шурупно-дюбельных и анкерных креплений - позволяет обеспечивать безопасность движения поездов. Однако наличие в рельсовых плетях продольных сил (сжимающих в весенне-летний период и растягивающих в осенне-зимний) диктует определенные требования к устройству и техническому обслуживанию бесстыковой конструкции, главным из которых является недопущение наиболее опасного отказа - выброса пути.

Применяемые элементы верхнего строения пути при условии выполнения нормативных требований по их техническому обслуживанию гарантируют достаточный запас устойчивости бесстыкового пути от выброса при одновременном воздействии температурных сил сжатия в плетях и нагрузок от подвижного состава. Однако при отступлении от норм содержания балластного слоя и промежуточных рельсовых скреплений, а также при нарушении конфигурации пути в плане возможно появление участков, на которых вероятность выброса возрастает [1]. Особенно она велика при наличии в пути так называемой критической неровности, т. е. неровности, длина которой совпадает с формой потери устойчивости бесстыкового пути, характерной для конкретного участка [2].

Разработан ряд методик для определения параметра, характеризующего устойчивость пути, - максимально допустимого превышения температуры рельсов относительно температуры их закрепления [3-6]. Каждая методика имеет преимущества и недостатки, связанные с особенностями вычисления, точностью выходных данных, применением специального программного обеспечения.

Рассмотрим метод конечных элементов как инструмент, позволяющий задавать

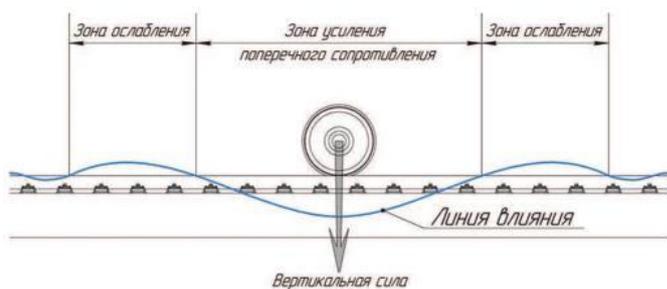


Рис. 1. Схема распределения линии влияния вертикальной силы по длине пути

исходные данные для расчета в наиболее широком диапазоне, исследовать и контролировать процесс роста стрел изгиба при увеличении продольных сил, а также получать результаты с высокой точностью.

Наиболее существенным параметром, определяющим вероятность выброса

бесстыкового пути, является его сопротивление поперечному сдвигу, формируемое конструкцией и состоянием шпал, промежуточных скреплений и балластного слоя. При движении поезда под каждым колесом в зависимости от значения динамической вертикальной силы происходит увеличение сопротивления сдвигу поперек пути на длине, равной длине линии влияния вертикального воздействия (рис. 1). При воздействии нескольких колес в тележке величины линий влияния суммируются.

На обратной полуволне происходит ослабление поперечного сопротивления сдвигу вследствие уменьшения силы трения между подошвой шпалы и балластным слоем. Упругий прогиб рельса при воздействии вертикальных усилий пропорционален линии влияния:

$$\eta = e^{-kx}[\cos(kx) + \sin(kx)], \quad [7]$$

где k - относительная жесткость рельсового основания и рельса, зависящая от характеристик конструкции пути.

Таким образом, с точки зрения ослабления поперечных сил сопротивления перемещениям рельсошпальной решетки наиболее неблагоприятными являются

сечения перед первой осью головной единицы состава - локомотивом - и за последней осью состава.

Статическая нагрузка на путь от оси локомотива составляет в среднем 23-25 тс, т. е. она не меньше средней нагрузки от оси груженого вагона. Таким образом, оба сечения можно рассматривать как эквивалентные.

Для оценки устойчивости бесстыкового пути от выброса при одновременном воздействии поездной нагрузки и продольных сжимающих сил использована конечно-элементная модель, структурная схема которой приведена на рис. 2 [8]. Она позволяет учитывать следующие параметры для каждого элемента конструкции пути:

продольное сопротивление перемещению рельса в узле скрепления;

сопротивление кручению рельса относительно шпалы в узле скрепления;

сопротивление сдвигу шпалы в балластном слое поперек оси пути;

сопротивление сдвигу шпалы в балластном слое вдоль оси пути;

план и профиль линии;

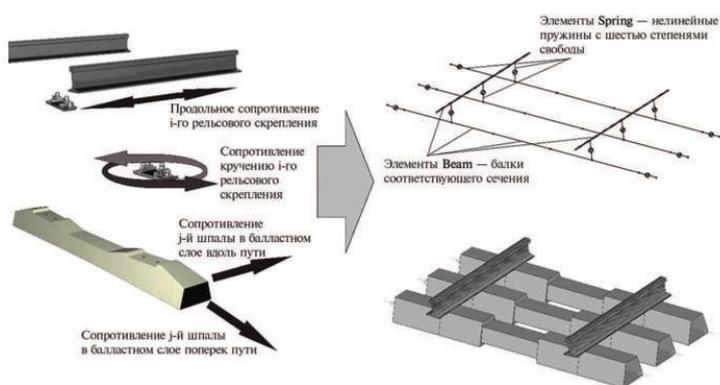


Рис. 2. Конечно-элементная модель верхнего строения пути с нелинейными характеристиками сил сопротивления

тип подвижной единицы, осевую нагрузку и скорость движения состава.

Также дополнительно учитываются отступления от норм содержания балластного слоя и промежуточных рельсовых скреплений за счет изменения соответствующих параметров сил сопротивления.

Количественная оценка

влияния дополнительного воздействия поездной нагрузки на устойчивость бесстыкового пути формируется в несколько этапов.

1. Вычисление воздействия поездной нагрузки на шпалу ($P_{шп}$) с помощью линии влияния упругого прогиба рельса $\eta = e^{-kx}[\cos(kx) + \sin(kx)]$ в зависимости от характеристик пути и подвижного состава.

2. Определение изменения сил сопротивления сдвигу шпал и промежуточных скреплений в зависимости от нагрузки на шпалу в конкретном сечении пути и вектора ее направления.

Для моделирования изменения сил сопротивления шпал и скреплений принимаются различные функциональные зависимости: силы сопротивления сдвигу шпал в балластном слое при отсутствии воздействия на шпалу вертикальных сил от подвижного состава ($P(шп) = 0$) моделируются функцией вида

$$B \arctg\left(\frac{x}{b}\right),$$

где B и b — коэффициенты аппроксимации; x — величина перемещения шпалы в балласте поперек пути.

В сечениях с положительными значениями ординат линии влияния, где на шпалу действует вертикальная сила прижатия ($P_{\text{шп}} > 0$), применяется функция вида

$$(B + kP_{\text{шп}}) \arctg\left(\frac{x}{b}\right),$$

где k — коэффициент трения шпалы в балласте.

В сечениях с отрицательными значениями ординат линии влияния в случае, если значение обезгруживающей вертикальной силы меньше или равно массе шпалы ($m \leq P_{\text{шп}} < 0$), функция принимает вид

$$\left[(B - mk) + k(m + P_{\text{шп}}) \frac{m + P_{\text{шп}}}{m} \right] \arctg\left(\frac{x}{b}\right),$$

где m — масса шпалы.

В остальных случаях, когда значение обезгруживающей вертикальной силы больше массы шпалы ($P_{\text{шп}} < m$), используется зависимость вида

$$(B - mk) \arctg\left(\frac{x}{b}\right).$$

также зависимость максимального перемещения наружной нити ослабленного участка (рис. 5) с учетом поправочных коэффициентов [9].

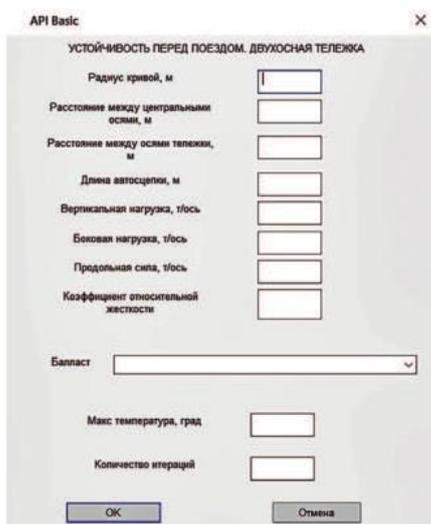


Рис. 3. Исходные данные оценки устойчивости бесстыкового пути в диалоговом окне

3. Непосредственно расчет температуры, при которой происходит резкое искривление рельсошпальной решетки. Реализация данного алгоритма при использовании метода конечных элементов при ручном вводе достаточно трудоемка, поэтому в среде языка программирования Visual Basic for Applications разработана программа-макрос, автоматизирующая процесс создания модели для оценки устойчивости бесстыкового пути при воздействии поездной нагрузки. Диалоговое окно ввода значений исходных данных представлено на рис. 3.

Результаты работы модели представляют собой графическое отображение искривления рельсошпальной решетки (рис. 4), а

также зависимость максимального перемещения наружной нити ослабленного участка (рис. 5) с учетом поправочных коэффициентов [9].



Рис. 4. Графическое отображение резкого искривления рельсошпальной решетки радиусом 250 м при одновременном воздействии поездной и температурной нагрузок (для наглядности перемещения увеличены в 10 раз)

С помощью представленной конечно-элементной модели, а также предложенной методики проведена оценка максимально допустимого повышения температуры при воздействии на путь состава, сформированного из полувагонов и локомотива ЭС5К «Ермак». Расчетные значения параметров для верхнего строения пути приняты для конструкции с рельсами Р65 на железобетонных шпалах, балласт - щебеночный, эпюра шпал - 2000 шт/км.

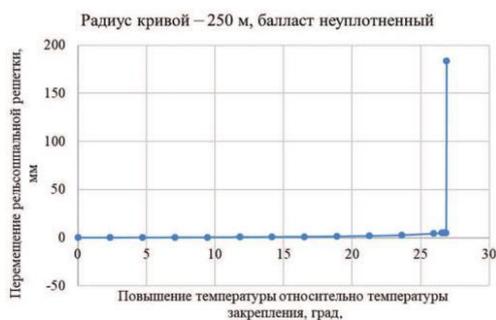


Рис. 5. График изменения положения узла модели с наибольшими перемещениями при увеличении температуры

Результаты представлены в табличной форме в виде сравнительного анализа повышения температуры рельсовых плетей $[\Delta t(y)]$, допускаемого по условию устойчивости пути, представленного в табл. Пб.1 [10], и тех же величин, полученных с помощью моделирования. Разность результатов не превышает 1-2 °С, что подтверждает валидность конечно-элементной модели и свидетельствует о возможности ее применения для дальнейших исследований

устойчивости пути, в том числе с учетом воздействия поездной нагрузки.

Выводы

1. Разработана конечно-элементная модель для оценки устойчивости бесстыкового пути от выброса при воздействии поездной нагрузки и температурных сил сжатия.
2. Представлена методика, которая позволяет учитывать факторы, связанные с воздействием подвижного состава, ослабляющие и усиливающие устойчивость бесстыкового пути от выброса.
3. Полученные в ходе моделирования результаты расчета допускаемых значений повышения температуры по условию обеспечения устойчивости коррелируются со значениями, представленными в [10], что подтверждает валидность модели.
4. Использование представленной методики позволяет сократить время разработки норм устойчивости для новых типов конструкции верхнего строения пути и подвижного состава за счет уменьшения объемов экспериментальных исследований.

О ПАРАМЕТРАХ ТРАССЫ ЛИНИИ ОБСКАЯ-САЛЕХАРД-НАДЫМ

Аннотация. В статье рассматриваются параметры трассы железнодорожной линии Обская-Салехард-Надым (Хорей). Предлагаются методы трассирования, учитывающие особенности рельефа и природных условий района проектирования, в частности, конструкции земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах и при метелевом переносе снега. Для линии Обская-Салехард-Надым (Хорей) рекомендованы специальные профили земляного полотна по условию их незаносимости снегом.

Ключевые слова: Северный широтный ход, сложные природно-климатические условия, проектирование, земляное полотно, план и профиль трассы.

АШПИЗ Е.С., Российский университет транспорта (МИИТ), докт. техн. наук, **БУЧКИН В.А.,** (МИИТ), докт. техн. наук, **БЫКОВ Ю.А.,** (МИИТ), докт. техн. наук, **ГРИНЬ Е.Н.,** (МИИТ), канд. техн. наук, **РЫЖИК Е.А.,** (МИИТ), канд. техн. наук

Новая железнодорожная линия Обская-Салехард-Надым (Хорей) является участком магистрали Северный широтный ход (СШХ), строительство которой предусмотрено как один из приоритетов в «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [1]. При этом СШХ станет элементом единой арктической транспортной системы, обеспечивающим освоение природно-ресурсного потенциала российской арктической зоны и шельфа арктических морей, а также значительно сократит (до 1000 км) транспортные маршруты от месторождений в северных районах Западной Сибири до портов Балтийского, Белого, Баренцева и Карского морей.

Линия Обская-Салехард-Надым примыкает к участкам существующих железных дорог на станции Обская Северной дороги и станции Хорей на линии Пангоды-Надым (пристань), принадлежащей «Газпромтранс». Прогнозный объем перевозок определен в 24 млн т груза брутто в год, и железная дорога отнесена ко II категории. Руководящий уклон - 9 %, норма массы грузовых составов - 6000 т - принята по условиям линии примыкания.

