

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи

КАПЛИН Валерий Николаевич

ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ПУТИ В ЗОНЕ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ НА
ОСОБО ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ ЛИНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ
ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДOK

Специальность: 2.9.2. — Железнодорожный путь, изыскание и
проектирование железных дорог

Диссертация

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошерович

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПУТИ.....	21
1.1. Отечественный опыт повышения стабильности пути на железобетонных шпалах в зоне стыков.....	21
1.2. Зарубежный опыт применения подшпальных прокладок и обрезиненных шпал для продления срока службы пути.....	32
Выводы по главе.....	46
2. ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ С УЛОЖЕННЫМИ УПРУГИМИ ПРОКЛАДКАМИ ПОД ПОДОШВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В ЗОНЕ СТЫКОВ.....	47
2.1. Основные положения методики проведения испытаний.....	47
2.2. Характеристики объекта испытаний.....	48
2.3. Верификация расчетной модели осадки пути.....	61
2.4. Технологическое обеспечение разработанных предложений по выправке пути.....	66
Выводы по главе.....	68
3. РАССЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УПРУГИХ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	69
3.1. Основные положения исследований.....	69
3.2. Расчет характеристик материалов для подшпальных прокладок.....	72
3.3. Описание расчета сил, действующих на путь, в программном комплексе «Универсальный механизм».....	75

3.4. Экспериментальная оценка взаимодействия пути и подвижного состава в стыковой зоне.....	81
Выводы по главе.....	96
4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК ПРИ ВЫПРАВКЕ ПУТИ В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ.....	97
Выводы по главе.....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	121

ВВЕДЕНИЕ

Основным техническим средством перевозки массовых грузов на большие расстояния в настоящее время и на перспективу является железнодорожный транспорт. Обеспечение устойчивого роста объемов перевозок требует поддержания длительной стабильности характеристик пути во времени с концентрацией внимания на профилактике возникновения расстройств. Проводимые в настоящее время структурные преобразования железнодорожного транспорта коренным образом меняют механизмы и процессы организации работы.

В «Белой книге», описывающей стратегию научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года, где определены основные направления научных исследований в области железнодорожного транспорта [1], указано:

Развитие тяжеловесного движения является важнейшим фактором повышения пропускной и провозной способности как железнодорожной сети в целом, так и её отдельных направлений. Наряду с «классической» задачей обеспечения технологии тяжеловесного движения сопряжением параметров инфраструктуры железнодорожного пути с требуемой величиной грузоперевозок на конкретном направлении, встают вопросы поддержания безопасного технического состояния элементов инфраструктуры и подвижного состава, вовлечённых в этот технологический процесс.

Учитывая сложность взаимозависимого поведения объектов различных элементов транспортного комплекса, приоритетными задачами являются:

- внедрение инновационных средств испытаний и новых элементов инфраструктуры;
- внедрение малообслуживаемых технических средств и конструкций;
- внедрение инновационных материалов;

- имитационное моделирование и экспериментальные исследования по взаимодействию элементов конструкций в сложных технических системах подвижного состава и инфраструктуры, а также взаимодействию железнодорожного пути и подвижного состава при увеличении осевых нагрузок и скоростей движения;
- упреждающие исследования по управлению взаимодействием «подвижной состав – инфраструктура железнодорожного пути» в рамках комплексных подходов к развитию тяжеловесного движения.

Для решения поставленных перед компанией ОАО «РЖД» задач необходимо формирование специализированных линий для перевозки массовых грузов тяжеловесными поездами с использованием подвижного состава с высокими осевыми и погонными нагрузками.

Организация технического обслуживания пути на таких полигонах требует применения технологий оперативного устранения возникающих расстройств пути с минимальными потерями для перевозочного процесса с одной стороны и с обеспечением длительной стабильности железнодорожного пути с другой. Прогнозируемый рост перевозок требует развития, как технических конструкций железнодорожного пути, так и технологий снижения шума и вибрации генерируемых системой подвижной состав – путь. Одним из путей решения этой проблемы в ближайшие годы станет выполнение высоких требований предъявляемых по всем компонентам пути в связи с ростом интенсивности движения. Наряду с этим, ужесточаются требования, предъявляемые к динамике хода поездов особенно при тяжеловесном и скоростном движении, а также в связи с приближением железной дороги к зонам городской жилой застройки.

Для обеспечения длительных сроков службы железнодорожного пути необходимо внедрение новейших научных разработок как по конструкции пути в целом, так и для отдельных элементов:

- безбалластных конструкций пути;
- новых типов железобетонных шпал;

- железнодорожных шпал из композитных материалов;
- новых видов рельсовых креплений.

Многие научно-конструкторские решения уже внедряются, но еще достаточно проблем, связанных с необходимостью изменения технологии производства ремонтов, разработкой новой концепции технического обслуживания бесстыкового пути на грузонапряженных линиях.

Конструкция бесстыкового пути в России впервые была предложена инженером И.Ф. Стецевичем в конце XIX века, но первые сварные плети длиной 400 м были уложены в районе станции Подмосковная только в 1934 году. Этот участок стал первым опытным полигоном для исследования особенностей такой конструкции пути с целью дальнейшего внедрения бесстыкового пути на железных дорогах России.

Проведенные научные исследования в этой области позволили разработать эксплуатируемую в настоящее время температурно-напряженную конструкцию бесстыкового пути. Большой вклад в проведение научных исследований внес д.т.н. М.С. Боченков.

С началом массового производства железобетонных шпал в 1960 годах объемы укладки бесстыкового пути на сети железных дорог России стали увеличиваться.

За прошедший период функционирования конструкция бесстыкового пути подтвердила свою надежность в самых сложных условиях эксплуатации: как на грузовых угольных маршрутах с грузонапряженностью до 180 млн т км/брутто в год с движением тяжеловесных составов, состоящих из вагонов с осевыми нагрузками 25 тс, так и на линиях скоростного пассажирского движения со скоростями до 160 км/час. Бесстыковой путь эксплуатируется в сложных рельефных условиях при переломах профиля, при больших значениях руководящих уклонов, в криволинейных участках пути.

Разработанная конструкция бесстыкового пути сварными рельсовыми плетями позволяет компенсировать действия температурных сил

возникающих при максимальных колебаниях температуры и обеспечивает сопротивление продольному сдвигу по всей длине [6, 7, 22].

В настоящее время к классификации бесстыкового относятся участки пути с сварными плетями длиной 500-800 метров, между которыми уложены 2-4 уравнильных рельса длиной 12,5 метров. Чаще всего бесстыковой путь представляет собой чередование сварных плетей и коротких участков звеньевого пути [2].

Для надёжного соединения плетей и рельсов уравнильных пролётов используется единственная конструкция: двухголовые накладки распирающего типа. Они входят в пазуху рельса, позволяя подтягиванием стыковых болтов выбирать зазоры между накладкой и рельсом, обеспечивая необходимую плотность, заклинивания накладки в пазухе рельса, что значительно уменьшает силу, направленную на отрыв головки от шейки рельса при проходе колёс подвижного состава [5].

Преимущества бесстыкового пути заключаются прежде всего в экономии трудовых затрат на содержание железнодорожного пути и в продлении сроков службы всех элементов верхнего строения пути. Сокращение количества стыков при улучшении текущего содержания пути позволяют снизить уровень дополнительных динамических воздействий, уменьшить силы сопротивления движения поездов и сократить расходы на ремонт пути и подвижного состава. При этом улучшается токопроводимость, более надёжно работают электрические рельсовые цепи, уменьшаются шум и загрязнение окружающей среды пылящими грузами.

Важнейшими задачами по обеспечению длительной стабильности пути являются увеличение длин бесстыковых плетей до длины перегона, внедрение тональной автоблокировки, совершенствование конструкций железнодорожного пути и системы ведения путевого хозяйства [3].

Для решения этих задач необходимо обеспечить длительную и стабильную работу стыковой зоны.

Проведённые исследования показали, что конструкция рельсового стыка должна отвечать трем основным требованиям:

- воспринимать изгибающий момент и поперечную силу в зоне рельсового стыка;
- допускать продольные перемещения концов рельсов в стыке при изменении длины рельсов вследствие колебаний их температуры;
- обеспечивать возможность изготовления деталей стыка одним из способов массового производства.

За прошедший период исследовательских работ не найдено оптимального решения по конструкции стыка, отвечающего всем техническим требованиям.

При стабильном земляном полотне, подшпальном балластном основании, технически исправном верхнем строении пути упругий прогиб должен быть сопоставим по всей длине рельса, при постоянно действующей силе от колесной пары.

Выполненные научные исследования позволили обозначить две основные группы проблем в зоне стыков при динамическом воздействии [42, 69].

К первой группе можно отнести особенности конструкции рельсовой плети, связанные с невозможностью обеспечить непрерывность.

Ко второй группе – причины, вызванные накоплением остаточных осадок балластной призмы и появлением неровностей на поверхности катания рельсов, которые вызывают дополнительное воздействие на путь.

К первой группе относятся:

– перелом траектории качения колеса по рельсу. Из-за разрыва рельсовой нити, нагрузка от колеса в стыковой зоне воспринимается накладками, момент инерции которых в рельсовом стыке меньше момента инерции рельса вне стыка;

– зазор между торцами стыкуемых рельсов;

– вертикальные ступеньки рельсов в стыках.

Ко второй группе причин относятся плавные неровности на поверхности катания рельсов и по концам их, образующиеся за счёт местного снятия металла, остаточного прогиба концов рельсов, а также неровности, возникающие, вследствие неравномерного накопления остаточных деформаций в балласте [16, 20].

По результатам проведённых исследований, уменьшение стыковых неровностей было достигнуто за счёт применения 6-ти дырных накладок вместо 4-х дырных. Использование 6-ти дырных стыковых накладок в сочетании с высокопрочными болтами и тарельчатыми шайбами позволило частично снизить вертикальные упругие деформации в стыковой зоне. Но проблемы обеспечения длительной стабильности пути сохранились. Ударное взаимодействие колеса и рельса в стыковой зоне, повышенный износ элементов креплений, смятие концов рельсов, износ балластного слоя ведёт к увеличению расходов на текущее содержание пути; необходимости обслуживания многодетальной (накладки, болты, шайбы и т.д.) периодически повторяющейся конструкции стыка – всё это привело к необходимости увеличения протяженности бесстыкового пути, как в Европейской части железных дорог России, так и в районах Сибири и Дальнего Востока.

За последние годы протяжённость участков бесстыкового пути значительно выросла. Активному внедрению конструкций бесстыкового пути предшествовала работа по усилению верхнего строения пути. Этому способствовало внедрение новых конструкций железобетонных шпал с повышенным сопротивлением, сдвигу и использование бесподкладочных креплений с упругими клеммами ЖБР-65, Vossloh, APC-4. Длина бесстыкового пути в 2018 году достигла более 90 тыс.км, что составляет более 70% общей протяженности железных дорог сети [8].

Рост протяженности бесстыкового пути показан на рис. 1, 2.

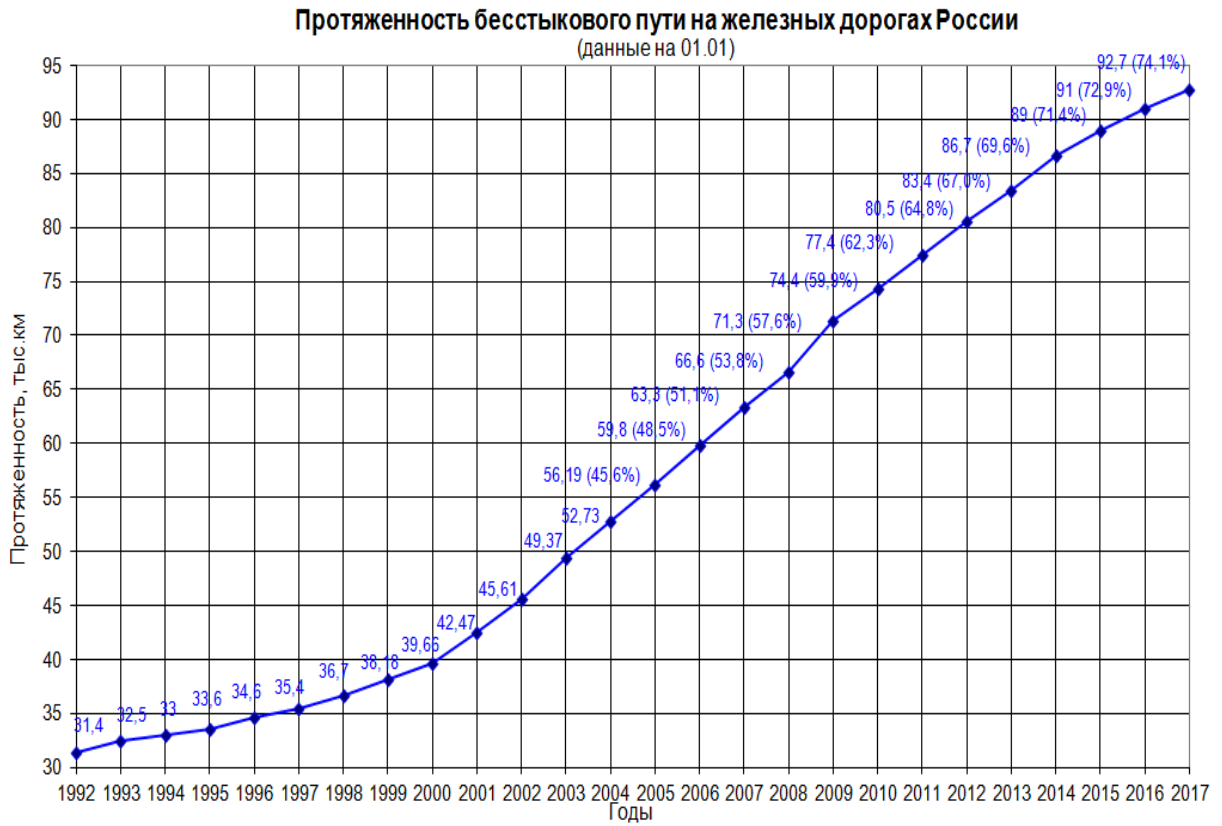


Рисунок 1. Протяженность бесстыкового пути на железных дорогах России
(данные на 01.01.)

