

На правах рукописи



Мироненко Евгений Викторович

**РАЗРАБОТКА МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМОГО
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ
СО СВЕРХДЛИННЫМИ РЕЛЬСОВЫМИ ПЛЕТЯМИ**

Специальность 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание
и проектирование железных дорог

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС)

Научный руководитель: **Новакович Василий Иванович,**
доктор технических наук, профессор кафедры
«Путь и путевое хозяйство» ФГБОУ ВО
«Ростовский государственный университет
путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС)

Официальные оппоненты: **Суслов Олег Александрович,**
доктор технических наук, технический эксперт
научного центра «Рельсы, сварка, транспортное
материаловедение» акционерного общества
«Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта» (НЦ РСТМ АО
«ВНИИЖТ»)

Замуховский Александр Владимирович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Путь и путевое хозяйство» ФГАОУ ВО
«Российский университет транспорта» (ФГАОУ
ВО РУТ (МИИТ))

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Защита состоится 19 декабря 2022 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета 44.2.005.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 (главный корпус, читальный зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д.2 и на сайте <http://www.rgups.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 44.2.005.01,
доктор технических наук, профессор

П.Н. Щербак

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями (длиной до перегона и более) в России является основной конструкцией верхнего строения пути. Предполагается в дальнейшем укладка рельсовых плетей практически неограниченной длины, сваренных со стрелочными переводами. Однако осуществление данного проекта задерживается в связи с отсутствием соответствующих нормативов. В настоящее время на сети железных дорог в большом объёме продолжают эксплуатироваться рельсовые плети длиной до 800 м. Недостаточно разработаны технологии восстановления целостности рельсовых плетей, а также увеличения их длины путём ликвидации уравнильных пролётов алюминотермитной сваркой с обеспечением необходимой температуры закрепления.

Степень разработанности темы исследования

Из-за особенностей климата и условий эксплуатации на отечественных железных дорогах, особое внимание обращается прежде всего на обеспечение необходимого температурного режима работы бесстыкового пути. Непосредственно этому вопросу были посвящены работы М.С. Боченкова, Е.М. Бромберга, В.И. Новаковича.

Боченков М.С. разработал и испытал на действующих участках бесстыковой путь с саморазрядкой температурных напряжений, Бромберг Е.М. предложил и более широко внедрил бесстыковой путь с сезонной разрядкой напряжений. Новакович В.И. разработал ряд мер, позволивших широко внедрить на отечественных железных дорогах бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями.

Работы А.Я. Когана, В.А. Грищенко и О.А. Сулова способствовали совершенствованию конструкции бесстыкового пути и методики его расчёта. Разработки Н.П. Виногорова позволили на отечественных железных дорогах использовать бесстыковой путь на мостах, под его руководством в последние десятилетия в рассматриваемой области совершенствовалась нормативная документация.

В работах С.П. Першина и М.Ф. Вериго проанализирован отечественный и зарубежный опыт по особенностям устройства и методам расчета бесстыкового пути.

Развитию бесстыкового пути были посвящены работы таких зарубежных учёных как О. Амман, Ф. Бирман, И. Ваттман, К. Грюневальдт, А. Зарембски, М. Мартине, Г. Мейер, И. Немчек, Э. Немешди, М. Нумато, А. Прюддом, Ф. Рааб, И. Хошино и др.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка мер по обеспечению необходимого температурного режима работы бесстыкового пути со сверхдлинными рельсовыми плетями.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие *задачи*:

1. Определены необходимые для расчетов бесстыкового пути минимальные и максимальные значения погонных сопротивлений сдвигу рельсошпальной решетки в поперечном и продольном направлениях.

2. Оценено влияние массы шпал на сопротивление сдвигу рельсошпальной решетки бесстыкового пути в балласте.

3. Разработан способ сварки рельсовых плетей бесстыкового пути при температурах ниже их закрепления с восстановлением установленного температурного режима работы.

4. Обоснована необходимость мер, обеспечивающих прочность стыковых болтов на концах рельсовых плетей в границах установленного температурного режима работы бесстыкового пути в зависимости от климатических условий.

Научная новизна:

1. Впервые произведена оценка необходимых для расчетов бесстыкового пути минимальных и максимальных значений погонных сопротивлений сдвигу рельсошпальной решетки в поперечном и продольном направлениях.