Трасса линии проходит в сложных природных условиях, характеризующихся наличием высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов, обводненностью территории, холодным климатом с продолжительной зимой с низкими температурами воздуха, большими скоростями ветра с длительными метелями и значительным объемом снегопереноса.

Для рельефа территории характерно большое количество водотоков, а также участков, имеющих естественные уклоны, превышающие руководящий уклон линии, что предопределяет большой диапазон высот земляного полотна, проектирование которого осложняется не только сложными природными условиями, но и отсутствием вблизи трассы кондиционных грунтов для отсыпки насыпей.

Такое положение вызывает необходимость совместного проектирования плана и профиля трассы с учетом конструкций земляного полотна, стоимость которого в этих условиях будет одной из основных составляющих в стоимости линии.

Основные показатели рельефа и выбор параметров трассы

Район проектирования в геоморфологическом отношении представляет собой полого-холмистую равнину, опускающуюся в северном направлении. Отличительной чертой рельефа является его ступенчатость и наличие большого числа террас. Равнинный рельеф с большим количеством впадин и избыточное увлажнение способствуют развитию многочисленных озер и болот. Для большинства водотоков характерны широкие пойменные долины с террасными склонами. Долины корытообразные глубиной 20-40 м. Ширина долин рек колеблется от 200 до 300 м в истоках и до 10 км и более в низовьях. Реки данного района сильно меандрируют, с образованием рукавов и стариц. В районах сосредоточения озер реки образуют озерно-речные системы (рис. 1).



Рис. 1. Рельеф района проектирования

Трасса проектируемой железнодорожной линии пересекает множество постоянных и временных водотоков.

С учетом того, что трасса проходит в метелевом районе, земляное полотно в соответствии с требованиями норм СП 119.13330.2017 [2] проектируется преимущественно насыпями высотой, превышающей минимальную высоту по условию незаносимости снегом, которая для данной линии составляет около 2 м.

Другим ограничением при проектировании выемок и высоких насыпей в условиях высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов на участках, где в основании расположены льдистые грунты, является трудность защиты их от оттаивания.

На равнинах и участках, проходящих по долинам рек, при проектировании профиля насыпями высотой 2-3 м для элементов плана и профиля могут быть использованы следующие рекомендуемые нормы:

радиусы круговых кривых в диапазоне от 4000 до 2000 м (иногда, в трудных условиях допускаются радиусы до 1500 м);

алгебраическая разность уклонов 5 % при длине элементов 250 м;

радиусы вертикальных кривых - 15000 м.

На участках спусков в долины рек не удастся выдержать узкий диапазон высот насыпей, и поэтому для уменьшения объемов земляных работ при

проектировании плана трассы желательно использовать радиусы круговых кривых до 800 м, допускаемые в особо трудных условиях при технико-экономическом обосновании (рис. 2).

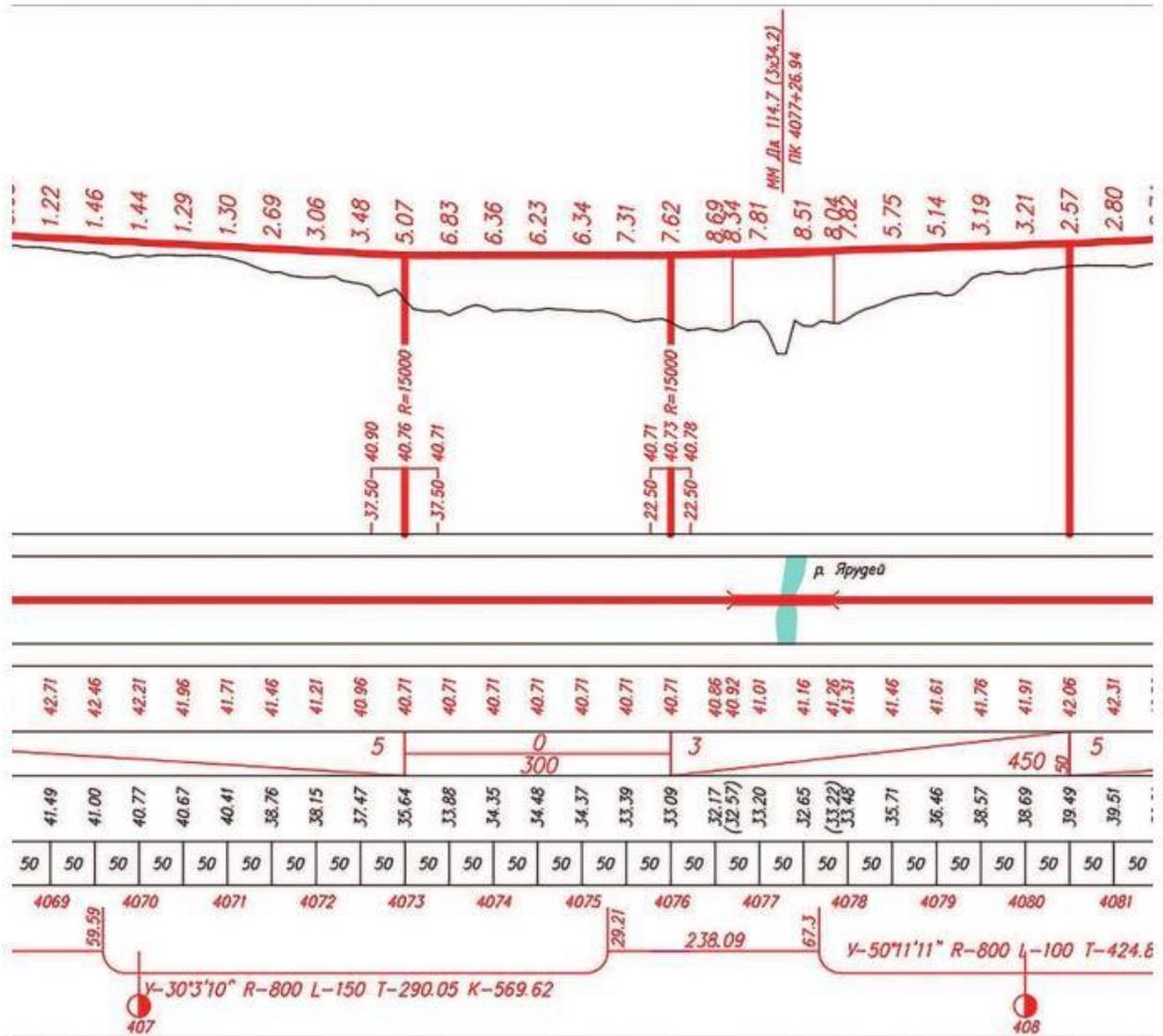


Рис. 2. Участок трассы в районе мостового перехода через р. Ярудей

Но, несмотря на применение допускаемых норм, ухудшающих характеристику плана трассы, в корытообразной пойме реки отметки насыпей могут превышать 6 м, а на подходах к мостовому переходу - 8 м.

Поэтому в ряде случаев, например, при террасных склонах, с целью понижения отметок высоких насыпей в долине представляется целесообразным допускать места нулевых работ и неглубоких выемок на прилегающих участках (рис. 3) с учетом некоторых особенностей их конструктивных решений.

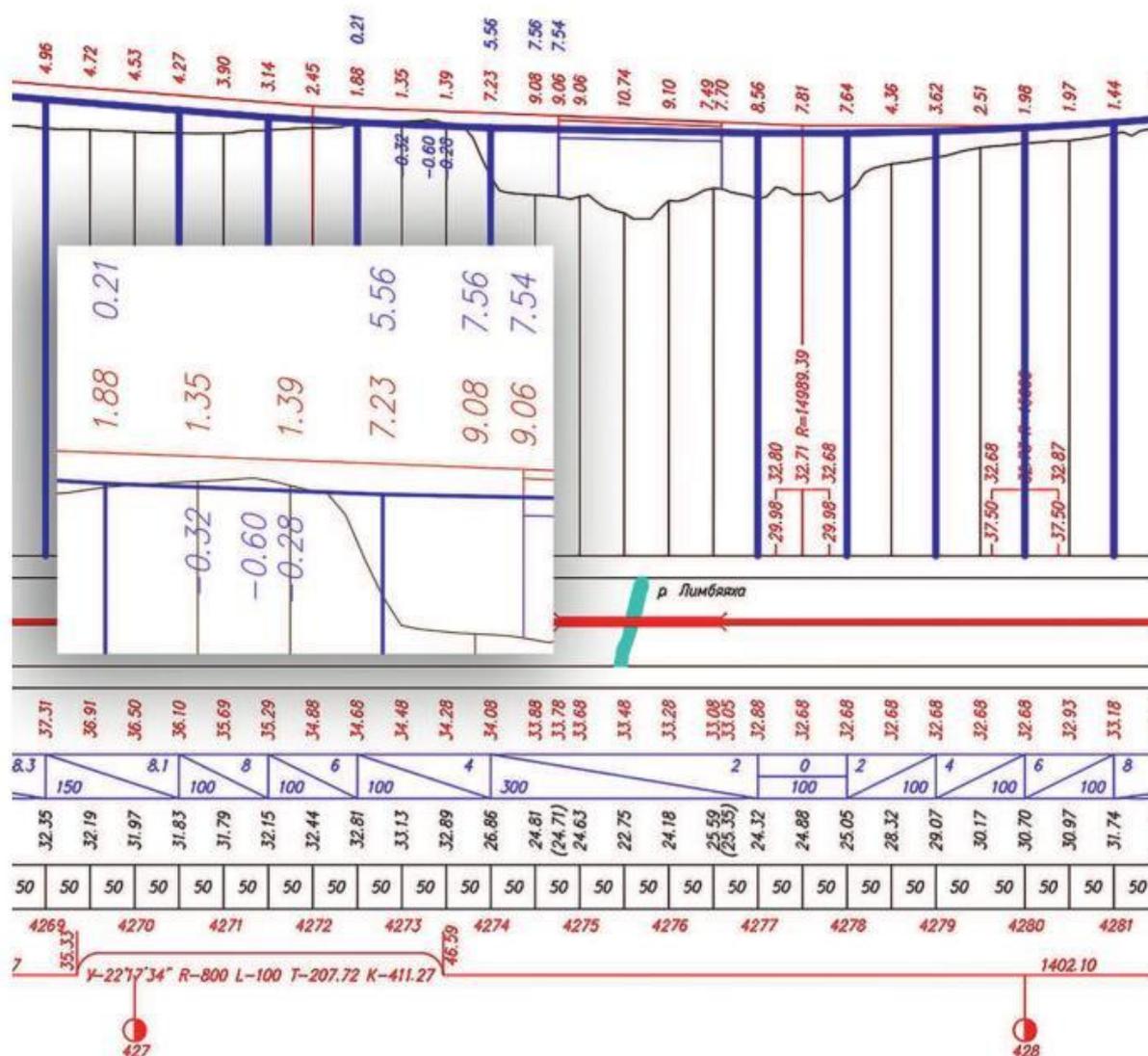


Рис. 3. Участок трассы в районе мостового перехода через р. Лимбяха

Конструкции земляного полотна выемок, низких насыпей и нулевых мест

Количество снегоотложений у земляного полотна зависит от характеристик метелевой деятельности в зоне прохождения дороги, а также от параметров земляного полотна и его расположения. При этом выемки наиболее снегозаносимы.

Вклад в исследование снегозаносимости железнодорожного пути внесли известные ученые: В.К. Дмоховский, Н.Е. Жуковский, Б.Н. Веденисов, А.Х. Хргиан, Д.М. Мельник, А.К. Дюнин и др.

В результате этих исследований была создана теория переноса снега и его выпадения при снижении скорости метелевого потока в местах пересечения с земляным полотном, проведены аэродинамические испытания и многочисленные натурные эксперименты.

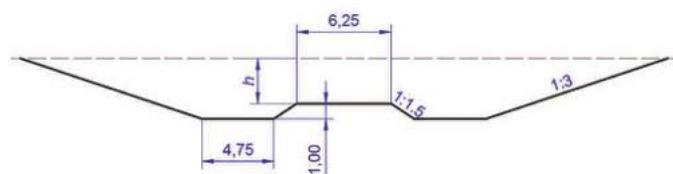
В ходе исследований было установлено, что при прохождении ветрового потока со снегом над выемками с крутизной откосов от 1:1,5 до 1:5 (нераскрытые выемки) образуются интенсивные вихри со снижением скорости ветра и выпадением снега из потока на откос. Снег начинает откладываться в верхней

части откоса выемки, отложения снега постепенно растут, спускаясь вниз по откосу. Установлено, что отложения метелями снега на откосной части выемки по верху формируют поверхность крутизной 1:8 [3], а далее происходит перенос снега без его отложения.

Характер отложений в раскрытых выемках (крутизна откосов менее чем 1:5) отличается от описанного выше. Метелевый поток проходит в безвихревом режиме, но с уменьшением скорости над понижением, за счет чего здесь происходит отложение снега. Для таких выемок отложение снега в первую очередь начинается с подветренной стороны за балластной призмой и дальше приводит к заносимости рельсовой колеи.

Для исключения снегозаносимости мелких выемок А.А. Комаров [4] предложил применить специальный профиль с созданием вместо кювета резервов глубиной до 1,5 м и с шириной, обеспечивающей аэродинамически обтекаемую форму. Проверка такого профиля в лабораторных экспериментах, а затем в районе г. Норильска в полевых условиях на железной дороге показала хорошие результаты [5].