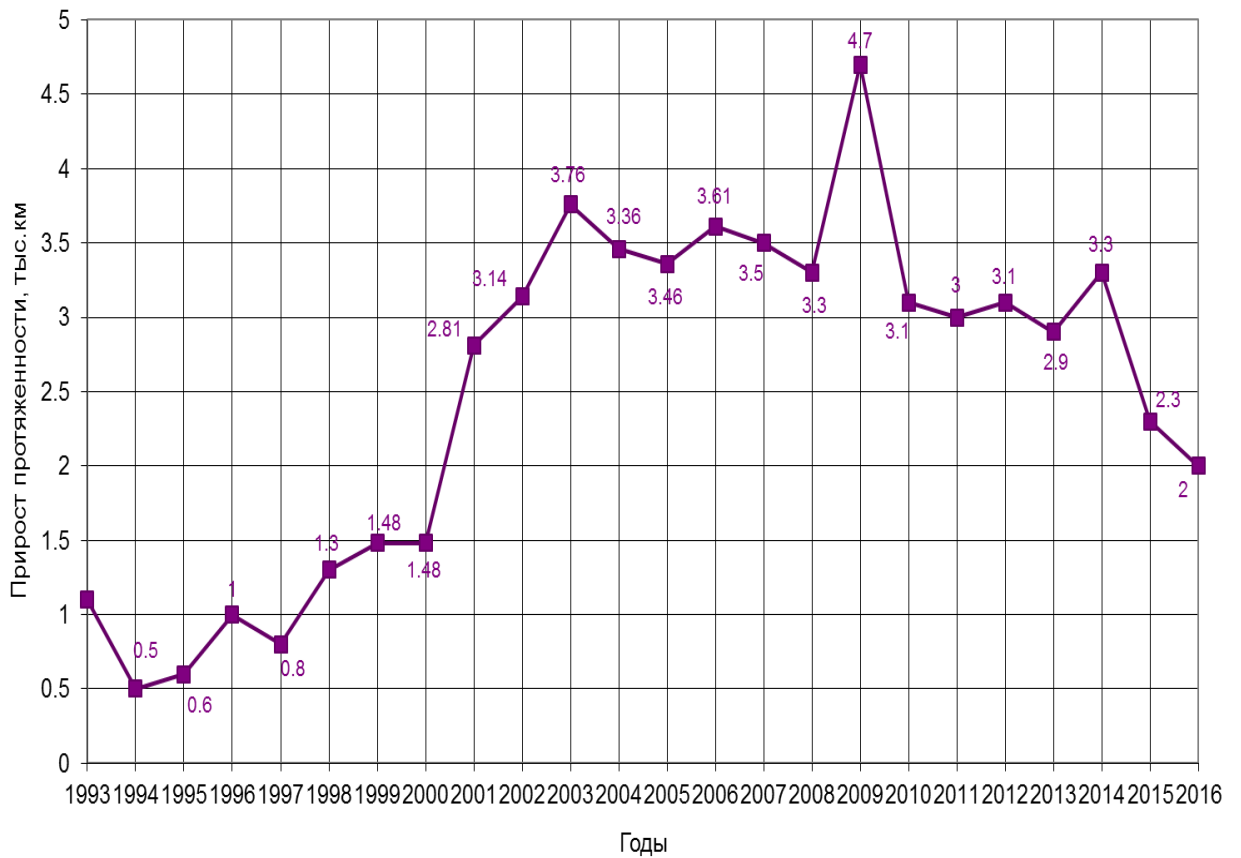


Рисунок 2. Прирост протяженности бесстыкового пути по годам
(данные на 01.01.)

Многолетняя практика эксплуатации бесстыкового пути подтвердила высокую эффективность такого технического решения. С каждым годом протяженность бесстыкового пути увеличивается на железных дорогах Сибири и Дальнего Востока. Общая протяженность бесстыкового пути на этих дорогах более 20 тыс. км, что составляет 60% от общей протяженности. Увеличение длины бесстыкового пути на дорогах Сибири и Дальнего Востока показано на рисунке 3.

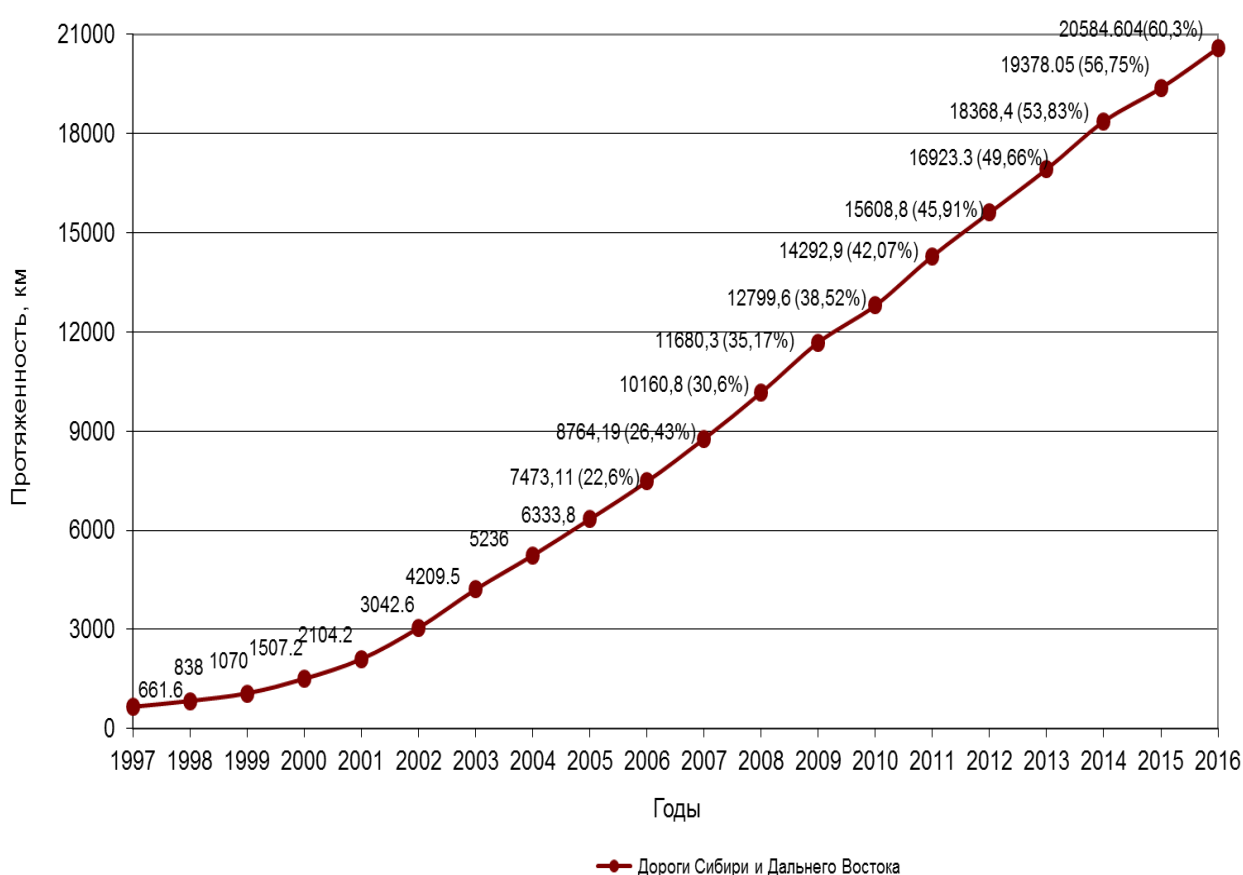


Рисунок 3. Общая протяженность бесстыкового пути на дорогах Сибири и Дальнего Востока (данные приведены на 01.01)

С каждым годом длины плетей продолжают увеличиваться. На отдельных участках эксплуатируются плети протяжённостью в перегон, от выходного до входного светофора соседних станций. Средняя длина плетей

на дорогах сети в 2018 г. составила порядка 1100 м. На рис. 4 приведены средние длины плетей по годам.

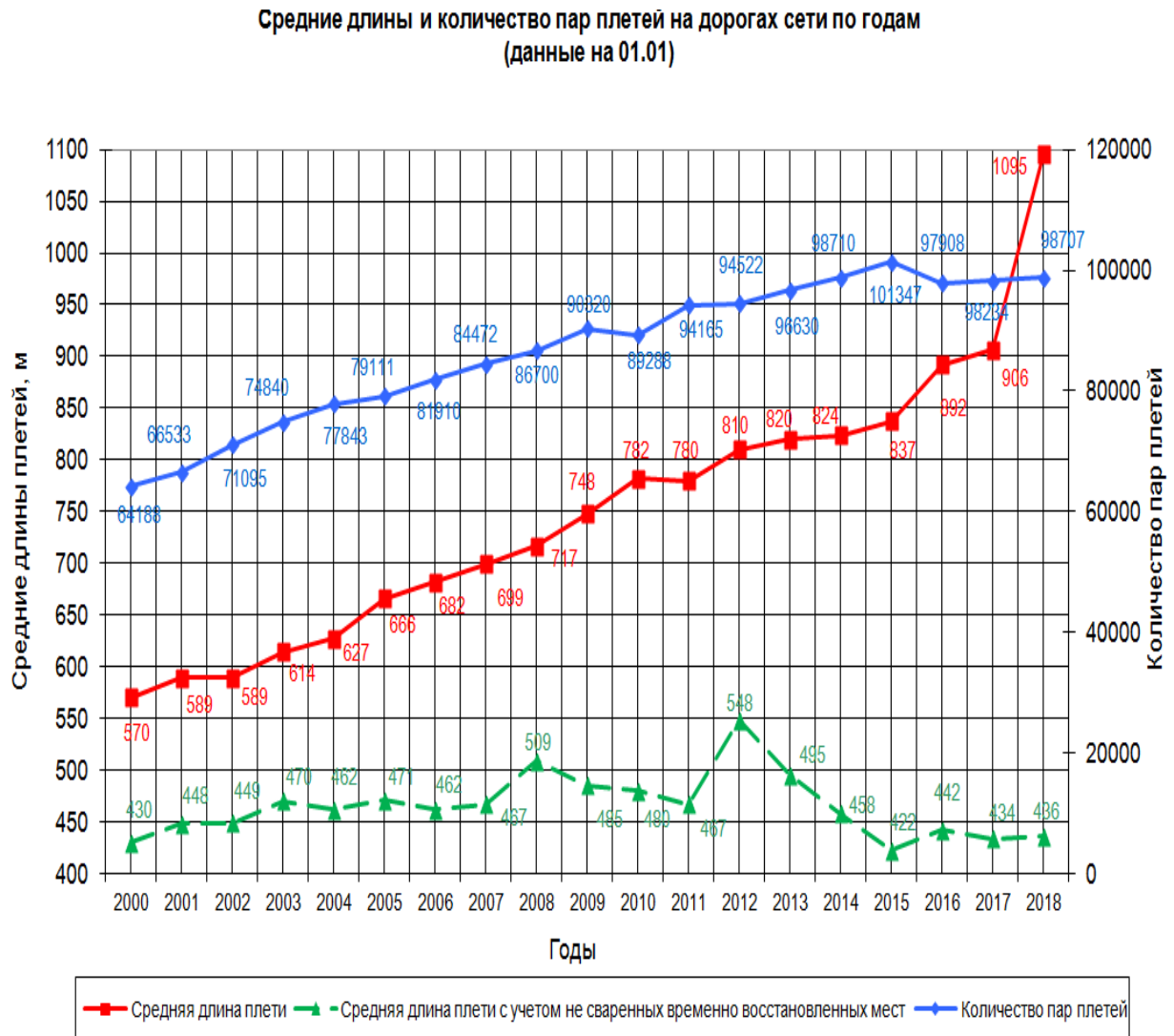


Рисунок 4. Средние длины и количество пар плетей на дорогах сети по годам (данные 01.01.)

В тоже время в пути имеется значительное количество дефектных мест плетей, которые необходимо своевременно ликвидировать. По технологии восстановления целостности бесстыкового пути требуется вырезка, дефектного участка и укладка инвентарного рельса необходимой длины с установкой стыковых накладок[82]. За последние годы с ростом грузонапряжённости количество стыков, образовавшихся после вырезки дефектных участков увеличивается и рельсосварочные комплексы не

успевают своевременно восстанавливать целостность плетей. На рис. 5 приведено изменение числа не восстановленных сваркой участков плетей.

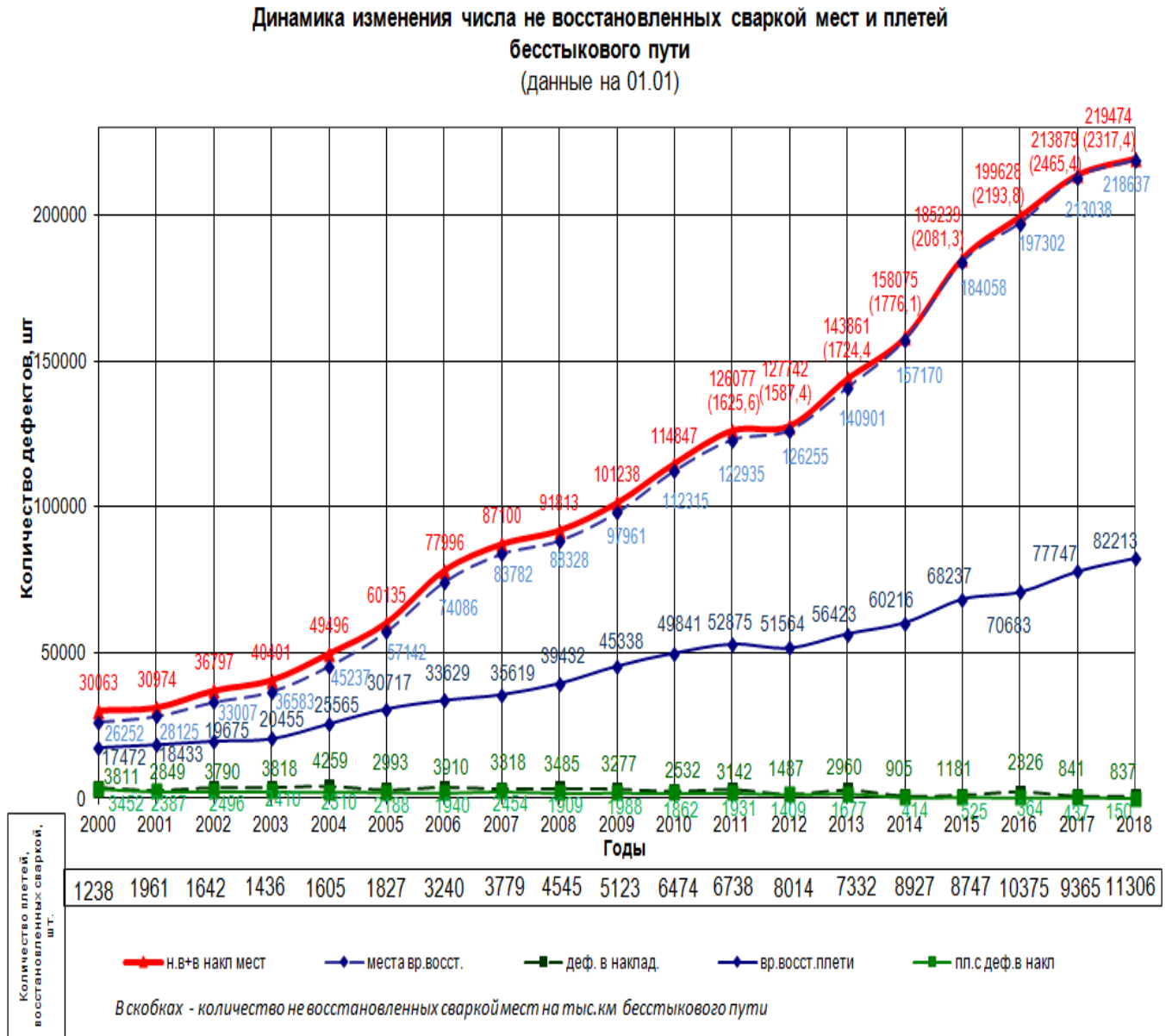


Рисунок 5. Динамика изменения числа не восстановленных сваркой мест и плетей бесстыкового пути (данные на 01.01.)