2. Экспериментально определено влияние массы шпал на их сопротивления сдвигу в балласте с учётом воздействия поездов.

3. Разработан способ термитной сварки рельсовых плетей бесстыкового пути при температурах ниже их закрепления с восстановлением установленного температурного режима их работы.

4. Предложены технологические приёмы, обеспечивающие прочность стыковых болтов на концах рельсовых плетей в пределах установленного температурного интервала закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути в зависимости от климатических условий.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики определения минимальных и максимальных значений сопротивления балласта сдвигу шпал с учётом воздействия поездов в зависимости от цели выполнения расчётов необходимых для обеспечения устойчивости и прочности элементов верхнего строения бесстыкового пути.

Практическая значимость работы заключается в разработке мероприятий, необходимых для обеспечения прочности стыковых болтов на концах рельсовых плетей в пределах границ установленного температурного интервала закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути в зависимости от климатических условий. Разработан новый способ сварки сверхдлинных рельсовых плетей при температурах ниже температуры их закрепления с восстановлением установленного температурного режима работы бесстыкового пути.

Методы диссертационного исследования

Исследования, проведенные в диссертационной работе, основаны на современных методах планирования экспериментов, математической статистике и анализе результатов, полученных отечественными и зарубежными учёными в области бесстыкового пути, в том числе на методах теории ползучести.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод определения, анализа и оценки необходимых для расчётов бесстыкового пути минимальных и максимальных по вероятности значений погонных сопротивлений сдвигу рельсошпальной решетки в поперечном и продольном оси пути направлениях.

2. Методика проведения, анализа и оценки результатов экспериментов по определению зависимости сопротивления сдвигу железобетонных шпал в балласте от массы шпалы, проведенных с учётом воздействия поездов на действующих участках бесстыкового пути.

3. Способ сварки рельсовых плетей при температурах ниже их закрепления с восстановлением установленного температурного режима работы бесстыкового пути.

4. Комплекс мероприятий по обеспечению безопасности движения поездов по раскрытию зазора и прочности болтов на концах рельсовых плетей в пределах установленных границ температурного интервала закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути в зависимости от климатических условий на различных железных дорогах России.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, основана на проведенном анализе известных практических исследований и теоретических работ отечественных и зарубежных учёных, в числе которых труды О. Аммана, Ф. Бирмана, М.С. Боченкова, Е.М. Бромберга, М.Ф. Вериги, Н.П. Виногорова, К. Грюневальдта, В.М. Ермакова, В.В. Ершова, Н.И. Залавского, А.В. Замуховского, Г.В. Карпачевского, В.В. Карпачевского, А.Я. Когана, Е.В. Корниенко, Е.А. Манюгиной, К.Н. Мищенко, В.И. Новаковича, В.О. Певзнера, Ф. Рааба, Р. Рубина, О.А. Сулова, Г.М. Шахунянца, В.В. Шубитидзе. Достоверность результатов основана также на сравнении и сопоставлении современных и полученных ранее результатов, на применении методов строительной механики, аппарата математической статистики, а также экспериментальных данных, полученных на действующих участках бесстыкового пути.

Апробация работы

Апробация работы произведена в Северо-Кавказской дирекции инфраструктуры – филиале Центральной дирекции ОАО «РЖД» с получением акта использования результатов, разработанных в диссертационной работе.

Основные результаты исследований были доложены и обсуждены:

- на Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2017», Ростов-на-Дону, 2017 г.);
- на Всероссийской национальной научно-практической конференции «Современное развитие науки и техники» («Наука-2017», Ростов-на-Дону, 2017 г.);
- на Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2018», Ростов-на-Дону, 2018 г.);
- на II Международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и

ресурсосберегающие технологии, экономика и управление» (Ростов-на-Дону, 2018 г.);

– на Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2019», Ростов-на-Дону, 2019 г.);

– на Всероссийской национальной научно-практической конференции «Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры» (Ростов-на-Дону, 2019 г.);

– на Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2020», Ростов-на-Дону, 2020 г.);

– на Всероссийской национальной научно-практической конференции «Современное развитие науки и техники» («Наука-2020», Ростов-на-Дону, 2020 г.);

– на XVII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвящённой памяти профессора Г.М. Шахунянца (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), Москва, 29 октября – 26 ноября 2020 г.)