Проектирование поперечных профилей выемок и нулевых мест линии Обская-Салехард-Надым предложено осуществлять из условий обеспечения минимальной снегозаносимости, что достигается отложением метелевого снега на откосных частях, и удобства механизированной очистки пути от снега. В основу этого решения взято предложение А.А. Комарова по применению для



снегозаносимых районов выемок специальных профилей, заключающихся в устройстве вместо кюветов резервов для накопления снега (рис. 4).

Для отработки группового специального поперечного

профиля выемки в условиях линии Обская-Салехард-Надым были приняты следующие условия:

глубина выемки $h = 2$ м;

грунты откосных частей - сезонно талые глинистые пластичной консистенции или мелкие и пылеватые пески;

грунты под основной площадкой - многолетнемерзлые песчаные или глинистые;

ширина балластной призмы поверху - 3,6 м;

толщина балласта под шпалой - 0,35 м;

ширина основной площадки земляного полотна - 6,25 м;

под балластом на всю ширину устраивается защитный слой из песчано-гравийной смеси толщиной 0,4 м с укладкой внутрь покрытия из плит пенополистирола толщиной 0,14 м;

крутизна откоса выемки по условиям устойчивости - не круче 1:3.

Было рассмотрено два принципиальных решения поперечного профиля выемки:

стандартный профиль выемки с кюветом и закюветной полкой шириной 3 м;
специальный профиль выемки с резервом для снегонакопления.

Стандартный профиль выемки рассмотрен в трех вариантах крутизны пологого откоса: 1:3, 1:5 (граница раскрытости выемок) и 1:10 (уклон отложения снега по А.А. Комарову [5]).

Специальный профиль выемки рассмотрен в двух вариантах: с шириной резерва 8,75 м согласно рекомендациям А.А. Комарова [4] при уклоне поверхности отложения снега 1:10 и шириной резерва 4,75 м при уклоне поверхности отложения снега 1:8 согласно уточнению А.П. Васильева [3].

Анализ объемов земляных работ и отложения снега на откосах показал следующее:

уположение откосов выемки в стандартном варианте не дает увеличения снегоемкости откосов, при этом объемы земляных работ при переходе от крутизны 1:3 к крутизне 1:10 возрастают в 1,5 раза;

вариант специального профиля выемки по сравнению со стандартным позволяет почти в два раза увеличить снегоемкость откосов, при этом вариант с шириной резерва 4,75 м имеет объемы земляных работ, как в стандартном варианте с крутизной откоса 1:10.

В результате сравнение вариантов показывает явное преимущество специального профиля выемки с шириной резерва 4,75 м, который и предлагается к дальнейшей проработке.

Оптимизация параметров продольного профиля

При невозможности устройства выемок на участках, прилегающих к высоким насыпям, можно предложить известный, но не используемый в настоящее время способ проектирования проектной линии продольного профиля.

На основании опыта строительства и эксплуатации железных дорог к середине XIX в. выработались различные приемы, основанные на двух принципиально различных подходах к проектированию профиля: прямолинейными отрезками и криволинейного очертания. Проектирование прямолинейными отрезками предусматривает назначение отрезков достаточной длины и сопряжение их вертикальными кривыми радиусами до 10000 м. Продольный профиль криволинейного очертания проектируется элементами переменной крутизны, которое приближает профиль к круговому очертанию и не требует сопряжения отдельных элементов вертикальными кривыми [6].

Последующий опыт и специальные исследования подвижного состава позволяют сформулировать следующее требование, обеспечивающее прочность и устойчивость вагонов при движении по переломам продольного профиля: элементы продольного профиля должны сопрягаться кривой, радиус которой в зависимости от длины и массы состава и ряда других факторов может достигать десятков тысяч метров.

В связи со сложностью расчетов и разбивки вертикальных кривых таких радиусов был принят компромиссный вариант. Сопрягающая окружность

заменяется описанным многоугольником, стороны которого являются элементами переходной крутизны. [7, 8].

В современных нормативных документах [9, табл. 3] ограничиваются минимальная длина и максимальная алгебраическая разность элемента переходной крутизны в зависимости от категории железнодорожной линии и принятой на ней полезной длины приемо-отправочных путей. Длины элементов переходной крутизны варьируют от 200 до 400 м. При этом элементы следует сопрягать вертикальной кривой различными радиусами в зависимости от категории линии (принятых скоростей движения). Допускается пропорционально уменьшать длину элемента и алгебраическую разность уклона.

Проектирование продольного профиля линии Обская-Салехард-Надым (Хорей) ведется исключительно с использованием норм, представленных в [9]. Применяются рекомендуемые нормы для линии II категории и длины приемо-отправочных путей 1050 м: алгебраическая разность уклонов 5 % при длине разделительной площадки 250 м. В условиях сложного плана и запрета на совмещение вертикальных и переходных кривых не всегда получается назначать минимальную длину элемента, а это приводит к повышению проектных отметок и, как следствие, невозможности уменьшить высоту насыпей (рис. 5).

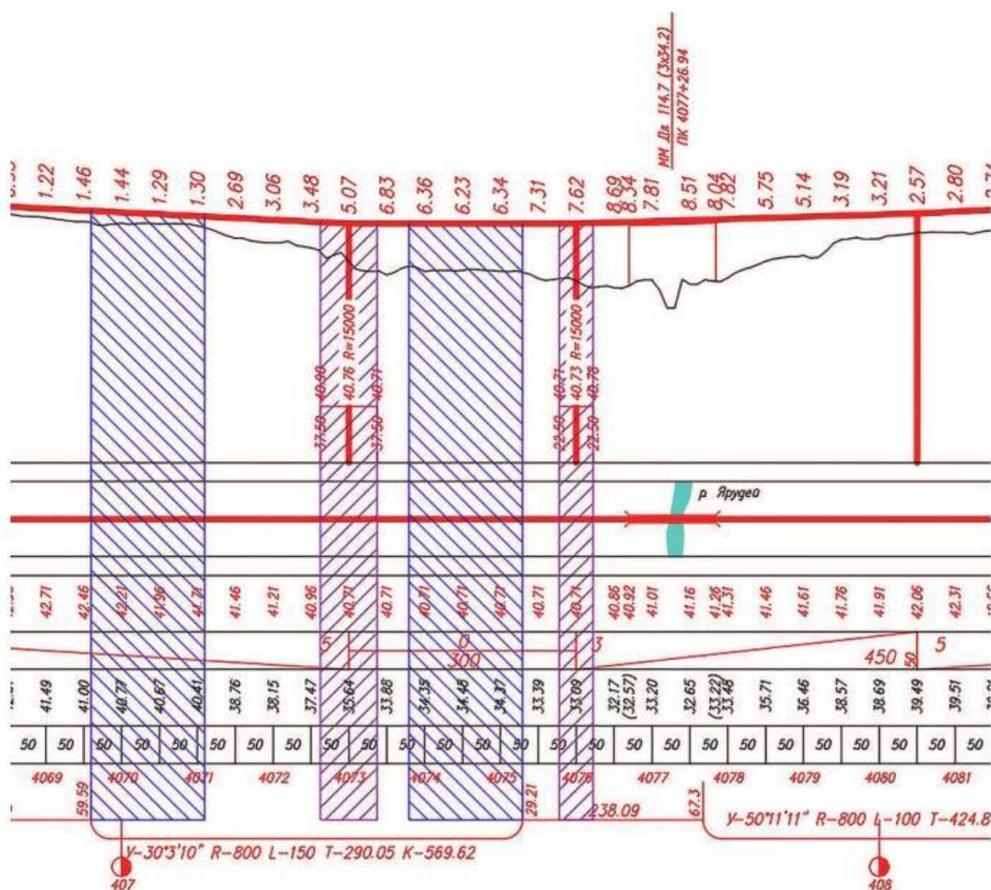


Рис. 5. Зоны вертикальных и переходных кривых

целесообразность устройства высоких насыпей, мест нулевых работ или выемок. При проектировании продольного профиля трассы следует учитывать конструкционные особенности земляного полотна в сложных природно-климатических условиях.

Ашпиз Евгений Самуилович - докт. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ). Москва, Россия E-mail: geonika@inbox.ru. РИНЦ SPIN-код: 54127662. РИНЦ AuthorID: 169354

Бучкин Виталий Алексеевич - докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского университета транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: buchkin@mail.ru. РИНЦ AuthorID: 283477

Быков Юрий Александрович - докт. техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия. E-mail: ua_bykov@mail.ru. РИНЦ SPIN-код: 52394408. РИНЦ AuthorID: 847678

Гринь Елена Николаевна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: miit-grin@yandex.ru. РИНЦ SPIN-код: 59624570 РИНЦ AuthorID: 303929

Рыжик Екатерина Александровна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского университета транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: E.A.RYZHIK@yandex.ru. РИНЦ SPIN-код: 13012272. РИНЦ AuthorID: 424708

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

Аннотация. На основании мирового опыта, наработок, а также исходя из исследований российских ученых определен круг задач, требующих дальнейшей глубокой проработки по обеспечению безопасного и бесперебойного движения по высокоскоростным железнодорожным магистралям с установленной скоростью более 250 км/ч. Авторы приводят варианты решений вопроса материалоемкости, которые можно использовать для экономии материала без потери в прочностных свойствах пролетных строений. Было представлено как взаимодействуют температурные и силовые воздействия с системой «мост-бесстыковой путь». Выявлена зависимость колебания пролетного строения от его жесткости.

Ключевые слова: высокоскоростное железнодорожное движение, конструкции мостов на высокоскоростных магистралях, взаимодействие пути и подвижного состава, динамический коэффициент, жесткость пролетных строений, конструкции пролетных строений, материалоемкость.

ЕМЕЛЬЯНОВА Г.А., Российский университет транспорта (МИИТ), докт. техн. наук, **САГАЙДАЧНЫЙ Я.А.,** РУТ (МИИТ), аспирант, **ШАМАНОВ Г.Д.,** РУТ (МИИТ), аспирант, **ИДИАТУЛИН Д.Р.,** РУТ (МИИТ), аспирант, **ПОРТНОВА А.А.,** РУТ (МИИТ), аспирант

Современный мир требует новые, безопасные, а также быстрые способы перемещения грузов и пассажиров. Одно из основных направлений развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации на ближайшую перспективу - строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) со скоростями движения поездов свыше 250 км/ч [1]. Мировой опыт показывает, что на высокоскоростных железных дорогах приходится возводить большое количество искусственных сооружений. Например, на первой построенной в мире ВСМ Токио-Осака искусственные сооружения занимают 45,9 % длины магистрали, а на ВСМ между городами Токио и Мориока этот показатель уже достигает 94 %. Это вызвано рядом обстоятельств:

преодоление геологических препятствий;

плотная городская застройка;

пересечение ценных сельхозугодий, а также особо охраняемых природных зон;

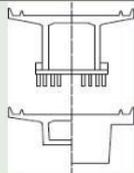
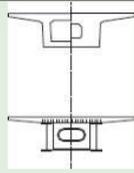
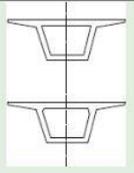
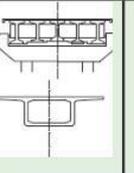
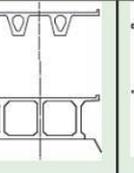
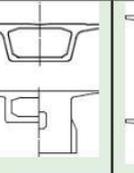
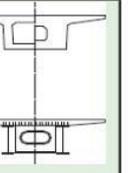
исключение пересечения в одном уровне с другим транспортом;

обеспечение плавности движения.

Поэтому очевидно, что изучение существующих проблем строительства искусственных сооружений - первостепенная задача.

В настоящее время многие действующие в России нормы в области проектирования железнодорожных магистралей не подходят для ВСМ. При проектировании мостовых сооружений на них необходимо учитывать особенности работы пролетных строений, отсутствующие в условиях нескоростного движения поездов.

Освоение конструктивно-технологических параметров пролетных строений на ВСМ. Как уже было сказано, основную часть инфраструктуры ВСМ составляют мостовые сооружения. Чтобы обеспечить увеличение темпов и объемов их строительства, требуется разработать унифицированные конструктивно-технологические решения. В таблице [2] приводятся основные типы конструкций поперечных сечений мостовых балок в разных странах. Обычно типовыми конструкциями для ВСМ являются разрезные балочные пролетные строения длиной 20-50 м. Для малых и средних мостов применяются конструкции из неразрезных балок. Исходя из опыта Китая, важно отметить, что применение типовых конструкций значительно повышает степень индустриализации пролетных строений. Благодаря этому китайским специалистам удалось достичь высокого темпа строительства эстакад на ВСМ.