Увеличение количества не восстановленных рельсосварочными поездами стыков после вырезки дефектных участков пути, приводит к уменьшению протяжённости плетей и увеличению эксплуатационных расходов на текущее содержание. При эксплуатации плетей менее 400 м конструкция бесстыкового пути теряет свою эффективность. За последние годы на сети дорог широко используется способ аллюмотермитной сварки,

что позволило замедлить динамику увеличения количества стыков. В тоже время при использовании такой технологии необходимо проведение дополнительных работ на установку фрезерованных накладок в сварной зоне со сверлением болтовых отверстий [4].

Вместе с тем, несмотря на рост протяженности бесстыкового пути в настоящее время остаются достаточно протяженные участки железнодорожного пути, где невозможно избавиться от стыков (кривые малого радиуса участки между стрелочными переводами на станции и т.д.)

В процессе эксплуатации из-за ударного воздействия колёс подвижного состава, в сварных стыках образуются провисы что требует дополнительной выправки пути.

Из-за жесткости подрельсового основания в зоне стыков и резко повышенного динамического воздействия колес подвижного состава, в этой зоне быстро накапливаются остаточные деформации, что приводит к нарушению стабильности пути [16].

Сопоставление работы конструкции железнодорожного пути в средней части плетей и в уравнильных пролетах показывает, что в стыковой зоне расстройств пути гораздо интенсивнее. Выход элементов пути из строя происходит гораздо чаще.

По статистике одиночный выход рельсов по дефектам в зоне уравнильных пролетов в несколько раз больше, чем на остальной части рельсовой плети. Ослабление креплений, трещины железобетонных шпал и износ балластного слоя также происходит в стыках уравнильных пролетов, что приводит к появлению неисправностей (просадок, переносов) и ухудшает состояние пути.

Проведенные осмотры состояния железобетонных шпал, изъятых после демонтажа, выявили, что происходит точечный контакт нижней поверхности шпалы с гранулами щебня в локальных зонах подошвы [18]. В контактной зоне щебень истирается, и в зоне стыков это происходит быстрее,

что соответствует износу щебеночного слоя и уменьшению срока эксплуатации балластной призмы [73, 80].

Использование комплекса современных высокопроизводительных путевых машин при текущем содержании пути позволяет обеспечить высокое качество выполняемых работ, но это приводит к нарушению слежавшейся постели шпал в стыковой зоне и через определенные промежутки времени (в зависимости от пропущенного тоннажа) появляются отступления II, III степени, устранение которых требует дополнительных трудозатрат. При устранении небольших (10-12 мм) просадок в стыках механизированным способом, сжатие подбивочных бойков выправочных машин нарушает слежавшуюся балластную «постель» шпал. При этом частицы щебня поднимаются вертикально (с опорой на короткую сторону балластной гранулы) при заполнении подшпальной полости. Такая выправка предоставляет шпале кратковременную поддержку, или вообще заполняет просадочное пространство по краям, образуя так называемую кромочную выправку [63].

Кроме того, использование современных выправочных комплексов эффективно только при работе на широких фронтах в «окна» достаточной продолжительности, что возможно только при производстве ремонтных работ. Выправка пути вручную или даже с применением механизированного инструмента, как показывают результаты проведенных исследований, весьма трудоемка и малоэффективна [44].

Таким образом, в настоящее время вопросы обеспечения длительной стабильности пути в стыковой зоне по-прежнему актуальны.

Анализ сложившейся ситуации, показывает, что в настоящий момент целесообразно вернуться к рассмотрению вопроса выправки неровностей пути в продольном профиле, в стыках укладкой упругих элементов непосредственно под подошву железобетонных шпал в стыковой зоне, без нарушения слежавшейся уплотненной постели шпал.

Для решения вопросов повышения стабильности пути в стыковой зоне был проведен анализ работ в этой области отечественных и зарубежных специалистов и организованы исследования по влиянию применения подшпальных прокладок на интенсивность накопления деформаций пути.

Актуальность темы исследований. Теоретически и экспериментально обоснована целесообразность выправки пути в зоне рельсовых стыков укладкой упругих подшпальных прокладок на слежавшуюся постель железобетонных шпал. Эффективность данного технического решения подтверждена эксплуатационными наблюдениями за период пропуска по опытному участку более 800 млн тонн.

Применение упругих подшпальных прокладок в стыках уравнильных пролетов бесстыкового пути позволяет повысить скорость пропуска поездов при возникновении сверхнормативного увеличения зазора в зимнее время в течение суток и в целом увеличить пропускную способность на особогрузонапряженных линиях.

Степень разработанности темы исследования. Решению вопросов повышения стабильности пути на железобетонных шпалах и связанных с этим проблем взаимодействия пути и подвижного состава были посвящены работы известных учёных А.Ю. Абдурашитова, В.Г. Альбрехта, Н.И. Ананьева, И.В. Амеличева, В.Ф. Афанасьева, В.Ф. Барабошина, В.П. Бельтюкова, Л.С. Блажко, Е.М. Бромберга, М.В. Вериги, Ю.Д. Волошко, А.Н. Грановского, В.Н. Данилова, О.П. Ершкова, А.В. Замуховского, А.Ф. Золотарского, В.Б. Каменского, Н.И. Карпущенко, Н.Д. Кравченко, А.Я. Когана, Н.Н. Кудрявцева, В.С. Лысюка, В.И. Новаковича, В.О. Певзнера, В.В. Серебренникова, В.Ф. Федулова, М.А. Фришмана, Г.М. Шахунянца, В.Я. Шульги, К.Н. Щепотина и других.

Целью диссертационной работы является определение эффективности применения различных видов подшпальных прокладок, укладываемых под подошву шпал при выправке просадок в стыковой зоне в рамках текущего содержания, на основании анализа результатов измерений

накопленных деформаций пути с учётом характеристик трудозатрат и показателей стабильности пути.

Задачи исследования:

1. выполнены теоретические и экспериментальные исследования для решения проблем эксплуатации стыков пути на железобетонных шпалах;
2. разработаны и апробированы технические решения по повышению стабильности пути в зоне стыков.

Объектом исследования является железнодорожный путь в зоне рельсовых стыков.

Предметом исследования является применение подшпальных прокладок в процессе обслуживания железнодорожного пути в стыковой зоне для повышения его стабильности.

Научная новизна исследования заключается:

1. в проведенных исследованиях, доказавших возможность применения упругих подшпальных прокладок для выправки просадок в стыках при текущем содержании пути на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований и эксплуатационных наблюдений, показавших, что применение подшпальных прокладок при текущем содержании пути при пропуске по стыкам до 800 млн. тонн брутто и более не требует промежуточных выправок пути;

2. в проведении исследований, показавших, что применение при текущем содержании пути упругих подшпальных прокладок для выправки стыков, позволяет снизить уровень вертикальных сил действующих на путь в стыковой зоне от 22 % в зависимости от жёсткости прокладок и ускорений на стыковых шпалах до 64 %;

3. в получении зависимости остаточных осадок пути от пропущенного тоннажа в зоне рельсовых стыков с уложенными подшпальными прокладками.

Теоретическая значимость работы определяется расчетно-экспериментальным обоснованием целесообразности применения упругих подшпальных прокладок в стыковой зоне на железобетонных шпалах.

Практическая значимость работы:

1. Предложены решения по снижению деформаций в стыковой зоне пути на железобетонных шпалах, за счёт укладки упругих прокладок под подошву шпал при выправке просадок до 14 мм при текущем содержании пути.

2. Обоснована возможность применения упругих подшпальных прокладок в стыках на железобетонных шпалах для повышения скорости пропуска поездов по зазору в стыке до 32 мм с 25 км/ч до 40 км/ч.

3. Разработан график распределения работ при выправке просадок в стыках на железобетонных шпалах с укладкой упругих прокладок.

4. Подтверждена возможность применения упругих подшпальных прокладок для устройства переходных по жесткости участков от безбалластного пути к типовой конструкции.

5. Утверждена временная инструкция по применению прокладок подшпальных при текущем содержании пути.

Методология и методы исследования. Для решения сформулированных задач использованы современные методы научного исследования. Теоретические исследования проведены с использованием аналитических и численных методов, а также с применением моделирования. Экспериментальные исследования проведены на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование возможности применения подшпальных прокладок различной жесткости в зоне стыка на железобетонных шпалах при текущем содержании пути, с учётом анализа отечественного и зарубежного опыта и на основе экспериментальных и расчетных данных по изменению осадок пути и

их интенсивности от пропущенного тоннажа, а также по уровню вертикальных сил и ускорений на шпалах.

2. Результаты экспериментальных исследований по выбору характеристик упругих подшпальных прокладок для применения при текущем содержании пути на основе эксплуатации в условиях Экспериментального кольца, позволяющих отследить процесс накопления остаточных осадок.

3. Обоснование возможности повышения скорости пропуска поездов по зазору в стыке до 32 мм при применении упругих подшпальных прокладок в стыках на железобетонных шпалах.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования подтверждается сходимостью результатов математического моделирования с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований и полигонных испытаний. Полученные результаты согласуются с результатами исследований, полученных ранее другими специалистами.

Материалы, составляющие диссертационную работу, доложены и одобрены на XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования строительства и эксплуатации» МГУПС (МИИТ), г. Москва, 2015 г., на XVIII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования строительства и эксплуатации» РУТ (МИИТ), г. Москва, 2021 г.

Внедрение результатов исследований. Утверждена «Временная инструкция по применению прокладок подшпальных при текущем содержании пути» распоряжением главного инженера Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» М.М. Старовойтова от 30.07.2020 № ПКБ И-66.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано шесть печатных работ, из них пять – в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объём работы. Работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы и приложения. Общий объём составляет 116 страниц, содержит 32 таблицы и 32 рисунка. Список литературы состоит из 84 наименований.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПУТИ.

1.1. Отечественный опыт повышения стабильности пути на железобетонных шпалах в зоне стыков.

Вопросы выправки пути в стыковой зоне, особенно в стыках на железобетонных шпалах, постоянно находились в зоне внимания отечественных специалистов в области путевого хозяйства. Проблема особенно обострилась с появлением особогрузонапряженных линий, на которых в год пропускается до 200 млн т груза.

Проблемы обеспечения стабильности пути в стыковой зоне стали возникать, начиная с момента внедрения железобетонных шпал в конструкции железнодорожного пути. Это проблеме были посвящены работы известных учёных, таких как И.В. Амеличев, Н.И. Ананьев, В.Ф. Барабошин, М.В. Вериго, Ю.Д. Волошко, В.Н. Данилов, О.П. Ершков, А.Ф. Золотарский, В.С. Лысюк, В.И. Новакович, В.В. Серебренников, В.Ф. Федулов, М.А. Фришман, Г.М. Шахунянц, В.Я. Шульга, К.Н. Щепотин и многих других.

Эксплуатации конструкции пути с железобетонными шпалами осложняется наличием повышенной жёсткости подрельсового основания. Повышенная жесткость ведет к росту динамического воздействия подвижного состава на путь. И особенно это характерно для зоны стыков, в которой имеет место неравномерность и повышенная интенсивность накопления остаточных осадок [9, 11, 19, 20, 25, 31, 32, 40, 74, 78].

Исследования комплексных проблем снижения уровня жесткости пути при движении поездов с точки зрения воздействия конструкции пути на подвижной состав нашли отражение в научных трудах А.Ю. Абдурашитова, С.В. Амелина, Н.И. Карпущенко, Н.Н. Кудрявцева, В.Ф. Яковлева, и других. Вышеперечисленными авторами были решены многие проблемы улучшения

работы пути в стыковой зоне. В связи с увеличением грузонапряженности на сети железных дорог конструкция звеньевых пути на железобетонных шпалах уже не могла обеспечить соответствие требованиям безопасности движения, и было принято решение об использовании бесстыкового пути. Подобные вопросы нашли отражение в работах В.Г. Альбрехта, В.П. Бельтюкова, Е.М. Бромберга, М.Ф. Вериги, Н.Б. Зверева, А.Я. Когана, В.И. Новаковича, В.О. Певзнера, и других.

Одним из основных направлений по улучшению работы стыка на железобетонных шпалах, является снижение жёсткости подрельсового основания. В работах В.Ф. Афанасьева, В.П. Гнатенко, А.Н. Грановского Б.А. Евдокимова, А.В. Замуховского, В.Б. Каменского, Н.Д. Кравченко, В.В. Купцова, Н.В. Петрова, и других были поставлены и решены такие задачи, как совершенствование конструкции подрельсового основания, в том числе применение в конструкции промежуточных рельсовых скреплений упругих элементов [24, 28, 30, 39].