– на Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2021», Ростов-на-Дону, 2021 г.);

– на IV Всероссийской национальной научно-практической конференции «Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры» (Ростов-на-Дону, 11 апреля 2022 г.).

Личный вклад автора состоит:

– в оценке необходимых для расчётов бесстыкового пути минимальных и максимальных значений погонных сопротивлений сдвигу рельсошпальной решетки в поперечном и продольном направлениях;

– в разработке методики и проведении экспериментов по определению влияния на продольное сопротивление сдвигу железобетонных шпал в балласте их массы с учётом воздействия поездов на действующих участках бесстыкового пути;

– в разработке нового способа и приспособления для сварки рельсовых плетей бесстыкового пути при температурах ниже их закрепления с восстановлением установленного температурного режима работы;

– в обосновании технологических приёмов, необходимых для обеспечения прочности стыковых болтов на концах рельсовых плетей, закреплённых в верхней границе установленного температурного интервала, в зависимости от климатических условий региона.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 6 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения. Диссертация изложена на 133 страницах основного текста, содержит 51 рисунок, 4 таблицы, список использованных источников из 183 наименований, 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование темы диссертационного исследования и её актуальности, кратко описана степень разработанности тематики отечественными и зарубежными учёными, определены основные задачи, направленные на достижение цели научного исследования. Указаны научная новизна основных результатов работы, положения, выносимые на защиту, методы проведения исследований и их достоверность, апробация работы, её структура и объём.

В первой главе обоснован выбор задач диссертационного исследования, определены основные факторы, обеспечивающие постоянство установленного температурного режима работы бесстыкового пути с течением времени: величина продольных сил, действующих в рельсовой плети, погонное сопротивление балласта сдвигу железобетонных шпал вдоль и поперёк оси пути, сила прижатия рельса к шпале. Установленный температурный режим закрепления рельсовых плетей должен обеспечивать: возможность проведения путевых работ без предварительного перезакрепления при относительно высоких температурах, прочность и устойчивость элементов верхнего строения бесстыкового пути, а также исключать раскрытие зазора в стыках или при изломе рельсовых плетей на недопустимую величину в период низких температур.

Во второй главе проведён анализ работ отечественных и зарубежных учёных, направленных на определение значений погонного сопротивления сдвигу шпал в балласте, применяемых в расчётах бесстыкового пути. В разные годы указывалась средняя величина погонного сопротивления вдоль оси пути от 6,5 кН/м до 18,4 кН/м «на шпалу». При расчётах бесстыкового пути необходимо пользоваться реальными значениями погонного сопротивления вдоль r и поперёк оси пути q – в статике, а при учёте воздействия проходящих поездов, коэффициентами вязкости балласта, сдвигаемого шпалами K вдоль и ζ поперёк оси пути. Эти механические характеристики имеют достаточно большую дисперсию, поэтому использование среднего значения в нормативах может привести к погрешностям, в результате которых достаточная надёжность работы пути не будет обеспечена. В связи с этим, определив цель расчётов, необходимо в одних случаях применять минимальные значения погонного сопротивления (как наихудший вариант при расчётах устойчивости бесстыкового пути), а в других случаях максимальные значения (когда требуется определить необходимые силы для рихтовки или продольного перемещения рельсошпальной решётки). Конкретные максимальные и минимальные значения нормально распределённой случайной величины погонного сопротивления r (в статике) могут быть получены по, так называемому, «правилу трёх сигм» – расчёту доверительного интервала, ограниченного $\bar{x}-3\sigma$ и $\bar{x}+3\sigma$, внутри которого находится 99,73% возможных значений случайной величины. Если взять за основу наиболее массовые опыты АО «ВНИИЖТ», то минимальными и максимальными значениями сопротивления железобетонных шпал в балласте вдоль оси пути r будут являться границы доверительного интервала – 3,3 кН/м и 16,7 кН/м, а поперёк оси пути q – 2,5 кН/м и 14,5 кН/м «на шпалу». При этом,

средние значения для рыхлого, увлажнённого балласта будут находиться внутри указанных интервалов.

Для уточнения максимальных и минимальных значений коэффициента вязкости балласта, сдвигаемого шпалами были проведены опыты на действующем участке Ростовской дистанции пути (рис. 1).