Поперечные сечения мостовых балок, используемых на высокоскоростных магистралях в разных странах [2]							
Параметр конструкции	Япония	Франция	Германия	Испания	Италия	КНР	Россия
Материал пролетного строения	Обычный и предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон, сталь	Обычный и предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон, сталь	Предварительно напряженный железобетон	Предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон	Предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон	Предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон	Предварительно напряженный железобетон, сталежелезобетон
Тип поперечного сечения							
Тип и длина пролетов, м	Разрезные: 24,2; 29,2; 34,2; 39,2; 44,2 Неразрезные: 3+3×6+3; (4-5)×8; (4-10)×10; 5×15	Разрезные: до 25 Неразрезные: 40-80	Разрезные: 25,0; 44,0; 58,0	Разрезные: 26,6 Неразрезные: 45	Разрезные: 24,0; 33,6; 43,2; 55,0	Разрезные: 32,0 Неразрезные: 40-100	Разрезные: 23,6; 34,2; 50,0 Рамные: 16+22+16 Неразрезные: 40+66+40; 48+88+48; 58+110+58
Конструкция опор	Массивные, прямоугольного или круглого сечения	Массивные, прямоугольного или круглого сечения	Массивные, прямоугольного сечения	Массивные, прямоугольного сечения	Массивные, прямоугольного сечения	Массивные, обтекаемого сечения	Массивные, обтекаемого сечения
Тип фундамента	Свайный ростверк, сваи-оболочки большого диаметра, массивный на естественном основании	Свайный ростверк, массивный на естественном основании	Свайный ростверк, сваи-оболочки большого диаметра	Свайный ростверк, сваи-оболочки большого диаметра	Сваи-оболочки большого диаметра	Свайный ростверк	Свайный ростверк
Основной метод строительства	Изготовление на заводе или полигоне, бетонирование в проектном положении	Изготовление на заводе или полигоне, бетонирование в проектном положении, навесной монтаж (бетонирование)	Бетонирование в проектном положении, навесной монтаж (бетонирование), продольная надвижка	Навесной монтаж (бетонирование)	Бетонирование в проектном положении, навесной монтаж (бетонирование), продольная надвижка	Изготовление на заводе или полигоне, навесной монтаж (бетонирование)	Изготовление на заводе или полигоне, бетонирование в проектном положении, навесной монтаж (бетонирование)

По сравнению с конструкциями на нескоростных железных дорогах к пролетным строениям на ВСМ предъявляются более высокие требования по части жесткости. Из-за того что временная нагрузка на мосты ВСМ значительно меньше, чем на обычных железных дорогах, требования по второй группе предельных состояний - прогибы, амплитуда колебаний - становятся определяющими при проектировании.

В связи с этим к пролетным строениям предъявляют следующие требования:

ограничение диапазона собственных частот колебаний конструкции, от которых зависят резонансные режимы работы при динамическом воздействии высокоскоростных поездов;

ограничение вертикальных прогибов от временной нагрузки, влияющих на плавность и комфортность движения высокоскоростных поездов;

ограничение углов поворота торцов пролетного строения и углов перелома профиля над опорами, определяющих геометрию пути на сооружении;

снижение влияния длительных деформаций (ползучесть бетона, осадки фундаментов опор), которые могут привести к нарушению геометрии пути и неравномерным осадкам, что снижает безопасность движения высокоскоростных поездов;

снижение продольных усилий и деформаций, возникающих при совместной работе бесстыкового пути и конструкции мостового сооружения [1] и определяющих устойчивость пути.

Взаимодействие высокоскоростного подвижного состава и пролетных строений. Особенности проектирования пролетных строений на высокоскоростных магистралях с точки зрения действующих в России норм указывают на то, что необходимы дополнительные исследования для введения дифференцированной шкалы допускаемых вертикальных прогибов. Авторы статьи [3] сравнивают собственные частоты пролетных строений разных конструкций из различных материалов. Проведенные ими расчеты показали, что для средних пролетов предпочтительны конструкции двухпутных железобетонных балок с ездой поверху коробчатого или другого сечения с высокой крутильной жесткостью, объединенных в неразрезную двухпролетную систему. В металлических решетчатых конструкциях с ездой понизу, перекрывающих большие пролеты, двухпутные мосты имеют довольно большое расстояние между главными фермами. Поэтому необходимо значительно увеличить поперечные сечения верхних пролетных продольных связей между фермами. Кроме того, при взаимодействии вихревых воздушных потоков (встречное движение поездов, ветровые потоки вдоль рек, пульсационный след за кормовой секцией подвижного состава при его движении внутри фермы) не исследовано динамическое поведение гибких элементов пролетных строений и влияние поперечных нагрузок. Для эффективного решения этой задачи предлагаем применять трехплоскостную конструкцию ферм с расположением третьей плоскости в междупутье [3].

Взаимодействие элементов системы «мост-бесстыковой путь» при температурных и силовых воздействиях. От изменения температуры окружающей среды в рельсах возникают дополнительные усилия, которые напрямую влияют на пролетное строение. Вследствие этих усилий изменяется длина самого пролетного строения. В связи с тем, что к ВСМ предъявляют повышенные требования безопасности, необходимо изучать данное явление. Усилия, возникающие в рельсах, зависят от ряда факторов [4]:

перепада температур (разницы между температурой закрепления рельсовых плетей на мосту и экстремальными значениями температуры рельса в конкретном регионе);

длины температурного пролета (расстояния от одной неподвижной опорной части до другой);

длины сооружения вдоль оси пути;

жесткости опор в направлении вдоль оси пути;

порядка расстановки опорных частей по длине моста [4] и др.

Все эти факторы необходимо учитывать при проектировании новых мостовых переходов для минимизации рисков выхода из строя самого слабого элемента системы - бесстыкового пути.

Для решения данной задачи используется следующая расчетная модель, которая представляет собой одномерную схему, позволяющую исследовать напряженно-деформированное состояние сооружения в порядке первого приближения (рис. 1).

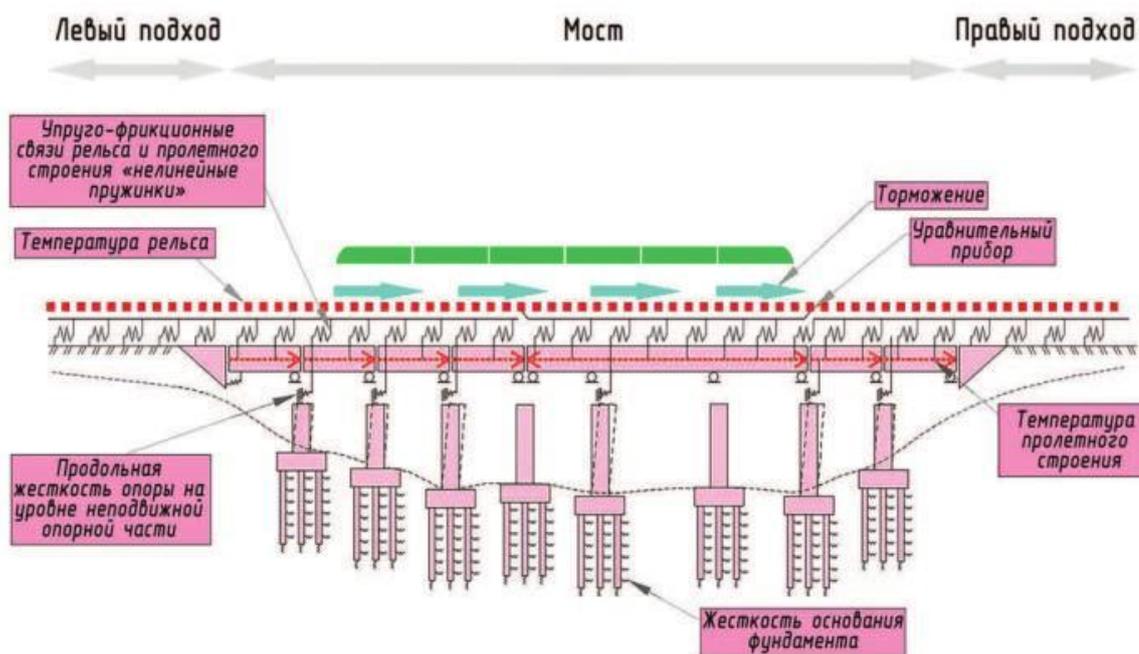


Рис. 1. Расчетная схема системы «мост—бесстыковой путь» [4]

Расчеты показали, что удовлетворительные результаты дают конструкции в виде эстакады с пролетными строениями достаточно высокой жесткости. Из статьи [5] следует, что увеличение жесткости пролетных строений, уменьшающее их прогибы под нагрузкой, положительно сказывается на взаимодействии подвижного состава и пути [6].

В работе [4] для расчета используется схема эстакады 24 x 11,56 м с изменением температуры рельсов на 56 °С и с действием тормозных сил. Эпюры сил приведены на рис. 2, где видно, что наличие бесстыкового пути на мостовой конструкции существенно повышает усилия при переходе от земляного полотна к мосту.

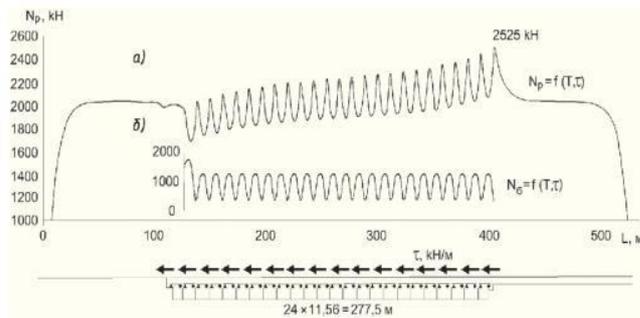


Рис. 2. Эпюры продольных усилий для эстакады 24×11,56 м [4]: а — в паре рельсов бесстыкового пути (N_p); б — в балках пролетных строений (N_b)

Как следует из [4], в балочных эстакадах продольные усилия в рельсах бесстыкового пути мостового полотна, балках пролетных строений и горизонтальные реакции опор возрастают с увеличением длины температурного пролета, класса временной нагрузки и перепада температур. Длина сооружения также оказывает значительное

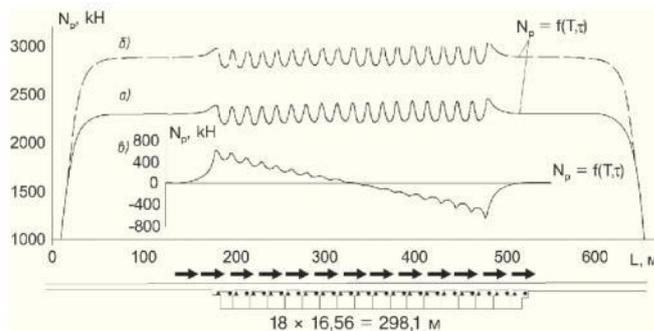


Рис. 3. Эпюры продольных усилий N_p в рельсах бесстыкового пути на эстакаде 18×16,56 м [4]: а — при понижении температуры рельсов на 56 °С; б — то же на 70 °С; в — при действии погонной тормозной нагрузки (жесткость промежуточной опоры вдоль моста $C_o = 6650$ кН/м, жесткость устоя $C_y = 78000$ кН/м)

влияние на продольные силы. Наибольшие усилия в элементах системы «эстакада - бесстыковой путь» возникают при действии временной вертикальной и продольной поездной нагрузок в условиях изменения температуры, что вызывает деформацию балок пролетных строений. При этом максимальные осевые усилия в рельсах могут проявляться не только в пределах эстакады, но и на подходе за шкафной стенкой устоя, на котором размещены подвижные опорные части балок пролетных строений.

Влияние жесткости связей на усилия в рельсах возрастает с увеличением длины пролета. Величины продольных сил в рельсах бесстыкового пути на эстакаде от совместного действия температурного и силового факторов зависят от жесткостей промежуточных опор в направлении вдоль оси пути: с уменьшением жесткости опор усилия в рельсах возрастают, с увеличением - понижаются. Однако увеличение жесткости опор эффективно до определенных пределов, превышение которых практически не снижает усилий в рельсах.

Зависимость колебаний пролетного строения от его жесткости. Ранее отмечалось, что при повышении жесткости пролетного строения снижаются колебания, что приводит к более стабильной работе всей системы. В своей работе [5] доктор технических наук В.Ю. Поляков использует для расчета модель, в которой представлены экипажи и балки пролетных конструкций [6]. Однако из-за отсутствия в модели рельса невозможно изучать устойчивость движения колеса и оценивать безопасность. Исходя из этого, В.Ю. Поляков

применяет новую модель, которая включает в себя помимо балочного пролетного строения верхнее строение пути, а также экипажи с двухступенчатым подвешиванием [7, 8].

В.Ю. Поляков оценивает безопасность движения поездов по вероятности въезда гребня колеса на рельс. Согласно этой оценке, соотношение усилий вертикального и горизонтального взаимодействия колеса и рельса с точки зрения устойчивости должно рассматриваться с учетом времени неблагоприятного сочетания этих усилий, а также других факторов. Установлено, что безопасность обеспечивается (при использовании подвижного состава ЭПС-2) при вертикальной силе не менее 56,25 кН. При снижении усилия до 23,814 кН и менее сход колеса с рельса неизбежен.

Увеличение жесткости пролетных строений уменьшает прогибы, но не обеспечивает безопасное прохождение подвижного состава по мосту. Эту проблему следует решать, используя комплексные динамические параметры пролетных строений и верхнего строения пути.

Оптимизация пролетных строений на ВСМ на основе управляемых динамических процессов. Опыт строительства ВСМ в мире показал, что для безопасности и уменьшения воздействия динамических нагрузок на путь необходимо использовать искусственные сооружения на всей длине магистрали. В результате появляется новая проблема - их высокая материалоемкость. Но как добиться уменьшения затрачиваемых материалов без вреда безопасности? В статье [9] рассматриваются следующие варианты:

минимальный динамический изгибающий момент (снижает материалоемкость пролетных строений);

минимальная масса пролетного строения (прямое снижение материалоемкости);

минимальная жесткость пролетного строения, которая достигается минимизацией высоты сечения (снижение материалоемкости пролетных строений);

минимальная поперечная сила (снижает опорные реакции) [10].