Проведённые исследования показали, что стабильность железнодорожного пути в стыковой зоне в значительной мере определяется интенсивностью накопления остаточных деформаций в балластном слое и земляном полотне. Образование неравномерных остаточных вертикальных деформаций ведёт к появлению расстройств пути.

Одним из предложенных способов улучшения стабильности пути на железобетонных шпалах является использование в конструкции скреплений прокладок пониженной жёсткости. При укладке прокладок между рельсом и основанием снижается жёсткость пути, при этом уменьшаются величины сил, возникающих при взаимодействии колеса и рельса. Проведённые исследования по изучению влияния вертикальной жёсткости узла промежуточного рельсового скрепления на силы воздействия колеса на рельс, показали, что при уменьшении жёсткости скрепления снижаются величины дополнительных сил, возникающих при появлении неровностей на поверхности катания рельсов [23, 24].

В следствии уменьшения модуля упругости пути при укладке прокладок меньшей жёсткости улучшается распределяющая функция рельсов, нагрузки от колёс подвижного состава распределяются на большее количество шпал за счёт этого уменьшается нагрузка на шпалы и балластный слой.

Проведённые лабораторией прочности пути ЦНИИ МПС в 60-х на Экспериментальном кольце исследования интенсивности накопления остаточных деформаций пути в стыковой зоне при различной жёсткости промежуточных рельсовых скреплений показали эффективность применения прокладок пониженной жёсткости, для повышения стабильности пути в стыковой зоне уравнительных пролётов бесстыкового пути, но такие прокладки не эффективны при увеличении осевых нагрузок и тяжеловесном движении.

Поиски решений по обеспечению длительной стабильности пути в зоне уравнительных пролётов бесстыкового пути продолжались и в 70-х годах. Одним из таких решений стало использование для этих целей крупноблочных железобетонных конструкций подрельсового основания в виде малогабаритных рам [26].

Для проведения эксплуатационных испытаний были выбраны две конструкции рам. На Юго-Западной дороге были проведены испытания конструкции рамы имеющей расход бетона $0,32 \text{ м}^3$ на 1 пог. метр (МГР-1). На Экспериментальном кольце ЦНИИ МПС, а потом на Белорусской дороге были проведены испытания более лёгкой конструкции рамы с расходом бетона $0,24 \text{ м}^3$ на 1 пог метр пути (МГР-2). Конструкции рам различались весом и шириной лежневых частей, которая у рам МГР-1 75 см, а у МГР2 – 60 см.

На Юго-Западной дороге испытания проводились в тяжёлых эксплуатационных условиях на сильно засоряемом участке, служащем для перевозки руды. Эксплуатационные испытания показали более высокую стабильное состояние опытного участка по сравнению с участками типовой

конструкции с железобетонными шпалами. После пропуска 350 млн т брутто отмечено стабильное состояние пути и работы по выправке пути в уравнильных пролётах проводились в небольших объёмах. На примыкающих участках пути с типовыми конструкциями на железобетонных шпалах в следствие неравномерных деформаций объём работ по выправке пути был в несколько раз больше.

Результаты проведённых на Белорусской железной дороге испытаний малогабаритных рам МГР-2 также показали более медленное накопление деформаций пути по сравнению с участками на железобетонных шпалах. Средние величины остаточных деформаций пути на опытном участке оказались примерно 2,5-3 раза меньше чем на участке с типовой конструкцией пути [26].

Исследования в области снижения жесткости пути в зоне стыков на железобетонных шпалах продолжались. Учёными было выдвинута гипотеза, что одним из возможных способов повышения стабильности пути в стыках уравнильных пролётов является повышение «податливости» на поверхности контакта нижней постели железобетонных шпал с балластом.

Особенностью трансформации ударных ускорений в пути с железобетонными шпалами являются повышенная чувствительность балласта к вибрациям шпалы. Это происходит потому, что железобетонное подрельсовое основание обладает сниженной упругостью и не позволяет обеспечить упругую связь между рельсом и балластом, следовательно, по нижней постели железобетонной шпалы целесообразно ввести элемент, который обеспечивал бы условия контакта с необходимой «податливостью» [11, 17].

Способ выправки пути с помощью укладки специальных прокладок между подошвой шпалы и постелью балластной призмы, впервые был предложен Ф.Д. Барыкиным. Опытные работы по выправке неровностей пути способом укладки подкладок под подошву шпал, были проведены в 1954г. под руководством А.К. Шафранского [14]. В качестве материала

использовалась обычная фанера. В течении года после выправки состояние пути оставалось стабильным. Впоследствии фанерные прокладки разрушилась и в пути стали образовываться профильные неровности.

В 1955 году специалистами Московско-Смоленской дистанции пути при проведении работ по выправке вертикальных неровностей были успешно применены твёрдые подкладки изготовленные из плоского шифера, которые были уложены под подошву шпал в подрельсовой зоне [15].

В 1958 году на Пушкинской дистанции пути при выправке просадок в стыковой зоне в качестве подшпальных прокладок были использованы пластины фанеры с креозотом. Состояние опытного участка оставалось стабильным большой промежуток времени, по сравнению с путем, выправленным подбивкой шпал.

В 1957 году на Александровской дистанции пути Московской железной дороги был применён комбинированный способ выправки пути укладкой прокладок. На участке со струнобетонными шпалами С-55 со скреплением К-4 в течении первого года после укладки выправка производилась при использовании карточек-амортизаторов укладываемых между рельсами подкладкой. После пропуска по участку 26 млн т груза, толщина уложенных карточек достигла 12-16 мм и под подошву шпал были уложены подкладки из плоского шифера размером 20/30/0,6 по две подкладки под каждую шпалу.

После проведения работ в течении трёх лет выправки пути на этом участке не производилось, состояние пути оставалось стабильным. Трудозатраты на проведение выправочных работ сократились примерно в 2 раза. Полученные результаты показали, что комбинированный способ выправки пути прокладками и карточками эффективен, на участках с железобетонными шпалами, так как не нарушается слежавшаяся балластная «постель» шпал.

Ещё одним способом выправки пути без нарушения слежавшегося слоя щебня под подошвой шпал, является «суфляж» (подсыпка). Его сущность

заключается в добавлении дозированной порции щебня мелких фракций под подошву шпал с помощью специального инструмента.

К достоинствам указанного метода выправки пути можно отнести следующее:

- не нарушается уплотнённое подшпальное основание;
- не происходит дробления балласта;
- обеспечивается подсыпка чистого балласта;
- не разрыхляется балласт в шпальных ящиках, сохраняется сопротивляемость пути уgonу;
- не происходит смешивания загрязнённого балласта с более чистым нижним;
- повышается качество проводимых работ;
- снижаются трудозатраты на проведение работ.

Впервые способ подсыпки был применён в 1936 году на железной дороге имени Ф.Э. Дзержинского. Выправка проводилась на щебёночном балласте и были получены достаточно хорошие результаты. В 1937 году метод «суфляжа» был применён на Октябрьской, Южно-Уральской, Белорусской железных дорогах, и везде были получены хорошие результаты.

В 1939 году способ подсыпки получил одобрение для использования на всех дорогах Советского Союза. В 1940 году была утверждена «Инструкция по выправке толчков, просадок и переносов пути способом подсыпки» (суфляж) ЦП 1252, способ подсыпки стал одним из основных способов выправки пути при текущем содержании.

Большой вклад в исследования способа подсыпки при выправке пути, оказали работы проведённые в ЦНИИ МПС в 50-е годы под руководством А.К.Шафрановского и В.Н.Шемякина [14].

В дальнейшем, несмотря на положительные результаты лабораторных и эксплуатационных исследований и хорошие показатели содержания пути после проведения выправочных работ, способ суфляжа не получил

дальнейшего развития и в 60-е годы работы по изучению и развитию метода подсыпки были прекращены.

В 70-е годы на Экспериментальном кольце ЦНИИ МПС под руководством В.Ф. Барабошина были продолжены исследования по влиянию уложенных при выправке под подошву железобетонных шпал упругих прокладок на стабильность пути. В качестве упругих элементов использовались прокладки из плоской листовой резины толщиной 10, 20 мм и сосновых досок толщиной 30 мм. Ширина прокладок была равна ширине нижней постели шпал.

Характеристика пути рельсы Р65 скрепления КБ балластная призма типовых размеров, щебёночный балласт толщиной 30-40 см из гранита. После пропуска по опытным стыкам 25 млн т. Брутто были проведены измерения жесткости пути на опытных и контрольных стыках на железобетонных и деревянных шпалах (без прокладок) и измерения вибрационных ускорений под поездной нагрузкой.

По результатам исследований было отмечено, что интенсивность накопления осадок во многом зависит от величины давления на шпалу и ускорения, возникающего под шпалой, которые, в свою очередь, определяются процессом вибрационного вдавливания шпал в щебень. Отношение виброускорений нижележащего элемента к вышележащему называется коэффициентом чувствительности системы рельс-шпала-балласт и является важной характеристикой подрельсового основания. [16, 27, 29].

Проведенные исследования показали, что в связи с тем, что вес железобетонной шпалы выше деревянной более, чем в три раза, она оказывает большее силовое воздействие на щебень подбалластного основания.

Результаты измерений показали, что чувствительность балласта к вибрациям ($K_{ш-б}$) для железобетонных шпал значительно выше, чем для деревянных. Результаты измерений приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Коэффициенты чувствительности в зависимости от жесткости подрельсового основания

№ пп	Конструкция стыка	Жёсткость пути т.с.	Коэффициент чувствительности	
			Кр.ш	Кш-б
1.	Типовая на железобетонных шпалах	5,2	0,048	0,31
2.	Тоже, с резиновыми прокладками толщ. 10 мм под шпалой	3,1	0,024	0,07
3.	Тоже, с резиновыми прокладками толщ. 20 мм под шпалой	2,6	0,022	0,08
4.	Тоже, с деревянными прокладками толщиной 10 мм	3,2	0,026	0,20
5.	С деревянными шпалами	3,6	0,023	0,07

Анализ данных показывает, что применение деревянных прокладок позволяет снизить величину коэффициента Кш-б в 1,5 раза – до значения 0,2, по сравнению с типовой конструкцией пути с железобетонными шпалами без прокладок под шпалой [18].

Укладка резиновых прокладок позволяет избежать непосредственного разрушающего воздействия железобетонных шпал на щебень, т.е. измельчение гранул щебня замедляется и существенно повышается его сопротивляемость образованию выплесков. Для этих целей на бесстыковом пути с железобетонными шпалами в стыковых зонах уравнильных пролётов на ряде дорог применялась укладка 4-6 деревянных шпал или конструкция сдвоенных деревянных шпал, скреплённых болтами.

В рамках реализации программы развития путевого хозяйства, учёными ВНИИЖТ в 2000-х годах были продолжены исследования в области повышения стабильности пути, применительно к современным условиям эксплуатации. В 2001 году на Экспериментальном кольце В.В. Кузнецовым были проведены исследования по эффективности использования

виброзащитных шпал [43]. В качестве материала были применены полосы листовой резины толщиной 20 мм, которые были прибиты к подошве железобетонных шпал. На опытном участке было уложено по 6 обрешиненных шпал в стыковую зону. По пути эксплуатировался грузовой состав весом до 8 тыс. тонн. Результаты проведенных исследований показали в целом более стабильное состояние конструкции по сравнению с типовой, с точки зрения состояния пути по шаблону, уровню, и остаточной осадке шпал.

В 2002 году И.В. Шерстянниковой были проведены исследования по определению рациональных сфер применения звеньевоего пути на железобетонных шпалах с улучшенной конструкцией стыковой зоны на основании комплексного исследования работы стыка различного конструктивного оформления [41].

Полигонные испытания проводились на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ. В рамках эксперимента использовались железобетонные шпалы типа Ш1, выпускаемые Горьковским заводом железобетонных конструкций, с предварительно закрепленным упругим элементом на подошве шпалы в подрельсовой зоне. Материалом прокладки послужила резинокордная транспортерная лента. Полосы размером 900×200 мм монтировались в бетон шпалы при изготовлении и закреплялись гвоздями (шпильками). Объектом испытаний являлись пять различных вариантов конструкций стыка на звеньевом пути с железобетонными и деревянными шпалами. По пути эксплуатировался грузовой состав весом 7-8 тыс. тонн с осевой нагрузкой вагонов 270 кН. Ежесуточная наработка тоннажа составляла около 1 млн т брутто.

Проводимые периодически проверки технического состояния и основных геометрических параметров рельсовой колеи опытного участка показали более стабильное состояние пути в стыках с обрешиненными шпалами. Отмечено снижение процента выхода элементов креплений и разрушения щебеночного балласта в стыках опытного участка.

С целью проведения эксплуатационных испытаний разработанной конструкции стыка в условиях действующей линии, на перегоне Селендума-Хужир, Гусиноозёрской дистанции пути Восточно-Сибирской дороги был заложен опытный участок пути с тремя видами конструкции стыка на звеньевом пути: типовая конструкция на железобетонных шпалах, с опытными шпалами с амортизатором на подошве и с деревянными шпалами в зоне стыка [68].

В процессе испытаний периодически производились измерения ширины колеи, стыковых зазоров, накопления остаточных осадок пристыковых шпал. Ревизия стыков с типовыми и опытными железобетонными шпалами проводилась через год после укладки для оценки состояния балласта и выявления повреждений резинового элемента, уложенного под подошву железобетонных шпал.

Результаты эксплуатационных испытаний показали, что применение конструкции стыка с обрешиненными шпалами обеспечивает более длительную стабильность пути по сравнению с типовой конструкцией и препятствует износу щебёночного подшпального основания.

В 2003-2004 годах на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ А.А. Ерёмушкиным были проведены исследования эффективности различных способов выправки пути при повышенных осевых нагрузках до 30 тс и грузонапряжённостью выше 300 млн т на разных видах шпал, с учётом характеристик трудозатрат и показателей состояния пути в условиях эксплуатации тяжеловесного состава весом 8-9 тыс. тонн [44]. В процессе испытаний сравнивались разные способы выправки пути: механизированная выправка с использованием комплекса ВПРС-500, выправка электрошпалоподбойками (ЭШП), выправка методом суфляжа, торцевыми подбойками, укладкой нашпальных амортизаторов (карточек) и укладкой резиновых амортизаторов под подошву железобетонных шпал. Проведённые А.А. Ерёмушкиным исследования показали, что методы выправки, не нарушающие слежавшуюся постель под шпалой, дают

наименьшую интенсивность последующей осадки пути. Полученные данные испытаний показали, что укладка резиновых амортизаторов под подошву шпалы является эффективным способом выправки.