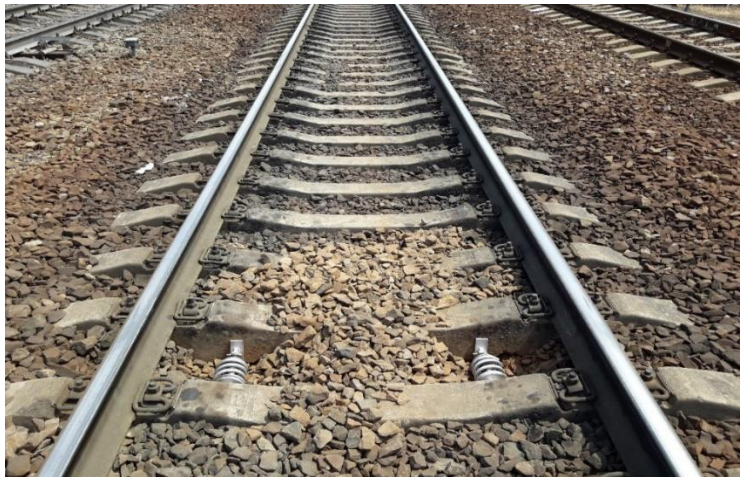


Рис. 1 – Опытный участок по определению коэффициента вязкости

На шпалу сжатием пружины специального устройства прикладывалось постоянное во времени усилие, эквивалентное погонному сопротивлению $r = 10$ кН/м. Жесткость пружин устройств подобрана таким образом, чтобы после прохода поезда и, соответственно, продольного перемещения шпалы под действием продольной силы под ним, эта сила уменьшалась не более чем на 5%. После каждого прохода поезда производилось измерение перемещений шпал и фиксировалось время (определялась скорость), при необходимости, подтягиванием гаек устройств восстанавливалась сила сжатия пружин. Среднее арифметическое значение коэффициента вязкости составило $220,9 \cdot 10^9$ Н·с/м², среднеквадратическое отклонение $209,9 \cdot 10^9$ Н·с/м² и доверительный интервал от значения, равного точности измерений, до $850,7 \cdot 10^9$ Н·с/м².

Конкретные максимальные и минимальные значения коэффициентов вязкости щебёночного балласта, сдвигаемого шпалами при учёте влияния проходящих поездов определяются в течении длительных наблюдений. Определением функций распределения случайной величины коэффициентов вязкости балласта, сдвигаемого шпалами, на протяжении последних 50 лет занимались В.И. Новакович – вдоль оси пути и В.В. Ершов – поперёк оси пути, однако ввиду высокой трудоёмкости проведения экспериментов (длительность одного не менее продолжительности рабочего дня), высокой дисперсии и недостаточного количества опытных данных в различных условиях эксплуатации пока нет возможности достоверно определить закон распределения случайной величины. На основе проведенных в диссертационном исследовании опытов и анализа результатов, полученных другими исследователями, в настоящее время в расчётах пути может применяться максимальное значение коэффициента вязкости щебёночного балласта, сдвигаемого железобетонными шпалами вдоль оси пути $K = 314,4 \cdot 10^9$ Н·с/м²

(для участков с низкой грузонапряжённостью) и минимальное значение $K = 44,4 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ (для участков с высокой грузонапряжённостью).

Меры по повышению погонного сопротивления балласта (в частности, повышение массы шпал, устройство фартуков, укрепление вяжущими материалами и др.) позволяют повысить значения погонных сопротивлений r и q в статике, но вследствие дополнительных трудовых и материальных затрат, экономическая эффективность их внедрения невысока. Нет данных о повышении за счёт перечисленных мер сопротивления балласта при учёте воздействия поездов. Влияние массы шпалы на сопротивление сдвигу в балласте с учётом воздействия поездов рассмотрено в третьей главе диссертационной работы. Сопротивления типовых железобетонных шпал при учёте воздействия поездов в большинстве случаев оказывается достаточным, если температура закрепления рельсовых плетей будет находиться в пределах установленного температурного режима, в зависимости от климатического региона.