После проведенных расчетов авторы приходят к выводу, что снижение максимального изгибающего момента не зависит от начальных динамических параметров (жесткость и масса) балки. Также демонстрируется различная эффективность оптимизации в зависимости от параметров, заданных на начальном этапе проектирования. Так, при задании «удачных» начальных значений динамических параметров максимальный изгибающий момент снижается с 2,25 до 1,68 МНм, т. е. всего на 25 %, а в случае «неудачных» - с 9,82 до 1,67 МНм, т. е. почти в шесть раз. Вдобавок применялась оптимизация по массе пролетного строения. Здесь существенным является ограничение на максимально допустимый изгибающий момент, которое должно быть выполнено. Важно отметить, что в соответствии с изменением погонной массы пролетного строения изменялась и его изгибная жесткость.

В результате оптимизации по критерию минимальной массы общая масса пролетного строения уменьшилась на 300 т (около 15 %). При этом наибольший изгибающий момент при проходе состава ЭВС-2 незначительно уменьшился и

составил 99,18 % от момента до оптимизации. В то же время максимальный положительный момент (в процессе свободных колебаний после прохода состава) снизился на 55 % - с 3,63 до 1,65 МНм [11], что важно с точки зрения выносливости.

Определение динамического коэффициента к временной нагрузке при расчете мостов на ВСМ. Одна из основных особенностей проектирования мостов на ВСМ заключается в обеспечении динамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава и мостовых конструкций. Для учета динамического характера воздействия временной подвижной нагрузки существует несколько моделей расчета [11]. Простейшей моделью является квазистатическая. В ней статическое воздействие от подвижной нагрузки умножается на динамический коэффициент. Согласно действующим нормам, для обычных железных дорог указанный коэффициент определяется по формуле (1) для металлических пролетных строений и (2) для железобетонных пролетных строений [11]:

$$1 + \mu = 1 + \frac{18}{30 + \lambda}, \quad (1)$$

$$1 + \mu = 1 + \frac{10}{20 + \lambda}, \quad (2)$$

где μ — добавка, отражающая динамическое взаимодействие системы «поезд—верхнее строение пути»;

λ — длина линии влияния, равная длине пролета для пролетных строений, м.

При этом следует отметить, что приведенные формулы, имеющие эмпирическое происхождение, не учитывают параметр скорости и справедливы для проектирования мостов на железных дорогах со скоростями движения до 200 км/ч.

Для повышенных эксплуатационных скоростей подвижного состава [12] следует выполнить прямые динамические расчеты его воздействия на пролетные строения. При этом, согласно нормативным документам, учитываются постоянные нагрузки от собственного веса пролетных строений и веса мостового полотна, а также временные нагрузки от подвижного состава, действующие на конструкцию. На данный момент задачу, в которую входит взаимодействие системы «мост-поезд», можно решить, используя моделирование. При этом расчетные схемы могут отличаться, и все зависит от поставленной задачи и степени детализации элементов.

Выводы

В настоящее время при возведении мостов на ВСМ существует много неисследованных вопросов и задач, для решения которых требуется привлечь широкий круг специалистов из разных сфер. По изученным источникам можно сделать следующие выводы.

1. Из-за специфики требований к мостовым переходам на ВСМ предпочтительнее использовать пролетные строения из сталежелезобетона, железобетона и стали: разрезные длиной 24,0-44,0 м и неразрезные длиной 40,0-80,0 м. Конструкции опор: массивные, прямоугольного или круглого сечения.

2. Необходимы более глубокие исследования взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с элементами мостового перехода: аэродинамическое воздействие на конструкцию моста, температурное влияние от проходящего поезда на пролетное строение.
3. Динамическое поведение гибких элементов пролетных строений при эксплуатации, а также влияние поперечных нагрузок в настоящее время исследованы недостаточно.
4. При увеличении жесткости пролетных строений уменьшаются прогибы, но при этом безопасность прохождения подвижного состава по искусственному сооружению не обеспечивается. Поэтому требуются дальнейшие исследования динамических параметров пролетных строений совместно с верхним строением пути.
5. Согласно мировой практике большую часть ВСМ необходимо располагать на искусственных сооружениях. Исходя из этого, встает вопрос материалоемкости. Экономии материалов можно добиться, стремясь к минимизации динамического изгибающего момента, массы и жесткости пролетного строения, поперечной силы.
6. При проектировании мостов на ВСМ отсутствует учет динамических явлений, связанных с дефектами рельсов и колес, а также динамических характеристик пролетных строений. Причина этого - использование усредненных параметров конструкций и их динамических характеристик. Такой подход требует пересмотра, а именно необходимо выполнение прямых динамических расчетов воздействия подвижного состава на пролетные строения.

Емельянова Галина Александровна - докт. техн. наук, профессор, Российский университет транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: ga_emel@mail.ru

Сагайдачный Ярослав Андреевич - аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: sagaydachnyu@gmail.com

Шаманов Георгий Дмитриевич - аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: geo9608@gmail.com

Идиатулин Данил Русланович - аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: idiatulindanil@mail.ru

Портнова Анастасия Андреевна - аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ). Москва, Россия. E-mail: sseptemberr13@gmail.com

УЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВ НА ВСМ

Автор: СМИРНОВ В.Н., ДЬЯЧЕНКО Л.К.

Аннотация. Дается анализ динамической работы системы «мост-поезд» в условиях резонансных колебаний элементов системы при следовании высокоскоростной подвижной нагрузки со скоростью до 400 км/ч. Приводятся рекомендации по выводу сооружений из резонансной зоны.

Ключевые слова: высокоскоростная железнодорожная магистраль, мостовые сооружения, резонансные режимы движения.

СМИРНОВ В.Н., Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС), докт. техн. наук



ДЬЯЧЕНКО Л.К., ПГУПС, канд. техн. наук



Критические собственные частоты пролетных строений. При следовании по мостовому сооружению поезда, состоящего из однотипных экипажей, пролетное строение совершает вынужденные колебания с частотой

$$v = V/B, \quad (1)$$

где V — скорость движения поезда, м/с; B — длина экипажа, м.

Максимальные воздействия на пролетное строение будут реализовываться при совпадении частот вынуждающих колебаний подвижной нагрузки с собственной частотой пролетного строения. Скорость движения подвижного состава в этом случае будет критической. Следовательно, с учетом формулы (1) первая критическая скорость составит:

$$V_{кр} = Bv_{п.с}, \quad (2)$$

где $v_{п.с}$ — собственная первая частота пролетного строения, 1/с.

При следовании состава из однотипных экипажей по многопролетному мосту с равными пролетами как по цепи неровностей, обусловленных прогибами пролетных строений под временной подвижной нагрузкой, подрессоренные экипажи также будут подвергаться периодическим воздействиям с частотой

$$v_3 = V/L_{п.с}, \quad (3)$$

где $L_{п.с}$ — длина пролетного строения, м.

Максимальные воздействия на экипажи как элементы системы «мост—поезд» будут реализовываться при критической скорости движения состава, определяемой по формуле

$$V_{кр} = L_{п.с}v_3, \quad (4)$$

Наиболее неблагоприятный случай для системы

«мост—поезд», очевидно, будет при равенстве критических скоростей для экипажей и пролетных строений, т. е. при выполнении условия

$$Bv_{п.с} = L_{п.с}v_3, \quad (5)$$

Следовательно, при проектировании мостового сооружения необходимо обеспечить соблюдение следующих неравенств:

$$v_{п.с} < (L_{п.с}v_3)/B; v_{п.с} > (L_{п.с}v_3)/B. \quad (6)$$

Предположим, что у нас для высокоскоростной магистрали (ВСМ) определена временная подвижная нагрузка электрического подвижного состава (ЭПС) [1]: длина экипажа $B = 26,0$ м; собственные частоты подпрыгивания и галопирования примерно одинаковы и составляют около 1 Гц. Тогда собственная первая частота пролетного строения во избежание абсолютного резонанса (когда и пролетные строения, и подрессоренные экипажи работают в резонансных режимах) не должна быть равной

$$v_{п.с} = L_{п.с}(1/26,0) = 0,04L_{п.с}. \quad (7)$$

Если условно принять, что в качестве пролетных строений используются выполненные по действующим типовым проектам железобетонные балки соответствующих длин под железнодорожную нагрузку, то можно определить значения нежелательных собственных частот пролетных строений при временной нагрузке ЭПС (табл. 1).

Таблица 1

Нежелательные (критические) собственные частоты пролетных строений	
Длина пролетного строения $L_{п.с}$, м	Нежелательные собственные частоты пролетных строений $\nu_{п.с}$, Гц
18,7	$0,04 \cdot 18,7 = 0,75$
23,6	$0,04 \cdot 23,6 = 0,95$
27,6	$0,04 \cdot 27,6 = 1,10$
34,2	$0,04 \cdot 34,2 = 1,37$
55,6	$0,04 \cdot 55,5 = 2,22$
67,2	$0,04 \cdot 67,2 = 2,69$
89,2	$0,04 \cdot 89,2 = 3,57$
111,2	$0,04 \cdot 111,2 = 4,45$

Если данные табл. 1 перенести на график (рис. 1) с учетом рекомендаций Международного союза железных дорог (UIC), то можно получить нежелательные собственные частоты пролетных строений мостового сооружения (рис. 2).

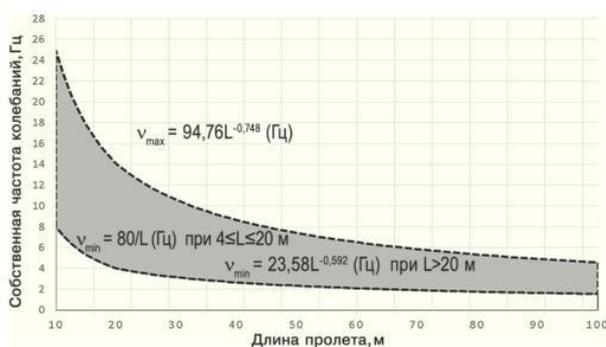


Рис. 1. Зона собственных частот пролетных строений мостов для ВСМ, рекомендуемых нормами UIC (область, ограниченная кривыми)



Рис. 2. Нежелательные собственные частоты пролетных строений мостового сооружения

Для типовых пролетных строений длиной более 45-50 м рекомендациями UIC следует пользоваться с осторожностью, поскольку, как это видно из рис. 2, возможен абсолютный резонанс, когда и экипаж, и пролетное строение будут одновременно находиться в резонансном режиме и испытывать максимальные по амплитуде колебания.

Однако это справедливо только для рассматриваемого нами типа подвижного состава (ЭПС). При другой длине экипажа и других собственных частотах подпрыгивания и галопирования в соответствии с формулой (7) результаты будут отличаться.

Критические скорости движения временное подвижной нагрузки. Определим критические скорости движения, при которых возникают резонансные колебания пролетных строений и подрессоренной части экипажей, чтобы выявить пролетные строения, которые в зависимости от скорости

движения будут работать в условиях абсолютного резонанса, т. е. в наиболее тяжелых условиях.

Для этого воспользуемся формулой (2) и теми же параметрами пролетных строений и подвижного состава. Результаты вычислений сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Критические (резонансные) скорости для пролетных строений при длине экипажа $V = 26,0$ м

Длины пролетных строений, м	Собственные первые частоты пролетного строения $v_{п.с.1}$, Гц	Первые критические скорости $V_{кр}$ для пролетного строения	
		м/с	км/ч
24—28	8,0	$26 \cdot 8 = 208$	7488
33—36	7,1	$26 \cdot 7,1 = 184$	665
42—45	5,6	$26 \cdot 5,6 = 145$	523
54—58	4,3	$26 \cdot 4,3 = 112$	403
66	3,3	$26 \cdot 3,3 = 92$	330
88	2,1	$26 \cdot 2,1 = 55$	198
100	1,8	$26 \cdot 1,8 = 46,8$	169

Значения собственных частот пролетных строений [ипсилон](п.с, 1) приняты в диапазоне, рекомендуемом нормами UIC для проектирования мостов ВСМ (см. рис. 1).

По формуле (4) определим критические (резонансные) скорости движения для экипажей по многопролетному мосту с пролетными строениями длиной 18,2-100 м (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Критические (резонансные) скорости для экипажей подвижной нагрузки ЭПС

Длины пролетных строений, м	Собственные первые частоты экипажа $v_{э.1}$, Гц	Первые критические скорости $V_{кр}$ для экипажа	
		м/с	км/ч
18,7	1,0	$26 \cdot 8 = 208$	7488
23,6	1,0	$26 \cdot 7,1 = 184$	665
34,2	1,0	$26 \cdot 5,6 = 145$	523
55,6	1,0	$26 \cdot 4,3 = 112$	403
67,2	1,0	$26 \cdot 3,3 = 92$	330
89,2	1,0	$26 \cdot 2,1 = 55$	198
111,2	1,0	$26 \cdot 1,8 = 46,8$	169

При полученных скоростях движения высокоскоростной нагрузки ЭПС пролетные строения многопролетных мостовых сооружений испытывают наиболее неблагоприятные воздействия, вызванные проходом подрессоренных экипажей с собственной частотой [ипсилон](э) по цепи неровностей, обусловленных прогибами пролетных строений длиной $L(п.с)$ под временной подвижной нагрузкой.