В 2004 – 2005 гг. Г.М. Васильченко были проведены исследования по определению интенсивности развития неисправностей пути после выправки, и определению наиболее эффективных способов выправки пути. Работы проводились на Унечской дистанции пути Московской железной дороги. [45].

В рамках работы на опытном участке рассматривались следующие способы выправки пути в вертикальной плоскости:

- подбивка машинами «Duomatic» и ВПР-1200,
- подбивка шпал электрошпалободбойками,
- подбивка шпал вручную торцевыми подбойками,
- укладка регулировочных прокладок,
- подсыпка щебёночного балласта мелких фракций (суфляж),
- укладка резиновых прокладок – полос под шпалу,
- укладка пучинных карточек

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод, что выправка пути в стыковой зоне с использованием подшпальных упругих элементов позволяет обеспечить стабильное состояние пути более длительный период эксплуатации [45].

Проведённые исследования показали, что введение упругого элемента между нижней постелью шпалы и балластом может значительно снизить уровень ускорений в балластном слое. Установкой подшпальных упругих прокладок можно существенно улучшить виброзащиту балластного слоя в зоне стыка. В условиях эксперимента удалось уменьшить чувствительность балласта к вибрациям рельса примерно в 2 раза. Установка упругих прокладок под шпалу является существенным резервом повышения стабильности работы пути в стыках сравнительных пролётов на железобетонных шпалах.

При проведении экспериментов были получены положительные результаты, эффективности использования этого способа выправки пути. Однако практического применения при организации текущего содержания пути эти разработки не получили.

1.2. Зарубежный опыт применения подшпальных прокладок и обрешеченных шпал для продления срока службы пути

Для обеспечения длительной стабильности пути на участках с высокой грузонапряжённостью в Европейских странах, при выправке пути в зоне стыков эффективно используются упругие подшпальные прокладки. Эластичные прокладки являются инструментом, оказывающим влияние на силы взаимодействия колеса и рельса. Имеющийся опыт зарубежных стран показывает, что на участках пути с уложенными подшпальными прокладками отмечено значительное снижение скорости ухудшения состояния пути, даже на участках с меньшей толщиной балластного слоя, интервал выправки пути увеличивался в два раза [49].

Зарубежные исследования ведутся как по изучению механизма работы пути с обрешеченными шпалами, так и по оптимизации параметров этих конструкций. На рисунке 1.1 приведена схема распределения нагрузки на путь при использовании обрешеченных шпал.

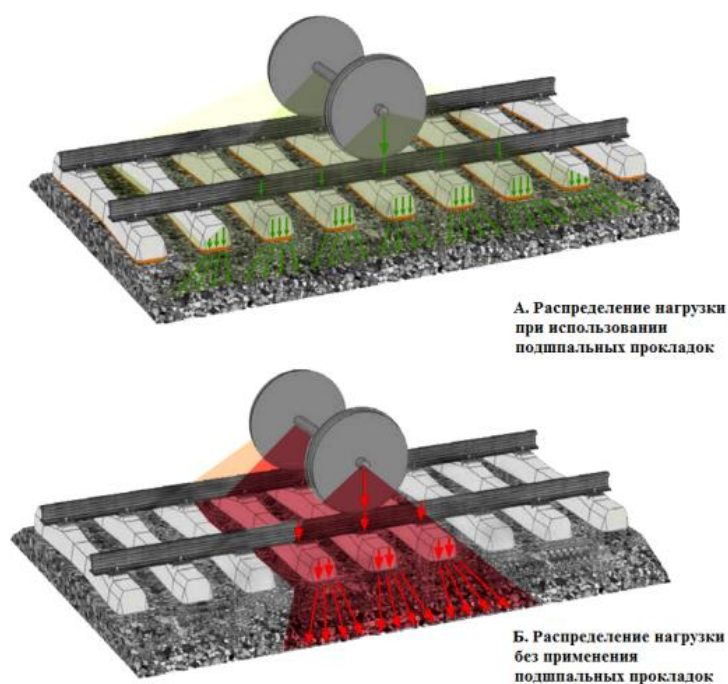


Рисунок 1.1 Распределение нагрузки: А. при использовании подшпальных прокладок, Б. без применения подшпальных прокладок.

Целенаправленная укладка упругих подшпальных прокладок замедляет процесс износа пути благодаря следующим факторам:

1) Распределению осевого давления на большее количество шпал. Упругие свойства подшпальных прокладок удлиняют линию прогиба рельса, а нагрузка от подвижного состава перераспределяется на бóльшую площадь опирания через большее количество принимающих нагрузку шпал. Это уменьшает нагрузку на щебень и приводит к ослаблению динамических сил и вибраций в щебёночном балласте;

2) Увеличению площади контакта между шпалой и щебёночным балластом. Уникальные свойства полиуретанового материала обеспечивает вдавливание щебня в поверхность подшпальной прокладки, этим стабилизируется самый верхний слой щебня;

3) Ослаблению динамических сил и вибраций в щебёночном балласте. Подшпальные прокладки снижают непосредственную динамическую нагрузку на щебень, уменьшают перемещение щебня и осадку рельсового пути.

Пластичность материала, применяемого для производства упругих подшпальных прокладок должна обеспечивать вдавливание частиц балласта. При этом материал упругих прокладок должен обладать достаточной упругостью для обеспечения эффективного распределения нагрузок от подвижного состава и срока службы не ниже срока службы всей конструкции пути.

Выбор материала упругих прокладок в значительной мере зависит от характеристик основания земляного полотна. Поэтому важным фактором влияющим на деформации верхнего строения пути является напряжение на единицу поверхности между шпалой и балластным слоем. В таблице 1.2 приведены коэффициенты балластной постели для оснований с различной несущей способностью. [47]

Таблица 1.2. Коэффициенты балластной постели в зависимости от основания

Основание	Коэффициент балластной постели C [Н/см ³].	
	Щебеночный балластный слой	Гравийный балластный слой
Основание очень плохого качества (болотистый грунт, мелкозернистый песок)	20	20
Основание очень плохого качества (вязкий, от мягкого до твердого грунта) суглинок, глина	50	50
Основание хорошего качества (крупнозернистый песок, гравий)	100	80-100
Основание очень хорошего качества (гравий, скальная порода)	150-200	100-150
Бетонная подошва (тоннели мосты) каменный грунт, горная порода.	250-300	150-200

Для выбора оптимального материала, для изготовления подшпальных прокладок, специалистами Технического университета Мюнхена (TVM) были проведены работы по исследованию контактных напряжений возникающих в течении всего жизненного цикла конструкции, определению характера изменения напряжений в зависимости от пропущенного тоннажа [48]. Возникающие при движении подвижного состава напряжения σ зависят от вертикальной силы в точке опоры (P) и от площади контакта подошвы железобетонной шпалы с балластом (S):

$$\sigma = \frac{P}{S} \text{ Н/мм}^2$$

В процессе исследований определена площадка контакта щебеночного слоя и обрезиненной подошвы шпалы, с учетом характеристик материала покрытия, и сделан расчет вертикальной силы при разной жесткости пути. Результаты измерений были соотнесены с результатами измерений на шпалах типовой конструкции.

Исследования показали, что с ростом циклов нагружения, уменьшается величина прогиба рельса и увеличивается значение вертикальной силы (P) [48].

В то же время зерна щебня под динамической нагрузкой сильнее проникают в обрезиненную нижнюю поверхность шпал, и увеличивается площадь контакта (S). В лаборатории Технического университета Мюнхена на специальном стенде одновременно исследовали две шпалы с подошвами без упругого покрытия (первый цикл испытаний) и две шпалы с покрытием (второй цикл).

Железобетонные шпалы были уложены на балластный слой толщиной 30 см. Вертикальная нагрузка с частотой 3 Гц передавалась на шпалы через прикрепленные к ним рельсы (рисунок 1.2).

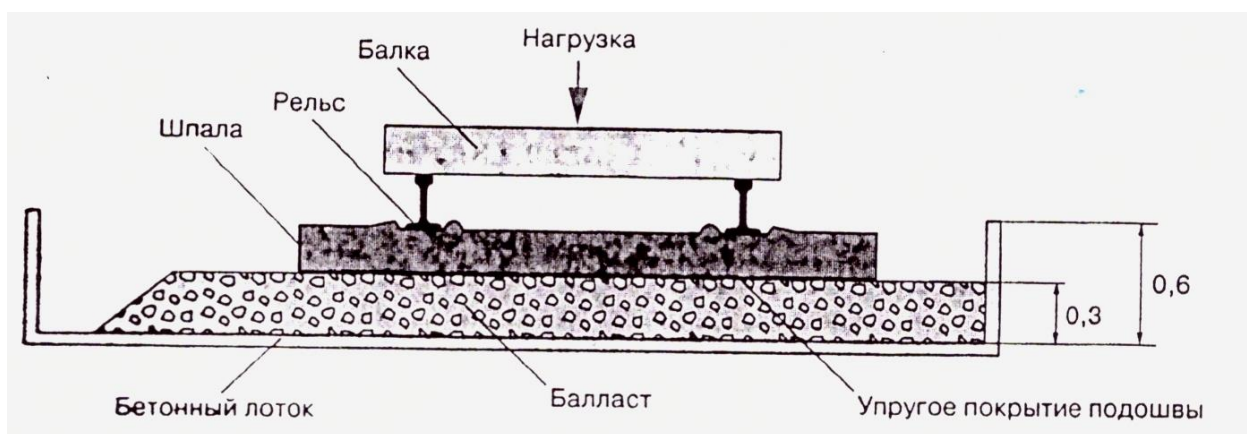


Рисунок 1.2. Схема установки для проведения испытаний.

Проведенные лабораторные исследования показали, что при увеличении циклов нагрузки конструкции, щебеночный слой уплотняется, увеличивается значение модуля упругости, а также увеличивается площадь взаимодействия подбалластного основания со шпалой.

На рисунке 1.3 показана зависимость напряжений от количества нагрузок для шпал с упругим покрытием и типовыми шпалами [48].

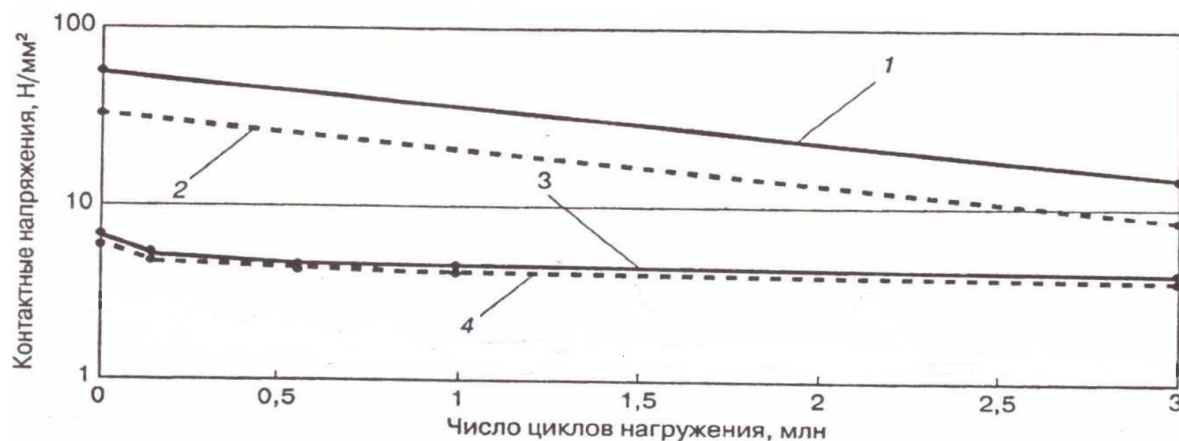


Рисунок 1.3. Зависимость контактных напряжений от числа циклов нагружения, для верхнего строения пути со шпалами без упругого покрытия подошвы 1.2 и шпалами имеющими покрытие 3.4.

Проведённые исследования показывают, что у обрезиненных шпал контактные напряжения значительно меньше по сравнению с напряжениями у шпал типовой конструкции. Применение упругого покрытия шпал в

эксплуатационной деятельности позволяет обеспечить длительную стабильность пути [48].

Опыт европейских стран показывает, что использование шпал с упругим покрытием позволяет решать задачи по обеспечению стабильности положения железнодорожного пути.

Проведённые специалистами Технического университета Мюнхена лабораторные исследования и эксплуатационные испытания на действующей линии, проводимые в целях безопасности движения, показали, что применение в конструкции пути шпал, имеющих упругое покрытие, позволяет обеспечить устойчивость железнодорожного пути в горизонтальной плоскости.

В таблице 1.3 приведены полученные в результате проведенных исследований значения силы поперечного сдвига в зависимости от типа балласта, наличия упругого покрытия на подошве шпалы для стабилизированного верхнего строения пути [50].

Таблица 1.3. Значения сопротивления сдвигу пути на шпалах полученные в лабораторных условиях

Верхнее строение пути		Состояние верхнего строения пути				
Тип щебня / основание пути	Подошва с покрытием и без него	Стабилизированное		Нестабилизированное		Увеличение Q после стабилизации
		Сопротивление сдвигу Q, Н/мм				
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	%
Щебень А / бетон	В 70 без покрытия	6,4	0,4 (6%)	9,3	0,5 (5%)	45
	В 70 с покрытием G04 V05	8,3	0,8 (10%)*	11,2	0,7 (6%)	35
Щебень В / бетон	В 70 без покрытия	8,3	0,6 (7%)	11,3	1,5 (13%)	36
	В 70 без покрытия РМ	9,6	1,0 (10%)*	12,4	0,3 (2%)*	29
	В 70 без покрытия G04 V05	9,2	1,1 (12%)*	13,4	0,8 (6%)*	46

Верхнее строение пути		Состояние верхнего строения пути				
Тип щебня / основание пути	Подошва с покрытием и без него	Стабилизированное		Нестабилизированное		Увеличение Q после стабилизации
		Сопротивление сдвигу Q, Н/мм				
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	%
	В 70 без покрытия G04 V03	9,5	0,8 (8%)	14,2	1,0 (7%)	49

*Число измерений меньше 10 на верхнем строении пути некоторых видов.