В третьей главе описана методика и результаты проведенных экспериментов по оценке влияния массы шпал на их сопротивление сдвигу в балласте с учётом воздействия поездов. Методика сравнительных натурных испытаний разработана для снижения влияния случайных факторов и предполагает одновременное проведение опытов по сдвигу двух шпал в балласте под действием постоянной горизонтальной продольной нагрузки, эквивалентной погонному сопротивлению $10 \text{ кН}/\text{м}$: нагруженной массой равной 100 кг и ненагруженной с последующей перестановкой нагрузки на одном и том же участке железнодорожного пути. Воздействие подвижного состава на шпалы в этом случае одинаково: по шпалам, отличающимся только массой, проходит равное количество осей с равной нагрузкой через равные промежутки времени. Влияние таких факторов как температура щебёночного балласта, его влажность, загрязнённость, гранулометрический состав, плотность и другие исключалось.

На рис. 2 показано одновременное применение приборов для определения коэффициента вязкости для шпал с пригрузом и без по предложенной методике.



Рис. 2 – Участок проведения экспериментальных исследований

Опытами, проведенными с учётом воздействия поездов и фактора времени, было определено, что повышение массы шпал на 100 кг не вызывает роста значения коэффициента вязкости вдоль оси пути. Коэффициент корреляции между массой шпалы и коэффициентом вязкости балласта, сдвигаемого шпалами менее 0,5, что позволяет сделать вывод об отсутствии тесноты связи между ними. Большая масса железобетонных шпал увеличивает материальные, энергетические и трудовые затраты при текущем содержании и ремонте. Результаты статических экспериментов, в которых было получено повышение сопротивления сдвигу шпал в балласте при увеличении их массы не могут быть использованы в расчётах, учитывающих воздействие поездов.

Математическая модель бесстыкового железнодорожного пути может быть представлена в виде упругого стержня, находящегося в вязкой среде (рис. 3).

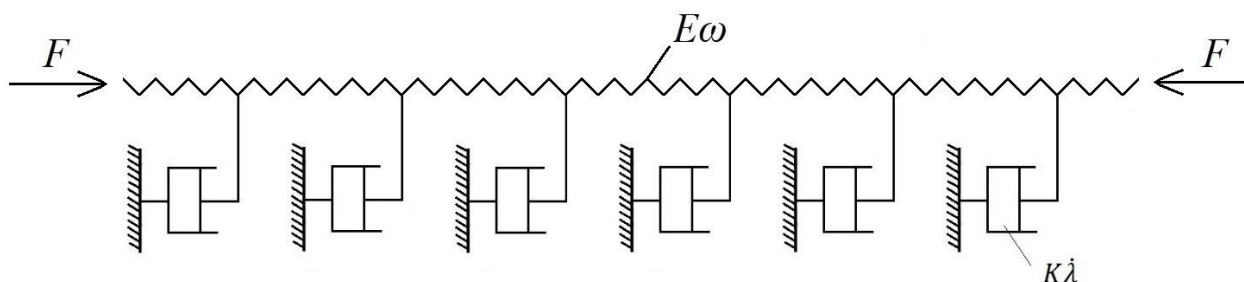


Рис. 3 – Математическая модель бесстыкового пути

В соответствии с данной моделью предполагалось что шпала является абсолютно твердым телом, жестко соединённым с рельсом, и находящимся в вязкой среде под действием продольной силы, передаваемой на неё от рельса. Закон вязкости для железобетонной шпалы в балласте:

$$r = K \cdot \dot{\lambda}, \quad (3.1)$$

где: K – коэффициент вязкости балласта, сдвигаемого шпалами вдоль оси пути;

$\dot{\lambda}$ – скорость перемещения шпалы вдоль оси пути.

Таким образом, в расчётах бесстыкового пути с учётом воздействия поездов, следует считать, что сопротивление балласта сдвигу шпалами не зависит от массы шпал.

В четвёртой главе рассмотрены вопросы восстановления целостности и увеличения длины рельсовых плетей сваркой с обеспечением необходимого температурного режима работы.

Процесс деформирования бесстыкового пути с учётом воздействия поездов отражается математической моделью бесстыкового пути, которой соответствует дифференциальное уравнение, в математической физике называемое уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = N^2 \frac{\partial F}{\partial \tau}, \quad (4.1)$$

где F – продольная сила в рельсах, $N = (K/E\omega)^{1/2}$ – коэффициент относительной вязкости, E – модуль упругости рельсовой стали, ω – площадь поперечного сечения рельса, x – линейная координата, τ – время.