В этом случае подрессоренные экипажи при критических скоростях движения $V_{кр} = L(п.с)[\text{ипсилон}](\varepsilon)$ сами входят в резонансный режим. Естественно, что худшие условия работы элементов системы «мост-поезд» будут в условиях абсолютного резонанса, когда и пролетные строения, и экипажи работают в резонансном режиме.

Определим на графиках величины пролетов многопролетных мостов, при которых в условиях прохода временной подвижной нагрузки ЭПС образуется абсолютный резонанс колебаний элементов системы (рис. 3). Очевидно, эти зоны находятся в области пересечения линий критических скоростей для пролетных строений и экипажей.

Из рис. 3 видно, что при следовании по многопролетным мостовым сооружениям временной нагрузки ЭПС абсолютный резонанс может иметь место при пролетных строениях длиной 70-80 м в случае следования поездов со скоростями 270 км/ч (первый резонанс), 135 км/ч (второй резонанс). Таким образом, пролетные строения длиной 70-80 м нецелесообразно рассматривать при проектировании мостов под временную подвижную нагрузку ЭПС. Следует

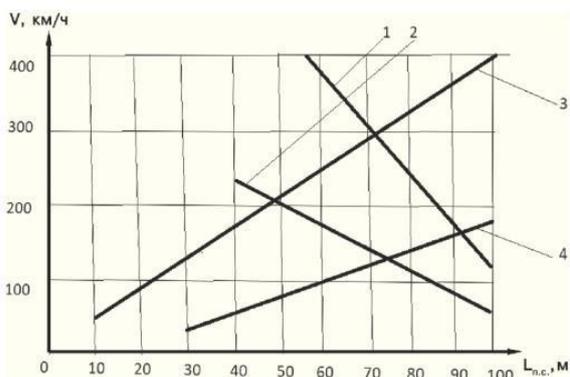


Рис. 3. Линии критических скоростей движения поездов ЭПС по многопролетным мостам: 1, 2 — для пролетных строений соответственно по первой и второй собственной частоте; 3, 4 — для экипажей, следующих по неровностям пути на мосту соответственно по первой и второй собственной частоте

иметь в виду, что при другой временной подвижной нагрузке результаты будут другими. **Динамические коэффициенты.** На рис. 4 приведены значения динамических коэффициентов при следовании электропоезда «Сапсан» (длина вагона - 25,26 м) по пролетным строениям длиной по 34,2 м с критическими (резонансными) скоростями [2]. Пролетное строение запроектировано с собственной частотой $[\text{ипсилон}](п.с) = 3,94$ Гц (что находится в зоне частот, рекомендуемых УИС). В этом случае первая критическая скорость для пролетных строений такой длины составляет: $3,94 \cdot 25,26 = 99,4$ м/с (312 км/ч). Расчеты показывают [3], что при этих условиях значения динамического коэффициента в зависимости от скорости движения могут быть очень значительными (см. рис. 4).

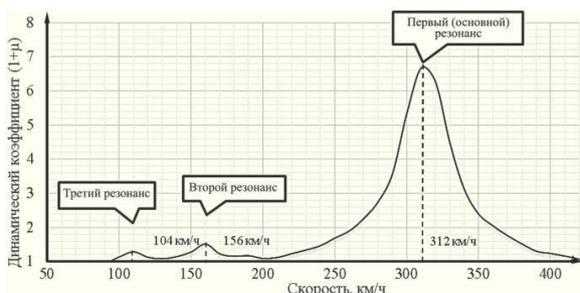


Рис. 4. Зависимость динамического коэффициента по прогибам середины пролетного строения длиной 34,2 м от скорости движения электропоезда «Сапсан» (динамический коэффициент пролетного строения 34,2 м как функция скорости движения)

иметь в виду, что при другой временной подвижной нагрузке результаты будут другими.

Динамические коэффициенты. На рис. 4 приведены значения динамических коэффициентов при следовании электропоезда «Сапсан» (длина вагона - 25,26 м) по пролетным строениям длиной по 34,2 м с критическими (резонансными) скоростями [2].

Пролетное строение запроектировано с собственной частотой $[\text{ипсилон}](п.с) = 3,94$ Гц (что находится в зоне частот,

рекомендуемых УИС). В этом случае первая критическая скорость для пролетных строений такой длины составляет: $3,94 \cdot 25,26 = 99,4$ м/с (312 км/ч). Расчеты показывают [3], что при этих условиях значения динамического коэффициента в зависимости от скорости движения могут быть очень значительными (см. рис. 4). Из рис. 4 видно, что при скорости движения около 300 км/ч значение динамического коэффициента к временной подвижной нагрузке достигает 6,8. Для недопущения этого при установленной временной подвижной нагрузке следует регулировать жесткостные и инерционные параметры пролетных строений (при проектировании пролетных строений). При заданной на

линии скорости движения, например 350 км/ч, должны быть определены длина пролета, изгибная жесткость и масса балок пролетных строений.

Длина пролета мостовых сооружений эстакадного типа определяется по экономическим показателям (минимальная стоимость сооружения достигается при равенстве стоимостей промежуточной опоры и пролетного строения). Затем необходимо вывести эстакады с такими пролетами из резонансного режима (по крайней мере, исключить первый резонанс). Методы такого вывода определяются обеспечением соответствующей собственной частоты пролетного строения:

$$w^2 = C/M, \quad (8)$$

где w — круговая частота; C — жесткость пролетного строения (величина, обратная прогибу балки от единичной нагрузки); M — приведенная к середине пролета масса пролетного строения.

Круговая частота определяется по формуле

$$w = 2\pi v, \quad (9)$$

где $\pi = 3,14$; v — линейная частота (число колебаний в 1 с), Гц (величина, обратная периоду колебаний).

Изменяя инерционные (M) и жесткостные (C) параметры пролетного строения, можно добиться необходимой собственной частоты и вывести пролетное строение из резонансной зоны.

Критические скорости и соответствующие им динамические коэффициенты перемещаются (рис. 5) по оси абсцисс в нужном проектировщику направлении. Например, при необходимости переместить резонансный режим вертикальных колебаний пролетного строения из критической скорости 300 км/ч следует увеличить жесткость балки, поскольку критические (резонансные) скорости увеличиваются пропорционально квадратному корню изгибной жесткости балки.

На рис. 5 показано, что увеличение изгибной жесткости балки пролетного строения на 16 % позволило сместить резонансную зону примерно на 50 км/ч, что дает возможность повысить эксплуатационные скорости до 300 км/ч без значительного увеличения динамического коэффициента.

Следует учитывать, что если наряду с увеличением жесткости пролетного строения изменяется и его масса, то, согласно формуле (8), это влияет на значения собственных частот и, как следствие, на резонансные скорости (рис. 6).

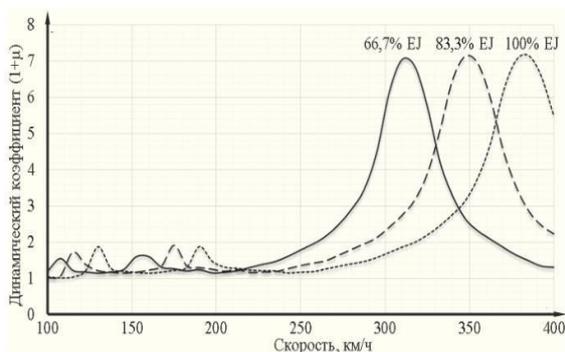


Рис. 5. Зависимость динамического коэффициента по прогибам середины пролетного строения длиной 34,2 м от скорости движения электропоезда «Сапсан» и изгибной жесткости пролетных строений

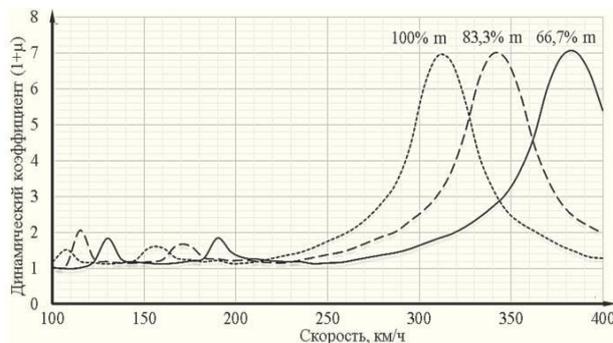


Рис. 6. Зависимость динамического коэффициента по прогибам середины пролетного строения длиной 34,2 м от скорости движения электропоезда «Сапсан» и массы пролетных строений

Таким образом, регулируя инерционно-жесткостные параметры пролетных строений, можно изменять критические скорости $V(kp)$, выводя, при необходимости, пролетные строения из резонансной зоны (например, из области регламентируемых скоростей). Однако эти меры не влияют на динамику пролетных строений.

Для снижения динамического коэффициента необходимы специальные меры, повышающие диссипацию (рассеяние энергии) конструкции. Прежде всего, это использование определенных материалов в конструкциях пролетных строений (например, железобетон предпочтительнее, чем металл, так как он обладает более высокими диссипативными свойствами). Кроме того, можно применять активные методы гашения колебаний, например устанавливая между торцами балок пролетных строений специальные демпферы. Конструктивно они могут быть решены таким образом, что не будут препятствовать длительным процессам (например, температурным), но будут значительно гасить колебания, вызванные краткосрочным воздействием высокоскоростной временной нагрузки. Применение неразрезных балок вместо разрезных также является эффективной мерой, причем неразрезные пролетные строения могут формироваться из разрезных путем омоноличивания по торцам соседних железобетонных балок, имеющих как выпуски арматуры, так и каналы для пропуска над опорой коротких пучков напрягаемой арматуры.

Выводы

1. При проектировании мостовых сооружений эстакадного типа на ВСМ необходимо точно знать тип временной подвижной нагрузки с характеристиками подвижного состава. Следует также в качестве исходных данных со стороны заказчика установить требуемую эксплуатационную скорость движения на участках достаточно большой протяженности высокоскоростной магистрали.
2. На основе этой информации для мостовых сооружений эстакадного типа определяется величина оптимального по экономическим соображениям пролета, после чего выбираются жесткостные, инерционные и диссипативные параметры пролетного строения с длиной, одинаковой для эстакад всего участка трассы. Цель - не допустить резонансных режимов движения и обеспечить минимальные величины динамических коэффициентов.
3. Использование для эстакад одинаковых по длине пролетных строений, имеющих оптимальные инерционно-жесткостные и диссипативные характеристики, на участке максимальной протяженности позволит на всей магистрали следовать с заданной постоянной скоростью при исключении неблагоприятных резонансных режимов и, следовательно, значительных динамических коэффициентов.



ХОППЕР-ДОЗАТОР ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Группа РПМ («Ремпутьмаш»), которая входит в холдинг «Синара - Транспортные Машины» (СТМ), представила новую модель хоппер-дозатора 19-6940 повышенной грузоподъемности на тележках, допускающих нагрузку 25 тс/ось. четыре опытных образца изготовлены на Ярославском заводе «Ремпутьмаш», специализирующемся на производстве подвижного состава данного вида. Первая партия уже отправлена на заводские испытания, за которыми последуют испытания на полигоне.

Усовершенствованный хоппер-дозатор повышенной грузоподъемности представляет собой четырехосный саморазгружающийся вагон, предназначенный для перевозки на железных дорогах колеи 1520 мм и 1435 мм всех видов балласта (фракции от 5 до 70 мм). Он оборудован разгрузочно-дозировочным механизмом, который превращает его в высокоэффективную технику, применяемую при строительстве, реконструкции и ремонте железнодорожного пути, позволяет избежать перегрузочных работ на базах промежуточного складирования балласта и применения ручного труда при балластировке пути.

Проект конструкторской документации хоппер-дозатора был разработан осенью 2020 г. на основании технических требований, сформированных ОАО «Российские железные дороги». Новая модель позволяет не только существенно увеличить грузоподъемность вагона, но также повысить производительность выполняемых работ на 20 % и снизить затраты на содержание подвижной единицы на 12 %.

«Создание новой модели хоппер-дозатора связано с потребностью нашего основного заказчика перейти на вагоны нового поколения с увеличенным межремонтным интервалом и использованием подшипников кассетного типа. Эта техника разработана в тесном контакте с РЖД, при проектировании учтены все обозначенные требования, особое внимание стандартно уделяется качеству, так как наша продукция должна обеспечивать более эффективную работу служб РЖД», - отметил С.В. Шунин, генеральный директор Группы РПМ, директор дивизиона «Путевая техника» СТМ.

По сравнению с серийно выпускаемым хоппер-дозатором ВПМ-770 вместимость модели 19-6940 больше на 5 м³, а грузоподъемность выше на 5 тс. Это позволит сократить общепринятую длину сцепа хоппер-дозаторной «вертушки» с 20 до 18 вагонов и сэкономить время на манипуляциях при разгрузке и погрузке. Ходовые части тележки нового поколения с нагрузкой 25 тс/ось имеют более высокое качество исполнения и обладают повышенным ресурсом основных узлов, деталей и пар трения, благодаря чему у хоппер-дозатора модели 19-6940 будет увеличен пробег до первого деповского ремонта. В итоге уменьшатся расходы на содержание вагонов, повысится безопасность движения хоппер-дозаторных составов.

В конструкции данной модели использованы кассетные подшипники, обладающие увеличенным (по сравнению с роликовыми) сроком службы. Еще один плюс новшества - применение шаровых кранов управления вместо золотниковых (с деталями из бронзы) в хоппер-дозаторе старого поколения. Такие изменения в конструкции снизят затраты на техническое обслуживание и обеспечат защиту от вандализма.