Даже в нестабилизированном состоянии верхнего строения пути в случае шпал с упругим покрытием на подошве было зафиксировано более высокое значение сопротивления поперечному сдвигу пути, чем в случае обычных шпал. Измерения показали, что независимо от вида щебня в стабилизированном состоянии сопротивление поперечному сдвигу пути на шпалах с покрытием подошвы типа G04 V05 было на 20 % выше, чем у пути на шпалах без покрытия.

При длительной нагрузке острые грани частиц щебня проникают в упругий слой подошвы шпалы. При этом, с одной стороны, площадь контакта подошвы шпалы и щебня балластной призмы увеличивается, а с другой – шпалы вдавливаются в балластный слой. Оба эффекта приводят к повышению сопротивления поперечному сдвигу пути. Кроме того, было отмечено, что благодаря повышенной упругости подошвы увеличивается амплитуда колебаний шпалы. Это в свою очередь способствует более равномерному распределению частиц щебня и, соответственно, лучшему уплотнению структуры балластного слоя и увеличению сопротивления поперечному сдвигу пути.

Таким образом, применение упругого покрытия для подошвы шпал одновременно оказывает ряд положительных воздействий на величину сопротивления поперечному сдвигу пути. Рисунок 1.4 показывает зависимость между сопротивлением поперечному сдвигу и площадью контакта подошвы шпалы с балластом [49].

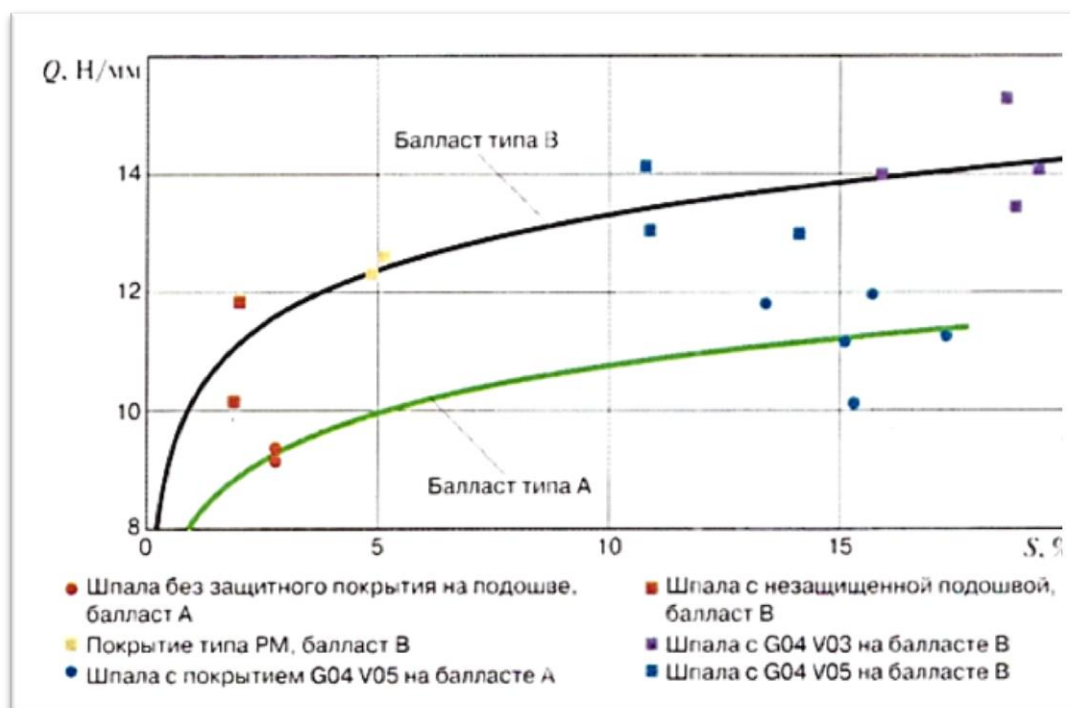


Рисунок 1.4. Зависимость между сопротивлением поперечному сдвигу и площадью контакта подошвы шпалы с балластом.

Исследования, проведённые на действующих участках пути на действующих дорогах Германии подтверждают, что в случае использования железобетонных шпал с упругим слоем на подошве сопротивление поперечному сдвигу увеличивается.

Начиная с 2001 года Австрийская компания Getzner Werkstoffe провела большой объем исследований с целью количественной оценки долгосрочного эффекта от применения подшпальных прокладок. При этом критерием целесообразности применения подкладок является снижение темпа износа верхнего строения пути; полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии такого решения при различных эксплуатационных условиях, причём эффективность использования подкладок увеличивается с ростом поездной нагрузки. На всех участках пути, где шпалы усилены подкладками, отмечено существенное снижение темпа износа верхнего строения. Даже на участках с уменьшенной высотой балластной призмы интервалы времени между проведением необходимых балластировочных работ сокращаются примерно вдвое. Таким образом, использование

прокладок обеспечивает существенное снижение объёмов работ по текущему содержанию пути и соответственно расходов его жизненного цикла.

В настоящее время на железных дорогах Европы подшпальные подкладки разных типов широко применяются для решения следующих проблем:

- уменьшение осадки пути с балластным основанием;
- ограничение интенсивности волнообразного износа рельсов в кривых малого радиуса;
- регулирование жёсткости пути на участках с уменьшенной высотой балластной призмы;
- улучшение параметров пути в переходных зонах;
- снижение интенсивности вибраций;
- предотвращение интенсивного образования пустот под шпалами;
- выравнивание в профиле элементов стрелочных переводов.

Для изготовления подшпальных подкладок используются специальные материалы с установленными техническими характеристиками. Одним из них является Selomer – микропористый полиуретановый эластомер со смешанной ячеистой структурой, разработанный компанией Getzner Werkstoffe для эффективной виброизоляции в различных областях техники.

При выборе материала для покрытия подошвы шпал были проведены исследования по оптимизации состава используемой полиуретановой смеси и процесса ее производства для достижения сбалансированных пластических и упругих свойств материала с целью непревышения допустимого воздействия на щебень балласта. Благодаря проведенным исследованиям в настоящее время имеются усовершенствованные материалы для покрытия подошвы шпал, которые компенсируют максимальные нагрузки тяжеловесного подвижного состава и демонстрируют высокие эксплуатационные качества [49].

Пластичность покрытия подошвы необходима для того, чтобы самый верхний слой балласта мог внедряться в её материал. Этот факт, очень важный с точки зрения обеспечения безопасности, играет важную роль прежде всего для реализации повышенного сопротивления поперечному сдвигу пути. Как показали испытания, это сопротивление при наличии упругого покрытия подошв значительно выше, чем без него.

Внедрение верхнего слоя балласта в материал подошвенного покрытия обуславливает более равномерное распределение сил в верхнем строении пути. Компания Getzner разработала собственную методику быстрого и высокоточного расчёта поверхности контакта. Проведённые расчёты показали, что для пути с тяжеловесным движением оптимальная величина поверхности контакта составляет 25-33 %. При более жестком материале покрытия поверхность контакта с балластом значительно меньше [51].

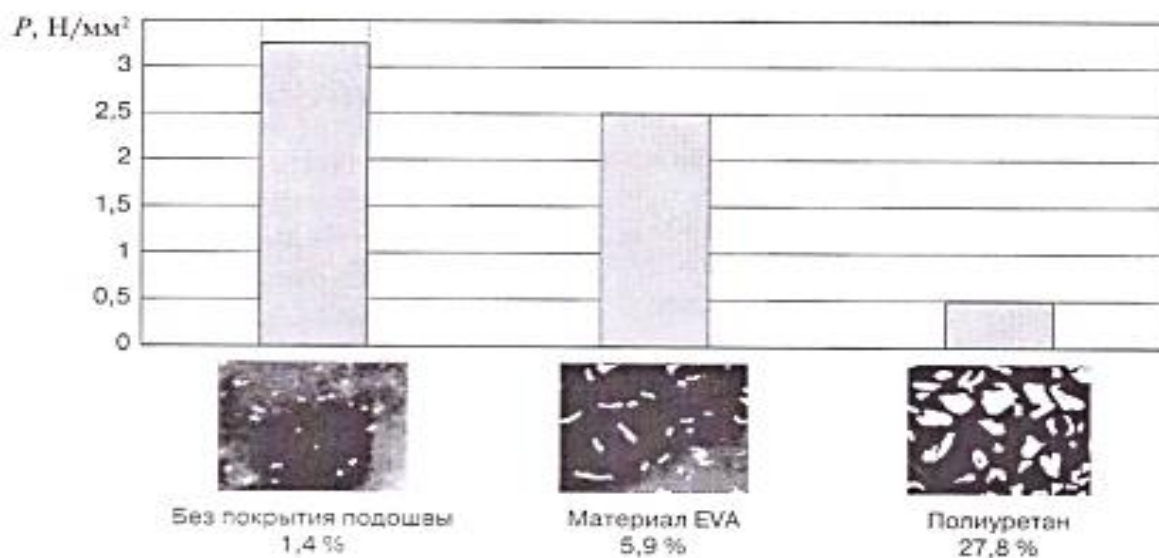


Рисунок 1.5. Средние значения силы давления P на балласт под бетонной шпалой без упругого покрытия и с покрытиями двух типов. В процентах указана доля площади подошвы шпалы, приходящаяся на контакт с частицами балласта.

На рисунке 1.5. приведено сравнение площадей контакта подошвы с балластом для шпал без упругого покрытия и с покрытием из материалов EVA и полиуретана (одинаковой жесткости).

Результаты проведенных расчетов показали, что, чем больше площадь контакта балластного слоя с обрешиненной поверхностью подошвы шпалы, тем равномернее распределяется нагрузка от подвижного состава [51].

В настоящее время, почти все крупные железнодорожные компании в Европе, успешно используют прокладки компании Getzner. Специализацией фирмы являются микропористые полиуретановые эластмеры с самыми различными свойствами, применяемые в технологии обслуживания железнодорожных путей при разных условиях эксплуатации в различных областях промышленности [49].

Применение шпал с упругим покрытием позволяет снизить расходы на техническое обслуживание и увеличить срок службы железнодорожных путей. Если основной проблемой является снижение вибраций, то применяются упругие подкладки типов SLS (Sylomer) и высокоэффективные типы SLN (Sylodyn).

Кроме высоких упругих и пластичных характеристик подшпальные амортизаторы из материала Sylomer имеют ещё и элемент, определяющий демпфирование, в технических решениях с использованием материала Sylodyn статическая и динамическая жёсткость почти идентичны, поэтому возможно экономически выгодное решение задач даже при крайне малом дополнительном прогибе рельса [49].

Компания Getzner является основным поставщиком подшпальных прокладок оптимизированных типов для железных дорог с высокоскоростным движением, путей городского и пригородного сообщения, трамвайных путей и метрополитена, а также для специализированных путей с тяжеловесным движением и высокими (до 37 тонн) нагрузками на ось [49].

Ещё одна проблема которая решается на европейских железных дорогах при использовании упругих прокладок и обрешиненных шпал – это снижение уровня вибрации и шума от движения поездов.

В 2011-2013 гг. в рамках проведения Европейской программы был реализован проект RIVAS с привлечением ведущих европейских компаний.

Проект был нацелен на выполнение исследований технологий, ведущих к снижению уровня вибраций. За время реализации данного проекта был проведен комплекс расчетных и экспериментальных исследований, направленных на изучение процессов и механизмов работы обрезиненного слоя в подшпальной области. Особенностью этих исследований стало то, что они проводились как в лабораториях, так и в эксплуатационных условиях с применением разногабаритных шпал [52].

По результатам лабораторных испытаний тяжёлые и широкие шпалы с упругой подошвой были определены как лучшее средство, снижающее вибрации как на балластном, так и на безбалластном пути [52].

Подбалластные материалы широко используются во всём мире на железнодорожном транспорте с целью уменьшения вибрационного воздействия на путь подвижного состава. На сегодняшний день существует множество разнообразных подшпальных подкладок для верхнего строения пути из различных материалов.

Идея использования переработанных материалов для изготовления упругих подшпальных прокладок впервые была предложена в 2011 г. в рамках трехгодичного исследовательского проекта Recytrack, финансируемого Европейской комиссией при реализации инициативы Life+2010. Данный проект осуществлялся с целью оценки возможности использования отработанных автомобильных покрышек, как материала для упругих подшпальных прокладок. Задачей проекта было обоснование использования на железнодорожном транспорте чистого вторичного эластомерного материала с добавкой сырого каучука. Предполагалось, что такой материал способен обеспечить снижение вибрационного воздействия на железнодорожный путь, удовлетворяя при этом действующим нормативным требованиям.

На сегодняшний день конструкция системы Recytrack эксплуатируется на путях метрополитена Мадрида. Система Recytrack может представлять собой уложенный непрерывный слой упругого материала под балластной

призмой или отдельные подкладки под изолированными шпалами или основанием в виде бетонной плиты.

Итогом проекта Resytrack стало получение из отработанных автомобильных покрышек двух эластомерных материалов, пригодных для использования с целью снижения уровня вибрации грунта от прохождения поездов. Таким образом, была продемонстрирована возможность применения эластомерных материалов, полученных из использованных покрышек, в путевом хозяйстве железных дорог [53].

Результаты многолетних исследований проведённых на железных дорогах Европы наглядно показывают, что при использовании упругих подшпальных прокладок увеличивается время между плановыми выправками пути в 2 раза. Увеличение интервала между выправками позволяет продлить срок службы конструкции верхнего и нижнего строения пути, особенно на участках с большой грузонапряженностью, и значительно снизить уровень затрат на технологию обслуживания пути. Затраты Европейских железных дорог на содержание пути приведены на рисунке 1.6 [49].



Рисунок 1.6. Затраты на содержание пути на Европейских железных дорогах

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Проблемы обеспечения длительной стабильности пути в стыковой зоне на грузонапряжённых линиях Российских железных дорог остаются актуальны и в настоящее время ж.д.

2. Проведённые в 2001-2005 г.г. Российскими учёными исследования, показали эффективность использования железобетонных шпал с амортизатором на подошве для уменьшения накопления остаточных осадок пути.