Решение (4.1) при суточных и сезонных колебаниях температуры рельсов по синусоидальному закону $F = F_0 \sin\theta\tau$ и при граничном условии $F = 0$ при $x = 0$ даёт нам следующую зависимость:

$$F(x, \tau) = F_0 \left[\sin\theta\tau - \exp\left(-N\frac{\theta}{2}x\right) \sin\left(\theta\tau - N\frac{\theta}{2}x\right) \right], \quad (4.2)$$

где: $\theta = \frac{2\pi}{\tau}$ – частота колебаний.

Графически зависимость (4.2) представлена на рис. 4.

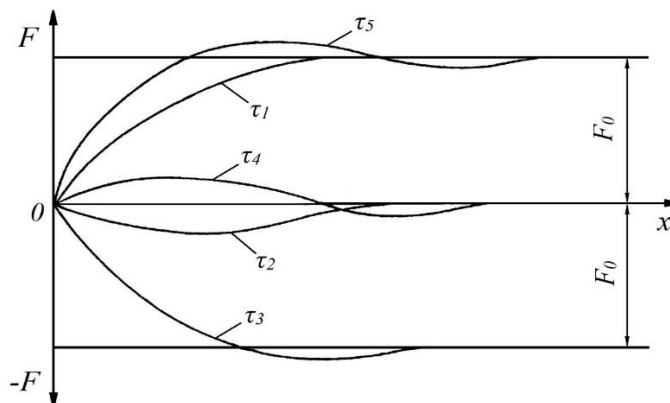


Рис. 4 – Закон изменения продольной силы на конечном участке рельсовой плети

Расчёты с использованием зависимости (4.2) свидетельствуют о том, что длина конечных участков рельсовых плетей бесстыкового пути теоретически должна считаться бесконечной, но если ограничиться практически значимыми величинами продольных перемещений, то при учёте сезонных колебаний температуры рельсов, эту длину следует считать равной до 200 м, а для регионов России с суровыми климатическими условиями – до 400 м.

По результатам этих расчётов на участках, где рельсовые плети имеют длину равную протяжённости перегона, следует рекомендовать сезонное перезакрепление конечных участков рельсовых плетей бесстыкового пути с заменой уравнительного рельса.

В настоящее время верхний предел температуры закрепления рельсовых плетей ограничен прочностью рельсов, стыковых болтов и величиной максимально допустимого зазора в случае излома рельсовой плети.

При расчёте зазора, возникающего при сквозном изломе рельсовой плети, по формулам, рекомендованным нормативными документами, с учётом реальных значений погонного сопротивления зазор при изломе рельсовой плети превысит допустимое значение, равное 50 мм уже при понижении температуры на 40 °С. При расчёте с учётом фактора времени даже при подстановке среднего арифметического значения коэффициента вязкости при среднесуточном отступлении от температуры закрепления в сторону понижения $\Delta t = 30$ °С зазор на конце рельсовой плети превысит нормативное значение в течении 7 суток. При этом своевременная замена рельсов на удлинённые не способна полностью исключить работу стыковых болтов на срез. Допускаемая величина зазора при изломе рельсовой плети и прочность стыковых болтов определяют верхнюю

границу температуры закрепления бесстыкового пути. Применение высокопрочных болтов в стыках уравнильных пролётов и соединениях рельсовых плетей со стрелочными переводами не рекомендуется в связи с возможностью нарушения устойчивости пути в период воздействия высоких температур при отсутствии изменения величины зазоров в стыках. Обеспечение более надёжной работы рельсовых плетей при низких температурах предлагается за счёт увеличения их длины до перегона (поскольку в этом случае на перегоне останется только два концевых участка).

В настоящее время не разработано достаточно надёжного способа сварки рельсовых плетей при температурах ниже температуры их закрепления с восстановлением установленного режима работы бесстыкового пути.