Вагон оборудован системой освещения рабочих зон «Ярило», устройством отслеживания SmartSun и RFID-идентификаторами крупных литых деталей. Хоппер-дозатор повышенной грузоподъемности сохранил специфическую конструкцию (с учетом увеличения длины) и дизайн с использованием типовых схем окраски: темно-серый фон с широкой красной диагональной полосой.

КАРБОВСКАЯ О.В., руководитель Центра общественных связей Группы РПМ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫПРАВКИ ПУТИ

Автор: КАРПИК В.В.

Аннотация. На сети железных дорог ОАО «РЖД» 98 % выправочных машин типа ВПР используют две основные системы управления выправкой пути. При этом массово применяются четыре способа съемки натурального положения железнодорожного пути и построения программного задания на его выправку. С помощью этих способов производится выправка пути при текущем содержании и на этапе финишной отделки участков реконструкции и капитального ремонта пути. Выправка позволяет решать задачи по восстановлению проектных параметров верхнего строения пути, переустройству плана линии, повышению скоростей движения поездов.

Ключевые слова: постанковка пути в проектное положение, способ выправки, система управления выправкой, ремонт пути, выправка пути, автоматизированное управление, метод сглаживания, координатный метод, параметрический метод, переустройство параметров, определение параметров геометрии пути.

КАРПИК В.В., Сибирский государственный университет путей сообщения, аспирант



Величина динамических сил, действующих на верхнее строение пути (ВСП) при движении подвижного состава, зависит от его массы и скорости движения. Эти силы неизменны в рамках одного эталонного участка, соответствующего проектной геометрии, и подвижного состава с неизменными характеристиками. Из-за несовершенства материалов ВСП вследствие накопления неупругих деформаций балластной призмы возникают расстройтва геометрии рельсовой колеи в плане, профиле и по уровню.

В местах образовавшихся неисправностей возникают дополнительные динамические силы, воздействующие на ВСП, которые повышают динамику нарастания расстройств пути и приводят к неравномерному боковому износу рельсов, «углам» в плане, просадкам в профиле, перекосам по уровню. Эти неисправности влияют на безопасность и плавность движения подвижного состава, сокращают срок службы элементов ВСП и увеличивают затраты на его текущее содержание.

Реализация проектных параметров на участках модернизации и капитального ремонта пути, а также поддержание рельсовой колеи в соответствии с проектом при текущем содержании позволяют сократить выход элементов ВСП и обеспечить его исправное состояние на протяжении всего срока службы до следующего ремонта. Такой результат может быть достигнут только при грамотном использовании выправочно-подбивочно-рихтовочных машин (ВПР-машин), обеспечивающих высокую точность постанковки пути в проектное положение.

ВПП-машина оснащена контрольно-измерительной системой (КИС), состоящей из набора датчиков. В состав КИС входят трос-хорды, относительно которых измеряются стрелы изгиба. Выправка пути ВПП-машиной заключается в измерении стрел изгиба в плане и продольном профиле относительно базы машины при выполнении каждого цикла работ и сравнении их с проектными стрелами (такой вариант выправки пути называют выправкой относительным способом).

Для исполнения программного задания на выправку, содержащего проектные стрелы в плане и профиле, а также вычисленные перемещения пути, ВПП-машине требуется система управления процессом выправки. В настоящее время известно несколько таких систем, отличающихся степенью автоматизации операций управления, контроля и типом используемой информации, которая поступает от различных подсистем, формирующих программное задание. На сети ОАО «РЖД» 98 % общего числа всего парка ВПП-машин оборудованы системами управления выправкой АС «Навигатор» (81 %) и АLC (19 %).

Для съемки натурального положения пути и построения программного задания на выправку используются четыре технологии: координатный метод с использованием АLC и КСПД ИЖТ; «ВПИ-Навигатор»; АС «Навигатор».

АLC - это система выправки пути, разработанная австрийской компанией Plasser & Theurer. В основе ее работы лежит метод сглаживания. Для съемки натурального положения пути используется КИС ВПП-машины. На основании снятой информации в программу АLC вводятся проектные (паспортные) параметры участка пути с описанием каждого элемента. На круговой кривой задаются ее радиус, длина и возвышение наружного рельса. На переходной кривой и в прямом участке задаются длины элементов. Все внесенные параметры должны соответствовать установленным скоростям и удовлетворять требованиям безопасности движения.

Выправка пути ведется методом сглаживания, при котором система имеет относительную измерительную базу (рис. 1), перемещающуюся вместе с машиной. Передняя точка 3 КИС является направляющей. Она движется по невыправленному участку пути, поэтому отклоняется вправо и влево от его проектной оси. Отклонения измерительной хорды 5 передаются в точку выправки 6. В результате путь устанавливается в положение с уменьшенными отклонениями от проектной оси в K раз. Остаточная неровность 7 появляется в результате отработки возникшей стрелы изгиба в точке 6 вследствие отклонения передней точки 3.

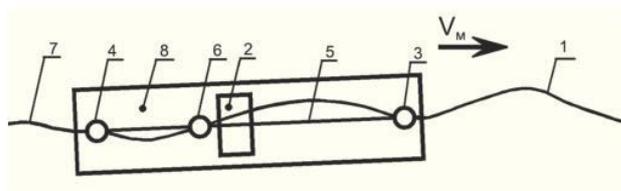


Рис. 1. Схема выправки пути методом сглаживания:
1, 7 положение пути до и после выправки; 2 — подъемно-рихтовочное устройство (ПРУ); 3, 4 подвижные передняя и задняя концевые точки измерительной системы; 5 подвижная хордовая база измерения; 6 — датчик стрелы изгиба пути;
8 — ВПП-машина; V_M — рабочая скорость машины

Показателем работы выправочной системы сглаживающего типа является коэффициент сглаживания K , который определяется по формуле

$$K = \frac{H}{h} = \frac{a+b}{a},$$

где H — величина начальной единичной неровности; h — величина оставшейся неровности; a , b — соответственно переднее и заднее плечо хорды.

Другими словами, чем больше асимметрия хорды, тем меньше

влияние установки передней точки на положение пути после выправки, т. е. чем больше коэффициент сглаживания, тем лучше работает система. Но в результате работы система не устраняет расстройств пути в полной мере, а только сглаживает их. Для точной постановки пути в заданное (проектное) положение в плане или продольном профиле ВПР-машине необходимо в каждом сечении пути задать значение проектной стрелы изгиба хорды и величину расчетного сдвига (подъемки) в точке переднего конца хорды (рис. 2). Точные значения проектных стрел могут быть получены единственным способом - по параметрам эпюры проектной кривизны, заданной положением характерных точек переходных кривых и значениями кривизны сопрягаемых ими круговых кривых (прямых).

Суть метода фиксированных точек при рихтовке или подъёмке пути с постановкой в проектное положение заключается в постоянных перестановках переднего конца хорды на рассчитанную величину сдвига или подъёмки, с тем чтобы он все время находился на проектной оси пути. В этом случае после

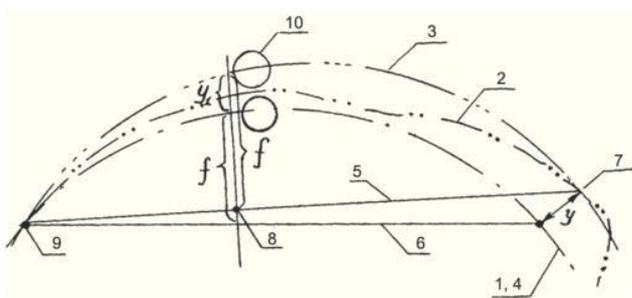


Рис. 2. Схема, поясняющая принцип постановки пути в проектное положение:

1 — проектное положение оси пути; 2 — существующее положение оси пути (до рихтовки); 3 — положение оси пути после рихтовки методом сглаживания; 4 — положение оси пути после рихтовки методом фиксированных точек (совпадает с проектным положением); 5 — положение измерительного троса при выправке методом сглаживания; 6 — положение измерительного троса при выправке методом фиксированных точек; 7–9 — места нахождения соответственно передней, измерительной и задней тележек; 10 — рихтовочное устройство; y — величина неисправности до рихтовки пути; y_1 — разница между смещениями точки пути при выправке методами сглаживания и фиксированных точек; f — величина устанавливаемой стрелы прогиба при выправке методами сглаживания и фиксированных точек

перемещения рельсошпальной решетки в районе измерительной тележки путь станет точно в проектное положение. Этим отличаются следующие три технологии выправки от метода сглаживания.

В состав КСПД ИЖТ(*) входят высокоточная координатная система (ВКС) и база пространственных данных в виде цифровых моделей пути (ЦМП(**)). Для реализации координатного метода съемки натурального положения и определения отклонений пути от проекта требуется наличие развернутой

вдоль железнодорожных направлений ВКС. Основное назначение ВКС - организация единого высокоточного координатного пространства, реализуемого на основе механизмов использования глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS и их дополнений, геодезического обеспечения всех видов инженерных изысканий, проводимых для проектирования.

ВКС включает в себя сеть наземных спутниковых базовых станций дифференциальной коррекции спутниковых измерений ГЛОНАСС/GPS, размещаемых через 40-50 км, и опорно-геодезическую сеть (ОГС), образующую единое координатное пространство. В свою очередь, в ОГС включены главные пункты - наземные долговременные знаки с устройствами принудительного центрирования, установленные через 4-5 км, а также промежуточные пункты - наземные долговременные знаки, расположенные через 250-750 м и предназначенные для установки над ними штативов геодезических приборов с обеспечением прямой видимости (для выполнения тахеометрических съемок и иных измерений на пути по всей протяженности сети).

Все это необходимо для создания сети сгущения, выполненной в виде анкеров, вмонтированных в основания опор контактной сети (фикс-поинт) по обеим сторонам пути через каждые 50-100 м (в зависимости от кривизны пути). Фикс-поинты нужны для позиционирования путеизмерительной тележки; с помощью тахеометра ведется координатная съемка натурального положения пути в абсолютных координатах.

Для формирования программного задания на выправку предварительно, до начала каждого этапа работ по выправке пути с использованием ВПП-машин, проводится координатная съемка пути различными путеизмерительными тележками (AMBERG (Швейцария), GEDO (Германия) и др.). В их бортовые компьютеры предварительно загружается ЦМП ремонтируемого участка пути в формате LandXML. Тележка по показаниям роботизированного тахеометра во время движения определяет свое местоположение относительно фикс-поинтов, находящихся в едином координатном пространстве. На основании полученной информации о натурном положении пути и его цифровой модели формируется файл программного задания на выправку для системы ALC с вычисленными отклонениями от проекта и проектными стрелами. Этот файл передается на ВПП-машину.

Выправка пути ВПП-машиной ведется по сформированному программному заданию относительным способом с использованием хорды в плане, нивелировочной системы в профиле и маятников по уровню. Файл программного задания не содержит информации о положении пути в едином координатном пространстве, проектных параметрах и ЦМП, а является результатом вычисленных отклонений натурального положения пути от проекта и проектных стрел. Контроль качества выправки пути возможен только после проведения исполнительной съемки путеизмерительной тележкой и сравнения ее с проектом.

На точность формирования программного задания и, следовательно, на качество выправки могут влиять различные факторы:

ошибки определения местоположения при развертывании ВКС;

ошибки измерения при создании ОГС и сети сгущения, а также определения абсолютных координат фикс-поинтов;

ошибки измерения определения местоположения путеизмерительной тележки относительно фикс-поинтов во время съемки пути;

точность проекта и ошибки измерений съемочного геодезического обоснования для формирования ЦМП.

Особое значение имеет точность настройки КИС ВПП-машины, так как съемка и выправка пути осуществляются различными КИС, отличающимися по способу измерений и роду ошибок. Смещение «нуля» положения измерительных датчиков и ошибка их масштабирования также оказывают влияние на точность постановки пути в проектное положение ВПП-машиной.

Технология «**ВПИ-Навигатор**» предназначена для выправки пути по данным съемки его натурального положения при штатном проходе вагона-путеизмерителя. Она включает в себя электронные метки, сканер электронных меток для вагона-

путеизмерителя и ВПР-машины, аппаратно-программное обеспечение. Электронные метки предназначены для синхронизации измерительной информации вагонов-путеизмерителей с контрольно-измерительной системой ВПР-машин по координате пути. Они устанавливаются на маячные шпалы в створах с пикетными столбиками и повторяют существующий визуальный пикетаж. Также метки могут быть установлены на шпалы в створе с объектами инфраструктуры для их маркировки. Сканеры электронных меток устанавливаются на вагоны-путеизмерители для привязки измерительной информации к местам установки электронных меток и на ВПР-машины для привязки программного задания и обнуления ошибки измерений мерного колеса по координате пути.

Измерительная информация, получаемая с вагонов-путеизмерителей и привязанная к электронным меткам посредством канала передачи данных, поступает в центр обработки для расчета и формирования программного задания на выправку. На основании измерительной информации и параметров из базы паспортных данных вагона-путеизмерителя производится расчет участка пути для построения программного задания на выправку.

Методы и алгоритмы программы расчетов пространственного положения пути в плане, профиле и по уровню обеспечивают получение строго параметрических решений на участках произвольной сложности и протяженности (до перегона). Расчетные перемещения адекватны параметрам устройства пути и не содержат элементов сглаживания неровностей.