3. За рубежом, на грузонапряжённых участках Германии, Австрии и других стран используется большой ассортимент подшпальных прокладок для снижения уровня вибраций и обеспечения длительной стабильности пути.

4. Анализ отечественного и зарубежного опыта показал целесообразность продолжения научных исследований по эффективному применению подшпальных прокладок при организации текущего содержания пути.

ГЛАВА 2

ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ С УЛОЖЕННЫМИ УПРУГИМИ ПРОКЛАДКАМИ ПОД ПОДОШВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В ЗОНЕ СТЫКОВ

2.1. Основные положения методики проведения испытаний.

Полигонные испытания опытных конструкций пути с учетом реальных условий эксплуатации, заданных нагрузок от опытного подвижного состава и необходимой наработкой пропущенного тоннажа, являются важной составляющей в процессе проведения исследований для получения конечных результатов. Такие испытания позволяют провести мониторинг изменения технического состояния как отдельных элементов так и конструкции пути в целом в временном интервале в зависимости от пропущенного тоннажа.

В условиях испытаний можно достаточно оперативно получить результаты интенсивности накопления деформаций и выход из строя элементов верхнего строения пути в зависимости от пропущенного тоннажа. Актуальность таких испытаний заключается еще и в том, что они позволяют в более короткие сроки, по сравнению с условиями сети железных дорог получить необходимую наработку тоннажа и провести анализ показателей прочности и долговечности конструкций пути.

На основании анализа проведенных ранее исследований в области обеспечения стабильности железнодорожного пути в стыковой зоне, было принято решение о проведении эксплуатационных испытаний подшпальных прокладок промышленного производства уложенных под подошву железобетонных шпал в зоне стыков до наработки по опытной конструкции максимально возможного пропущенного тоннажа. Как показывает опыт предыдущих исследований наиболее оптимальным местом проведения подобных испытаний является Экспериментальное кольцо ВНИИЖТ.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований в разные годы и разными научными коллективами показывают, что конструкция пути с упругими прокладками, уложенными под подошву шпалы в стыковой зоне, обладает следующими важными преимуществами по сравнению с типовыми конструкциями пути:

- наличие упругой подшпальной прокладки позволяет снизить динамическое вибрационное воздействие, передающееся от шпалы на щебень, частично погасив колебания шпалы;

- пластические свойства упругой подшпальной прокладки не ведут к истиранию и дроблению щебня, как в случае контакта балласта с бетонной шпалой, позволяя частицам щебня в зоне контакта вдавливаясь в материал прокладки;

- применение упругих подшпальных прокладок позволяет существенно повысить сопротивление шпалы поперечному сдвигу, что, в свою очередь, является важным фактором обеспечения стабильности при эксплуатации бесстыкового пути.

2.2. Характеристика объекта испытаний.

Экспериментальное кольцо ст. Щербинка Московской ж.д. – крупнейший в мире полигон для комплексных испытаний подвижного состава и пути в строго регламентированных условиях плана и профиля. Комплекс объектов инфраструктуры Экспериментального кольца включает в себя три кольцевых пути с примыкающими стрелочными переводами. Протяжённость первого пути составляет 6 км, расположен на абсолютно ровной площадке без подъёмов и спусков. В плане первый путь уложен в кривой радиусом 956 м, бесстыковой путь, рельсы Р65 на ж.б. шпалах скрепление КБ-65.

Второй и третий кольцевые пути в плане имеют кривые переменного радиуса от 400 м до прямых ставок с изменением по длине профиля, с подъёмами до 9 % с пусками и горизонтальными площадками. Второй путь: звеньевой с рельсами Р65 на железобетонных шпалах, скрепления КБ, ЖБР 65, АРС, стрелочные переводы типа Р65, марки крестовин 1/11. Третий путь: звеньевой с рельсами Р65 на железобетонных шпалах, скрепления ЖБР-65, АРС, стрелочные переводы Р65, марка крестовин 1/11, оборудован рельсовыми цепями с путевыми реле ДСШ-13 и системой обнаружения нагрева букс КТСМ-02.

Техническая оснащённость инфраструктуры Экспериментального кольца позволяет эксплуатировать опытные составы весом до 10 тысяч тонн

с наименьшими потерями в тонно-километровой работе, что дает возможность определять прочностные характеристики и параметры надежности опытных конструкций пути значительно быстрее по сравнению с действующей линией. Эксплуатация опытного состава в вечернее и ночное время позволяет в дневной промежуток времени эффективно проводить необходимые экспериментальные исследования и натурные осмотры с исследованием измерительной аппаратуры и систем диагностики.

В связи с необходимостью проведения испытаний упругих прокладок на стыковом пути с железобетонными шпалами было принято решение провести этап эксплуатационных исследований на определенном участке второго кольцевого пути.

Таблица 2.1. Характеристика опытного участка

1	Серия локомотивов	ВЛ80
2	Установленная скорость	80 км/ч
3	Грузонапряжённость	300 млн т брутто
4	Тип рельсов	Р 65 объемнозакалённые 25 м
5	Завод изготовитель	НТМК
6	Тип скрепления	КБ 65
7	Эпюра шпал	2000 шпал на км
8	Род шпал	железобетонные
9	Род балласта	Щебёночный твёрдый
10	Загрязнённость	Менее 20 %
11	Размер зёрен	25-50
12	Год капитального ремонта	2009

На момент начала эксплуатационных испытаний подшпальных прокладок пропущенный тоннаж по 2му кольцевому пути составлял 760 млн. тонн брутто. В стыках выбранного участка пути имелись профильные неровности II степени до 14 мм. Выкопировка из ленты прохода вагона путеизмерителя приведена на рисунке 2.1.

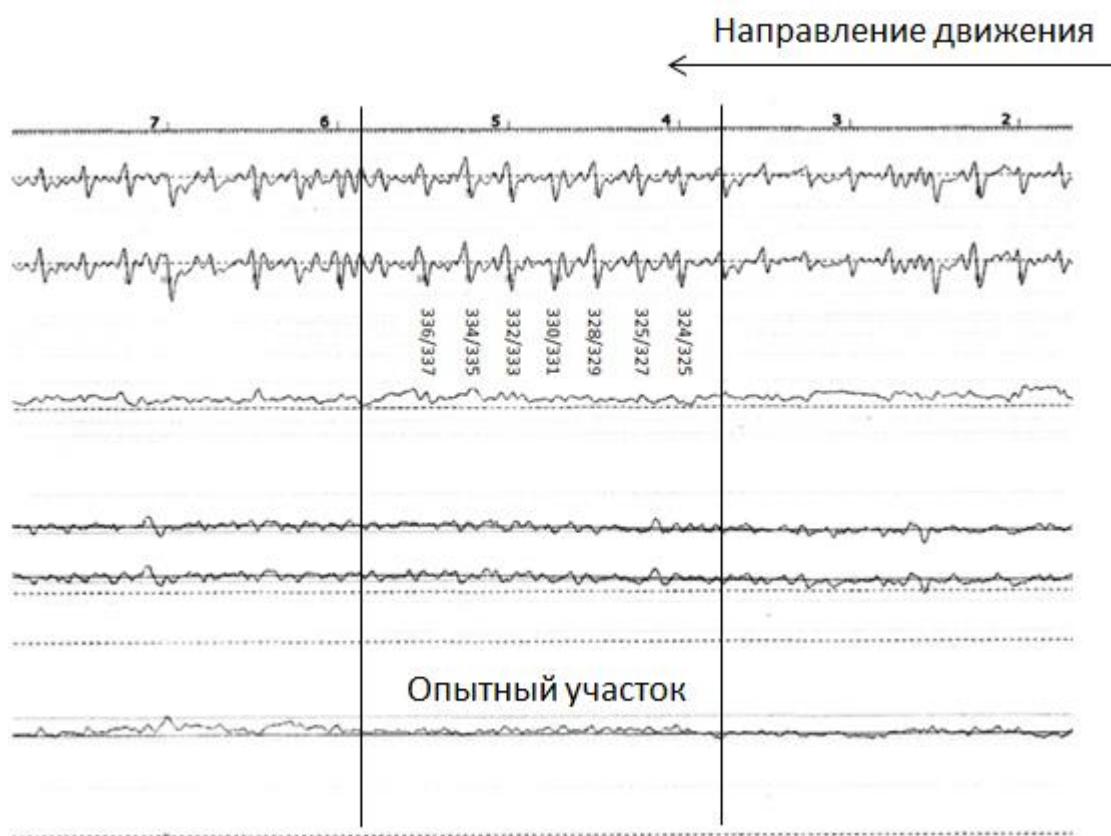


Рис 2.1. Состояния опытного участка пути перед укладкой подшпальных прокладок.

Для проведения эксплуатационных исследований по применению упругих подшпальных прокладок в зоне стыков для повышения стабильности пути, в рамках текущего содержания в 2014 году на втором кольцевом пути был заложен опытный участок, где при выправке неровностей пути в зоне стыков были уложены упругие прокладки, промышленного изготовления.

Подшпальные прокладки были изготовлены из резины на основе изопреновых каучуков с логарифмическим декрементом 0,53, обладающей повышенной морозостойкостью и прошедшие лабораторные испытания. [54]

Фотографии подшпальных прокладок приведены на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Подшпальные прокладки

Характеристики упругих прокладок приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Характеристики упругих прокладок

Габариты, мм	Модуль сжатия, МПа	Жесткость, кН/мм
1000x250x20	1,07	36,00
1000x250x20	0,913	30,24
1000x250x14	1,128	40,29
1000x250x 8	0,535	32,59

Опытный участок протяженностью 200 м расположен в кривой R 850 м. Состоит из 6 стыков с уложенными под шпалы упругими прокладками разной толщины и жесткости и стыков типовой конструкции примыкающих к опытному участку. Схема укладки подшпальных прокладок приведена на рисунке 2.3.

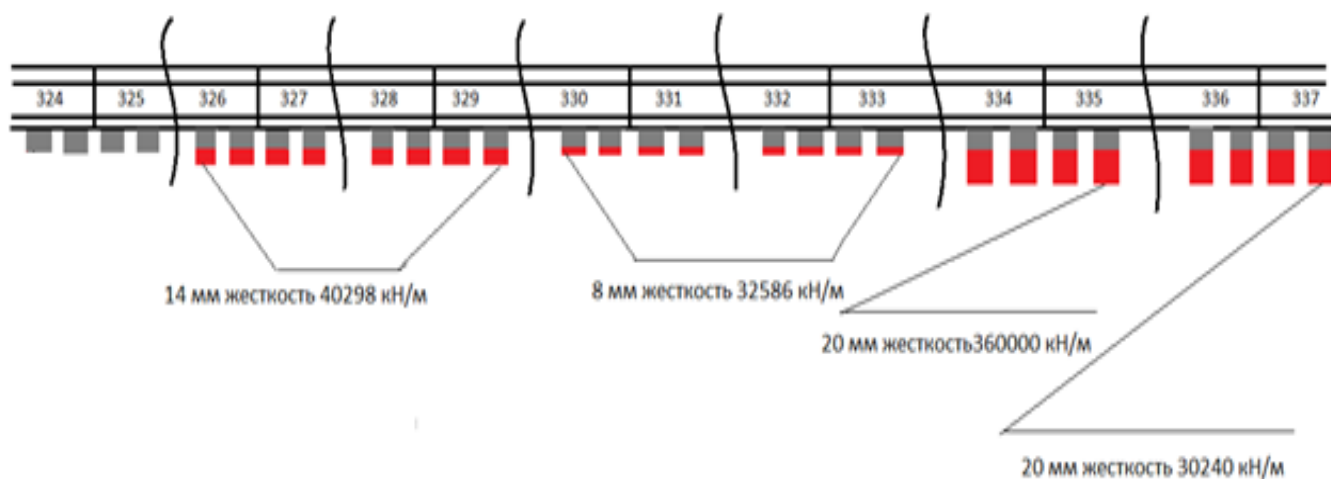


Рисунок 2.3. Схема укладки подшпальных прокладок.

Данные о стыках опытного участка с уложенными подшпальными прокладками приведены в таблице 3.

Таблица 2.3. Стыки опытного участка с уложенными подшпальными прокладками

Номер стыка	Толщина прокладки	Жесткость, кН/мм
324/325	Типовой стык без прокладки	-
326/327	14 мм	40,29
328/329	14 мм	40,29
330/331	8 мм	32,59
332/333	8 мм	32,59
334/335	20 мм	36,00
336/337	20 мм	30,24

В соответствии с программой испытаний по 2-му кольцевому пути эксплуатировался грузовой состав весом до 8 тысяч тонн состоящий из грузовых полувагонов с осевой нагрузкой 23,5-25 т на ось, при ежедневной наработке тоннажа 1-1,2 млн тонн брутто.

В процессе проводимых испытаний осуществлялось регулярное обследование опытного участка с проведением измерений параметров

ширины колеи, возвышения наружного рельса величины стыковых зазоров и просадок пути.

Измерение ширины колеи в стыковой зоне проводились с использованием путевого шаблона типа ПШ 1520, на 2-х стыковых, 2-х примыкающих шпалах в каждом стыке (табл.2.4).