Для сварки рельсовых плетей при температурах ниже температуры их закрепления в представленной работе разработан способ, обеспечивающий их установленный температурный режим. Предлагаемый способ заключается в фиксации с помощью специального приспособления (рис. 5) и последующей термитной сварки концов рельсовых плетей, на которых предварительно с помощью гидравлического натяжного устройства (ГНУ) или нагревательного устройства (НУ) была искусственно создана необходимая продольная растягивающая сила, соответствующая установленной температуре закрепления. При этом, в процессе термитной сварки стыка зазор между рельсовыми плетями остаётся неизменным в течение всего процесса сварки с кристаллизацией расплавленного металла независимо от изменений напряжённо-деформированного состояния остальной части рельсовой плети.

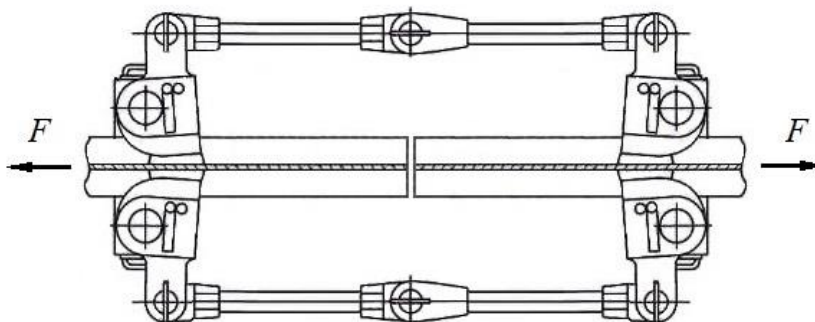


Рис. 5 – Приспособление для фиксации концов рельсовых плетей после их сведения посредством НУ или ГНУ

В настоящее время теоретически и экспериментально обоснована возможность проведения термитной сварки коротких рельсов при отрицательных температурах с получением соединения, не имеющего дефектов. Реализовать применение термитной сварки рельсовых плетей при температурах до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с восстановлением температурного режима становится возможным благодаря предлагаемому в работе новому способу, заключающемуся в совместном использовании нагревательных устройств (по причине ограниченной силы, которую могут создать ГНУ) и приспособления для фиксации концов рельсовых плетей. Предлагаемый способ позволяет упростить

процесс увеличения длины и восстановления рельсовых плетей сваркой, снизив время на производство работ, энергетические и трудовые затраты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложено в методах расчета напряжённо-деформированного состояния бесстыкового пути пользоваться определенными в работе максимальными и минимальными значениями погонных сопротивлений балласта, найденными экспериментами на действующих участках бесстыкового пути с учётом воздействия поездов через коэффициент вязкости балласта, сдвигаемого шпалами вдоль и поперёк оси пути.
2. С помощью методики сравнительных испытаний, по которой одновременно на одном и том же участке пути определялись сопротивления двух попеременно пригружаемых железобетонных шпал экспериментами было установлено, что увеличение их массы на 100 кг при учёте воздействия поездов не повышает сопротивление их сдвигу в щебёночном балласте.
3. Разработан и предложен способ термитной сварки рельсовых плетей при температурах рельсов ниже температуры их закрепления, позволяющий восстанавливать установленный температурный режим работы бесстыкового пути.
4. В пределах установленных границ температурного интервала закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути и в зависимости от климатических условий предложены меры по обеспечению прочности болтов на концах рельсовых плетей, заключающиеся в том, что на концевых участках рельсовых плетей, имеющих длину равную протяжённости перегона, производится сезонное перезакрепление их концевых участков.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме диссертационной работы:

1. Дальнейшее изучение с накоплением статистических данных влияния различных факторов на погонные сопротивления горизонтальному перемещению железобетонных шпал в балласте по разработанной методике, учитывающей воздействие поездов, позволит ещё больше уточнить результаты расчётов по определению фактического напряжённо-деформированного состояния бесстыкового пути.
2. Необходима дальнейшая детальная разработка способов и приспособлений для сварки рельсовых плетей при температурах ниже их закрепления с обеспечением установленного температурного режима их эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень периодических изданий ВАК РФ:

1. **Новакович, В. И.** Влияет ли масса шпалы на сопротивление сдвигу в балласте? / В.И. Новакович, Е.В. Мироненко, Н.С. Хадукаев // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 34-36.
2. **Мироненко, Е. В.** Проблемы обеспечения необходимого температурного режима работы сверхдлинных рельсовых плетей бесстыкового пути / Е.В. Мироненко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3. – С. 139-144.
3. О проблемах бесстыкового пути при температурах рельсовых плетей ниже температуры их закрепления / Е.В. Мироненко, В.Н. Залавский, Н.-А.С. Хадукаев [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 11. – С. 27-28.
4. **Новакович, В. И.** О новом способе сварки рельсовых плетей с обеспечением установленного температурного режима их работы / В.И. Новакович, Е.В. Мироненко, А.Н. Опацких // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4. – С. 132-137.
5. **Мироненко, Е. В.** Продольные силы и перемещения рельсовых плетей при низких температурах / Е.В. Мироненко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3. – С. 151-156.
6. Об обосновании установленного температурного режима бесстыкового пути / В.И. Новакович, Г.В. Карпачевский, Н.И. Залавский [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 38-40.

Публикации в других изданиях:

1. **Мироненко, Е. В.** Перспективы применения полимерных шпал на железнодорожном транспорте. / Е.В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 90-93.
2. **Залавский, В. Н.** Область применения статических сопротивлений сдвигу щебня шпалами вдоль оси пути / В.Н. Залавский, А.С. Хадукаев, Н.-А.С. Хадукаев, Е.В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 20-24.
3. **Мироненко, Е. В.** Проблемы конструкции верхнего строения пути. / Е.В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 57-62.
4. **Мироненко, Е. В.** Пути повышения стабильности подрельсового основания железнодорожного пути. / Е.В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 45-50.
5. **Мироненко, Е. В.** Способы определения сопротивления балласта сдвигу шпалами / Е.В. Мироненко // Сб. трудов «Транспорт-2018». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2018. – С. 298-302.
6. О необходимости модернизации верхнего строения железнодорожного пути / В.И. Новакович, Г.В. Карпачевский, Н.И. Залавский, Е.В. Мироненко [и др.] // Сб. трудов «Транспорт и логистика: инновационная

- инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2018. – С. 200-205.
7. **Мироненко, Е. В.** Устройства для определения сопротивления шпал продольным и поперечным перемещениям пути / Е.В. Мироненко, Д.В. Шехов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 3. – С. 45-49.
 8. **Мироненко, Е. В.** Факторы, влияющие на сопротивление балласта сдвигу шпалами / Е.В. Мироненко // Сб. трудов «Транспорт-2019». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2019. – С. 124-127.
 9. Погонные сопротивления продольным перемещениям в бесстыковом пути / Е.В. Мироненко, В.Н. Залавский, Н.-А.С. Хадукаев [и др.] // Сб. трудов «Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2019. – С. 146-149.
 10. Бесстыковой путь при температурах рельсов ниже температуры закрепления плетей / Е.В. Мироненко, В.Н. Залавский, Н.-А.С. Хадукаев [и др.] // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3. – С. 25-29.
 11. Проблемы работы бесстыкового пути при температурах рельсов ниже температуры закрепления плетей / Е.В. Мироненко, В.Н. Залавский, Н.-А.С. Хадукаев [и др.] // Сб. трудов «Транспорт-2020». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2020. – С. 314-317.
 12. **Мироненко, Е. В.** Оптимизация формы композитных шпал / Е.В. Мироненко, Н.Н. Глубоков // Сб. трудов «Транспорт-2020». Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2020. – С. 310-313.
 13. **Мироненко, Е. В.** Способы восстановления и удлинения рельсовых плетей сваркой с обеспечением установленного температурного режима работы / Е.В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3. – С. 30-34.

Патенты:

1. **Патент РФ №185684, МПК E01B 3/00.** Композитная брусковая железнодорожная шпала / Е.В. Мироненко – Заявл. 19.12.2017; опубл. 13.12.2018, Бюл. № 35.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве

В работе [1] – подготовка и непосредственное проведение опытов. В работах [3, 4] – идеи технических решений, разработка моделей и алгоритмов реализации. В работах [2, 6, 7, 9, 10, 11] – анализ работ отечественных и зарубежных учёных и обобщение полученных результатов. В работе [12] – разработка конструкции.

Мироненко Евгений Викторович

**РАЗРАБОТКА МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМОГО
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ
СО СВЕРХДЛИННЫМИ РЕЛЬСОВЫМИ ПЛЕТЯМИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 20.09.2022. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,74. Тираж 100 экз. Заказ .

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2, www.rgups.ru