Программа расчета позволяет находить расстройтва пути, в том числе и длинноволновые, протяженностью 300 м и более, а также дает возможность использовать технологию «ВПИ-Навигатор» для проектирования геометрии рельсовой колеи без привлечения проектных институтов, производить переустройства параметров кривых при текущем содержании, не дожидаясь капитальных ремонтов и реконструкции пути. Сформированное программное задание до начала производства работ загружается в бортовой компьютер ВПР-машины с автоматизированной системой АС «Навигатор». Выправка пути может начинаться с произвольной стартовой позиции после точного позиционирования ВПР-машины по координате пути с использованием электронных меток.

Данная технология имеет высокий уровень автоматизации, что уменьшает влияние «человеческого фактора» и повышает качество выправки, оставляя за персоналом функции контроля на всех этапах. Благодаря отсутствию измерительной поездки и времени, необходимого для расчета, увеличивается выработка машины за час «окна», что обеспечивает высокий показатель экономической эффективности.

Программно-аппаратный комплекс съемки, расчета и выправки пути АС «Навигатор» - это передовая отечественная разработка, имеющая большой спектр возможностей, от автономной работы на произвольном участке пути до выправки по данным вагона-путеизмерителя, координатной съемки и 3D-лазерного сканирования. Ее универсальный алгоритм позволяет воспринимать информацию практически всех видов измерений натурального положения пути и

объектов инфраструктуры, к которым относятся: ручные измерения; КИС ВПР-машин, вагонов-путеизмерителей и путевой техники, оснащенной необходимым набором датчиков; определение положения пути в относительных и абсолютных координатах с помощью путеизмерительных тележек, тахеометров, приемников GPS/ГЛОНАСС и др.; переносные и мобильные 3D-лазерные сканеры, формирующие облако точек высокого разрешения ВСП и объектов инфраструктуры.

Внесение измерительной информации в программу «Навигатор» может осуществляться как с аппаратной части системы - контроллера, получающего данные непосредственно с датчиков КИС, так и из файлов, сформированных другими измерительными системами (вагона-путеизмерителя, путеизмерительной тележки, тахеометра, GPS/ГЛОНАСС-приемника и т. д.). Поступающая измерительная информация дополнительно может содержать проектные параметры, установленные скорости, расположение объектов инфраструктуры, типы неисправностей на пути, габариты приближения и др. В результате сбора измерительной информации формируется файл съемки для последующей обработки.

Программа «Навигатор» представляет собой мощный инструмент в области определения параметров и переустройства геометрии пути в плане, профиле и по уровню. Первым этапом обработки файла съемки является определение оптимальных параметров геометрии пути с учетом установленных скоростей и заданного оператором коридора ограничений сдвигов и подъемов. Оптимальные параметры отвечают требованиям безопасности и соответствуют установленным скоростям движения.

На втором этапе устанавливаются проектные параметры (при их наличии) либо оператор определяет необходимые манипуляции с параметрами в зависимости от требуемого результата. Большой набор функций модуля расчета позволяет произвести переустройство пути в плане, по уровню и в профиле любой сложности, согласно поставленному заданию. Это могут быть: восстановление проектных параметров; повышение скоростей движения; изменение радиуса и длин переходных кривых; смещение оси пути; устранение неисправности в плане, по уровню и в профиле; обеспечение установленных нормативами габаритов, в том числе возле остановочных платформ, на мостах и подходах к ним.

В результате расчета формируется программное задание на выправку пути, которое содержит информацию о необходимых перемещениях для реализации проекта (расчета). Использование программного задания позволяет выполнять выправку пути не только ВПР-машинами, но и укрупненными путевыми бригадами с использованием инструментов малой механизации и таблицы разбивочных данных, сформированной в программе «Навигатор», а также путевой техники тяжелого класса на участках капитального ремонта и модернизации.

Система АС «Навигатор» для проведения выправки пути способна воспринимать собственные программные задания, а также программные задания по данным вагона-путеизмерителя и путеизмерительной тележки в

формате ALC. Во время выправки ведется запись показаний индикаторов, данных с КИС и действий экипажа, что позволяет после выправки оценить качество работы и определить причины отступлений на пути от программного задания в случае их наличия.

На сети железных дорог ОАО «РЖД» все ВПР-машины во время выправки используют хорду для рихтовки пути в плане и профиле. Это свидетельствует о том, что выправка ведется относительным способом, независимо от вида натуральных данных, будь то стрелы изгиба, абсолютные координаты или облако точек.

В НИЦ «Путеец» СГУПС (Новосибирск) разработана технология, включающая в себя устройство и способ выправки пути для реализации проектных параметров геометрии пути с постановкой его на проектную ось относительно объектов инфраструктуры на участках капитального ремонта и текущего содержания. В отличие от координатных способов съемки пути у него отсутствует потребность в создании ВКС и ОГС, а также в предварительной съемке путеизмерительной тележкой до начала выправки и исполнительной съемки для оценки качества работ.

При использовании технологии НИЦ «Путеец» все работы могут быть выполнены при участии экипажа машины и руководителя работ по предварительно подготовленному проекту, загруженному в систему АС «Навигатор». Для оценки качества реализации проекта достаточно съемки выправленного пути ВПР-машиной с блоком привязки к объектам инфраструктуры или вагоном-путеизмерителем.

* КСПД ИЖТ - информационно-технологическая система сбора, обработки, хранения и предоставления зарегистрированным пользователям координатной информации об объектах инфраструктуры и подвижных объектах железнодорожного транспорта.

** ЦМП - математическое описание геометрических характеристик и пространственного положения пути и объектов инфраструктуры железных дорог.

Карпик Вячеслав Владимирович - аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство», заведующий лабораторией НИЦ «ПУТЕЕЦ» Сибирского государственного университета путей сообщения. Новосибирск, Россия. E-mail: puteec@stu.ru

ЧЕМПИОНЫ ИЗ СИБИРИ

Автор: АБРАМОВ А.Д., МАНАКОВ А.Л., МАСЛОВ Н.А.

АБРАМОВ А.Д., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), докт. техн. наук



МАНАКОВ А.Л., СГУПС, докт. техн. наук



МАСЛОВ Н.А., СГУПС, канд. техн. наук



В начале октября 2020 г. Федеральное агентство железнодорожного транспорта объявило итоги студенческого конкурса и назвало победителей и призеров олимпиады дипломных проектов. Среди лауреатов вновь представители Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС). Семь проектов выпускников СГУПС были отмечены экспертным жюри в различных номинациях и по различным специальностям. Первыми признаны три выпускные квалификационные работы (ВКР): «Разработка системы подготовки по рабочей профессии «Машинист путеукладочного крана» Э.С. Бондарева (СГУПС, научный руководитель - доцент Н.А. Маслов), «Организация обслуживания бесстыкового пути» И.К. Ардышева (СГУПС, научный руководитель - профессор Н.И. Карпущенко) и «Организация удаленного измерения и управления радиостанцией РВС-1-20 на участке Кемерово - Барзас» С.В. Дороховой (Тайгинский техникум железнодорожного транспорта (ТТЖТ) - филиал СГУПС, научный руководитель - преподаватель высшей категории - А.А. Кабанова).

А в середине того же месяца в Белгородском государственном техническом университете (БГТУ) им. В.Г. Шухова, одном из опорных вузов в Российской Федерации, в режиме видеоконференции состоялись второй (заключительный) тур Всероссийского смотра-конкурса ВКР по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01) и конкурс ВКР магистров по

направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы» (23.04.02), а также конкурс учебно-методической и научной литературы.

В состязаниях приняли участие представители 25 вузов России и ближнего зарубежья. Члены жюри изучили свыше 110 ВКР, а также более 20 учебных пособий, монографий и других видов учебно-методической и научной литературы. Презентуемые разработки охватывали следующие темы: грузоподъемные, строительные, путевые, дорожные, землеройно-транспортные машины; машины непрерывного вертикального транспорта; машины для земляных работ, природообустройства и охраны окружающей среды; машины для производства и переработки дорожно-строительных материалов; буровая техника.

По традиции в конкурсе снова участвовала молодежь Сибирского университета. Выпускники факультета «Управление транспортно-технологическими комплексами» (УТТК) представили на конкурс 12 дипломных проектов, пять из которых стали лучшими в своей номинации, по три работы заняли вторые и третьи места.

По итогам конкурса ВКР 2020 г. все три дипломных проекта, подготовленные учениками доцента Н.А. Маслова, заняли первые места в своих номинациях. Победителями по специализации «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование» стали выпускники факультета УТТК инженеры Э.С. Бондарев, С.Д. Бродникова и В.В. Ванюшев. Уникальны не только сами работы, по уровню выполнения близкие к диссертационному формату на соискание ученых степеней кандидатов педагогических и технических наук, но и их авторы, самостоятельно выбравшие не самую простую, но, пожалуй, самую увлекательную «дорогу знаний», приближающую к получению квалификации «инженер-механик».



Э.С. Бондарев, С.Д. Бродникова, В.В. Ванюшев, А.Е. Комольцев, победители конкурса ВКР 2020 г. по специальности 23.05.01

Первое место в номинации «Моделирование технических систем путевых машин» занял Э.С. Бондарев, инженер-конструктор Новосибирского завода химконцентратов, аспирант СГУПС с дипломным проектом на тему «Разработка системы подготовки по рабочей профессии «Машинист

путеукладочного крана»». Молодой человек принял активное участие в создании современного инструмента такой подготовки - электронного учебника и тренажера-симулятора по управлению путеукладочным краном и его эксплуатации. Он разработал сценарии видеоуроков, конспекты лекций к ним и тестовые задания. Проведенный экономический расчёт показал, что использование тренажера-симулятора для подготовки специалистов в 2,7 раза экономичнее применения реального путеукладочного крана (экономия бюджета ОАО «РЖД» составит 88 580 руб. на подготовку каждого машиниста). Разработанная система подготовки уже тестируется в Западно-Сибирском учебном центре профессиональных квалификаций ОАО «РЖД».

В номинации «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных и коммунальных машин» первое место заняла С.Д. Бродникова, инженер, аналитик технического состояния техники ООО «Восточная Техника» с дипломным проектом на тему «Разработка систем диагностирования самосвалов и земляного полотна карьера».

Первое место в номинации «Проекты научно-исследовательской направленности - машины для земляных работ» занял водитель автомобильной роты Вооруженных Сил Российской Федерации В.В. Ванюшев с дипломным проектом на тему «Разработка активного ковша экскаватора-погрузчика», который может быть полезен при использовании машин для земляных работ и на объектах инфраструктуры сети железных дорог.

В номинации «Конструкторские проекты - машины непрерывного транспорта» первое место занял А.Е. Комольцев с проектом на тему «Разработка оборудования для замены рельсовых плетей» (СГУПС, научный руководитель - доцент Г.П. Задорин). Автором проанализированы существующие средства для замены рельсовых плетей, разработан новый машинный агрегат для этих целей и технология его применения при производстве путевых работ в «окно», определена стоимость изготовления спроектированного оборудования.

Говоря об успехах наших студентов и выпускников, хочется отметить, что за последние пять лет от кафедры «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины» (ППСДМ) университет представил на конкурс около 50 ВКР, за которые было получено 12 дипломов первой степени, 18 дипломов второй и 13 дипломов третьей степеней.

Более 10 лет Университет тесно сотрудничает с ОАО «Российские железные дороги», ООО «Восточная Техника» (официальный дилер компании Caterpillar) и Институтом горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской Академии наук (ИГД СО РАН). Такая совместная работа позволяет качественно обучать будущих специалистов диагностике сложной современной техники и готовить их к самостоятельному проектированию передовых систем диагностирования путевых, подъемно-транспортных, горных, строительных и дорожных машин.

Среди крупных партнеров СГУПС также можно назвать Новосибирский метрополитен, Горно-металлургический комбинат «Норильский никель» и др.

Полученные на конкурсе ВКР высокие результаты не случайны и являются результатом системной деятельности их авторов в студенческом научном объединении (СНО) «Механик», организованном в 2009 г. на кафедре ППСДМ факультета УТТК СГУПС. Только за последние три года (2018- 2020) 85 студентов приняли участие в 100 вневузовских мероприятиях по научно-исследовательской работе. Вышли в свет 138 публикаций. Научные труды получили девять грантов и 100 наград. За эти годы на научные студенческие разработки было привлечено более 7,5 млн руб. (за все время существования СНО - около 10 млн руб.).

Большинство участников СНО, обучавшихся в СГУПС на факультете УТТК, стали истинными инженерами-инноваторами и сейчас заняты на научных, инженерных и руководящих должностях в таких крупных компаниях, как ОАО «РЖД», в ИГД СО РАН, ГК «Норильский никель», ООО «Восточная Техника» и других ведущих научных, транспортных и эксплуатационных предприятиях нашей страны.



Студенты-участники СНО «Механик» с наградами вместе с сотрудниками кафедры ППСДМ СГУПС

Проведение конкурса ВКР стало хорошей традицией за последние десять лет. Бесценный обмен опытом с коллегами из других вузов России и зарубежья помогает профессорско-преподавательскому составу кафедры ППСДМ СГУПС полнее осознать возможности совершенствования учебного процесса. Ведь выпускная квалификационная работа является итоговым результатом многолетнего взаимодействия преподавателей и студентов.

Поздравляем наших чемпионов с заслуженной победой и желаем им дальнейших успехов!