Таблица 2.4. Результаты измерений ширины колеи

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
324/325 Типовой без прок- ладки	20.11.14г.	0,00	1524,5	0,70
	12.03.15г.	97,69	1526,6	0,90
	01.07.15г.	196,24	1527,3	0,68
	11.12.15г.	302,05	1528,6	0,8
	07.04.16г.	402,5	1528,8	0,62
	15.07.16г.	501,65	1529,4	0,85
	25.10.16г.	601,72	1529,6	0,76
	15.03.17г.	703,62	1530,4	0,9
	18.11.17г.	831,44	1531,0	0,8

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
326/327 Прок- ладка 14 мм	20.11.14г.	0,00	1521,0	0,6
	12.03.15г.	97,69	1523,7	0,9
	01.07.15г.	196,24	1524,2	0,8
	11.12.15г.	302,05	1524,4	0,9
	07.04.16г.	402,5	1524,6	0,7
	15.07.16г.	501,65	1526,1	0,85
	26.10.16г.	601,72	1526,2	0,6
	15.03.17г.	703,62	1527,1	0,9
	18.11.17г.	831,44	1527,3	0,7

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
328/329 Прок- ладка 14 мм	20.11.14г.	0,00	1525,2	0,7
	12.03.15г.	97,69	1525,6	0,9
	01.07.15г.	196,24	1527,4	0,6
	11.12.15г.	302,05	1526,6	0,4
	07.04.16г.	402,5	1526,8	0,7
	15.07.16г.	501,65	1527,1	0,5

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
	26.10.16г.	601,72	1527,4	0,9
	15.03.17г.	703,62	1527,7	0,8
	18.11.17г.	831,44	1528,1	0,6

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
330/331 Прокладка 8 мм	20.11.14г.	0,00	1520,7	0,71
	12.03.15г.	97,69	1522,6	1,3
	01.07.15г.	196,24	1523,2	1,5
	11.12.15г.	302,05	1524,1	1,3
	07.04.16г.	402,5	1524,6	1,2
	15.07.16г.	501,65	1525,2	1,3
	26.10.16г.	601,72	1526,0	0,9
	15.03.17г.	703,62	1526,4	1,1
	18.11.17г.	831,44	1527,1	1,2

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
332/333 Прокладка 8 мм	20.11.14г.	0,00	1523,00	0,2
	12.03.15г.	97,69	1524,7	0,8
	01.07.15г.	196,24	1525,3	1,2
	11.12.15г.	302,05	1525,8	1,1
	07.04.16г.	402,5	1526,2	1,3
	15.07.16г.	501,65	1526,8	1,4
	26.10.16г.	601,72	1526,9	1,1
	15.03.17г.	703,62	1527,2	1,2
	18.11.17г.	831,44	1527,4	1,25

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
334/335 Прокладка 20 мм	20.11.14г.	0,00	1520,8	0,9
	12.03.15г.	97,69	1522,3	1,2
	01.07.15г.	196,24	1523,7	1,22
	11.12.15г.	302,05	1524,1	0,8
	07.04.16г.	402,5	1524,8	1,1
	15.07.16г.	501,65	1525,2	1,15
	26.10.16г.	601,72	1526,0	1,3
	15.03.17г.	703,62	1527,4	0,9
	18.11.17г.	831,44	1528,0	0,82

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение ширины колеи, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
336/337 Прокладка 20 мм	20.11.14г.	0,00	1522,3	0,35
	12.03.15г.	97,69	1523,6	0,71
	01.07.15г.	196,24	1525,2	1,08
	11.12.15г.	302,05	1525,8	0,89
	07.04.16г.	402,5	1526,2	1,15
	15.07.16г.	501,65	1526,8	0,93
	26.10.16г.	601,72	1527,2	0,86
	15.03.17г.	703,62	1527,8	1,22
	18.11.17г.	831,44	1528,2	0,96

Среднее значение ширины колеи за период наблюдений составляет:

стык 324/325 -1528,5 мм;

стык 326/327 – 1525,9 мм;

стык 328/329 – 1525,0 мм;

стык 330/331 – 1524,7 мм;

стык 332/333 - 1526,7 мм;

стык 334/335 – 1525,9 мм;

стык 336/337 – 1524,4 мм.

Наибольшее значение ширины колеи зафиксировано в типовом стыке без прокладок 324/325 – 1528,5 мм.

Измерения состояния пути по уровню проводились с использованием путевого шаблона ПШ 1520. Результаты измерения отражены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Результаты измерения возвышения наружного рельса

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
324/325 Типовой стык без прок- ладки	20.11.14г.	0,00	68,5	1,3
	12.03.15г.	97,69	66,7	1,6
	01.07.15г.	196,24	65,8	1,8
	11.12.15г.	302,05	65,2	1,6
	07.04.16г.	402,5	64,4	1,9
	15.07.16г.	501,65	64,7	1,8
	26.10.16г.	601,72	64,3	1,5
	15.03.17г.	703,62	63,9	1,6
	18.11.17г.	831,44	63,4	1,9

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
326/327 Прокладка 14 мм	20.11.14г.	0,00	67,9	1,5
	12.03.15г.	97,69	65,6	2,1
	01.07.15г.	196,24	66,4	2,3
	11.12.15г.	302,05	66,8	1,9
	07.04.16г.	402,5	66,1	2,0
	15.07.16г.	501,65	65,8	1,8
	26.10.16г.	601,72	65,2	2,3
	15.03.17г.	703,62	65,7	2,4
18.11.17г.	831,44	66,2	1,8	

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
328/329 Прокладка 14 мм	20.11.14г.	0,00	65,2	0,9
	12.03.15г.	97,69	64,8	1,3
	01.07.15г.	196,24	64,2	1,4
	11.12.15г.	302,05	63,9	1,3
	07.04.16г.	402,5	63,3	1,5
	15.07.16г.	501,65	63,0	1,2
	26.10.16г.	601,72	62,8	1,1
	15.03.17г.	703,62	62,6	1,3
18.11.17г.	831,44	63,0	1,2	

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
330/331 Прокладка 8 мм	20.11.14г.	0,00	68,5	0,9
	12.03.15г.	97,69	68,2	1,3
	01.07.15г.	196,24	68,6	1,4
	11.12.15г.	302,05	69,1	1,3
	07.04.16г.	402,5	69,5	1,2
	15.07.16г.	501,65	70,4	1,1
	26.10.16г.	601,72	69,9	1,3
	15.03.17г.	703,62	70,5	1,2
18.11.17г.	831,44	70,6	1,4	

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
332/333 Прокладка 8 мм	20.11.14г.	0,00	61,5	0,7
	12.03.15г.	97,69	61,8	1,2
	01.07.15г.	196,24	63,2	0,8
	11.12.15г.	302,05	64,1	0,6
	07.04.16г.	402,5	64,5	0,8
	15.07.16г.	501,65	64,8	0,9
	26.10.16г.	601,72	65,1	1,1
	15.03.17г.	703,62	65,3	0,8
18.11.17г.	831,44	65,4	0,9	

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
334/335 Прокладка 20 мм	20.11.14г.	0,00	66,8	0,6
	12.03.15г.	97,69	66,4	0,9
	01.07.15г.	196,24	66,6	0,7
	11.12.15г.	302,05	66,0	0,6
	07.04.16г.	402,5	65,8	0,8
	15.07.16г.	501,65	65,6	0,7
	26.10.16г.	601,72	65,2	0,7
	15.03.17г.	703,62	64,7	0,9
18.11.17г.	831,44	64,1	0,8	

№ стыка	Дата замера	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто	Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней, мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
336/337 Прокладка 20 мм	20.11.14г.	0,00	63,9	0,4
	12.03.15г.	97,69	62,8	0,7
	01.07.15г.	196,24	63,0	0,8
	11.12.15г.	302,05	63,7	0,9
	07.04.16г.	402,5	64,4	0,6
	15.07.16г.	501,65	64,2	0,8
	26.10.16г.	601,72	64,0	0,9
	15.03.17г.	703,62	64,5	0,7
18.11.17г.	931,44	64,3	0,8	

Среднее значение возвышения наружной нити над внутренней за период наблюдений составляет:

стык 324/325 – 64,6 мм;

стык 326/327 – 66,9 мм;

стык 328/329 – 63,9 мм;

стык 330/331 – 68,7 мм;

стык 332/333 – 63,0 мм;

стык 334/335 – 66,5 мм;

стык 336/337 – 63,5 мм.

За период проведения исследований величина возвышения наружного рельса в стыках с уложенными подшпальными прокладками изменилось незначительно, в пределах 2-4 мм, а в типовом стыке 324/325 с учетом периодических выправок пути - в пределах 8 мм.

В процессе эксплуатации регулярно проводились замеры стыковых зазоров по правой и левой нитям. За истекший период наблюдения величина зазоров на всех стыках оставалась достаточно стабильной. Работ по регулировке не проводилось. Данные состояния стыковых зазоров приведены в таблице 2.6.

Таблица.2.6. Состояние стыковых зазоров

Дата замера	Пропущенный тоннаж млн.т брутто	Номера стыков													
		324/325		326/327		328/329		330/331		332/333		334/335		336/337	
		лев	п р	лев	пр	лев	пр	лев	пр	ле в	пр	ле в	пр	ле в	пр
20.11.2014г.	0,00	12	14	11	18	13	15	12	9	5	7	10	18	11	13
12.03.2015г.	97,69	10	11	10	16	14	16	14	14	9	12	11	18	11	14
01.07.2015г.	196,24	7	9	8	11	9	11	9	8	2	5	6	13	6	7
11.12.2015г.	302,05	11	12	12	16	14	15	13	11	10	12	11	17	13	15
07.04.2016г.	402,5	9	10	10	14	12	14	12	12	8	11	11	16	11	12
15.07.2016г.	501,65	8	10	8	10	10	12	8	9	4	6	7	12	6	8
26.10.2016г.	601,72	12	13	12	15	12	16	12	10	9	11	10	17	12	14
15.03.2016г.	703,62	11	12	13	18	13	16	14	11	10	12	12	16	10	12
18.11.2017г.	831,44	13	15	11	17	14	17	14	12	11	13	11	18	12	14

В процессе проведения исследований состояние пути один раз в месяц проверялось измерительными комплексами. Анализ ведомостей

проходов вагонов-путеизмерителей типа КВЛП показал, что состояние опытного участка с уложенными подшпальными прокладками оставалось стабильным в процессе эксплуатации. Значения величины просадок не превышали II степени (14 мм) на всех стыках с уложенными прокладками. Выкопировки лент прохода вагонов-путеизмерителей приведены на рисунках 2.4 – 2.5.

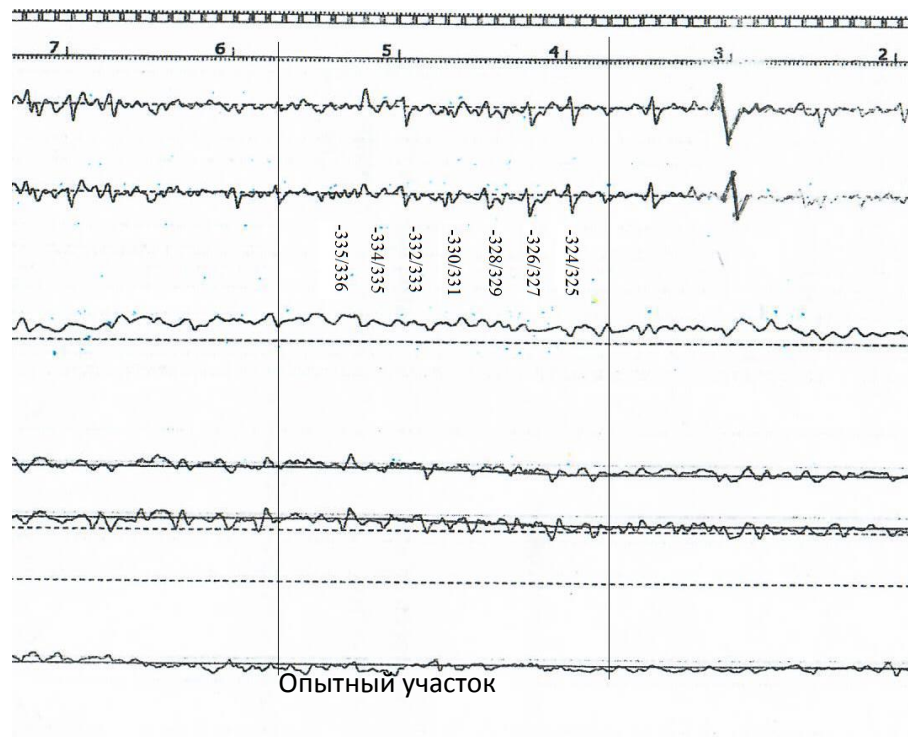


Рисунок 2.4. Состояние пути после пропуска 100 млн. тонн брутто.

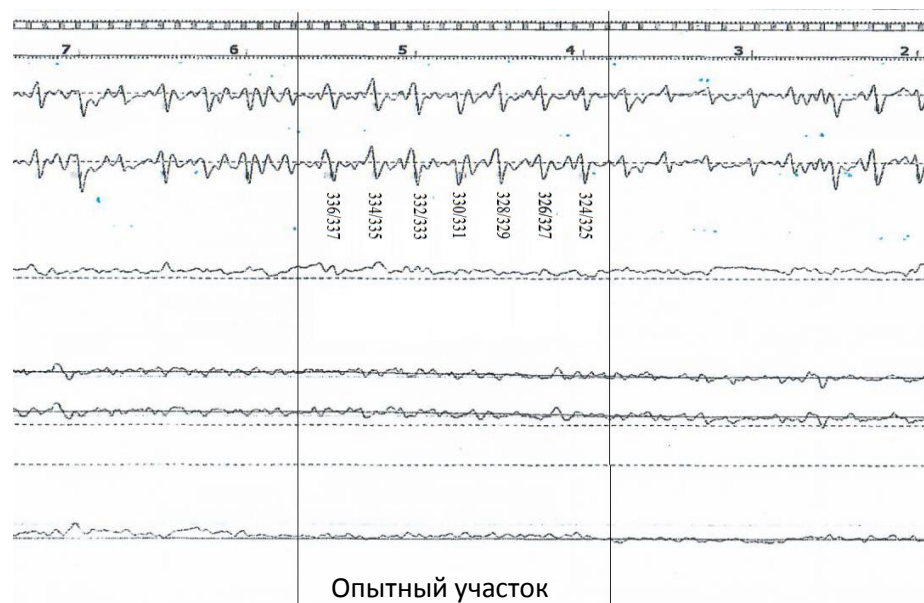


Рисунок 2.5. Состояние опытного участка пути после пропуска 600 млн. тонн брутто.

В ходе проводимых исследований через каждые 100 млн т брутто пропущенного тоннажа, проводились измерения положения пути в продольном профиле в стыковых зонах опытного участка. График накопления осадок отображен на рисунке 2.6.

Экстраполяция значений, полученных в ходе измерений, позволяет записать выражения, устанавливающие зависимость накопления осадок от пропущенного тоннажа для типового стыка, в виде следующих квадратичных функций:

$$y = -7 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.0174x + 1.449 \text{ – по правой нити};$$

$$y = -8 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.0179x + 1.5143 \text{ – по левой нити};$$

и для стыка с уложенными подшпальными прокладками жесткостью 40,29 кН/мм:

$$y = -3 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.0079x + 0.8452 \text{ – по правой нити};$$

$$y = -4 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.0085x + 0.7356 \text{ – по левой нити}.$$

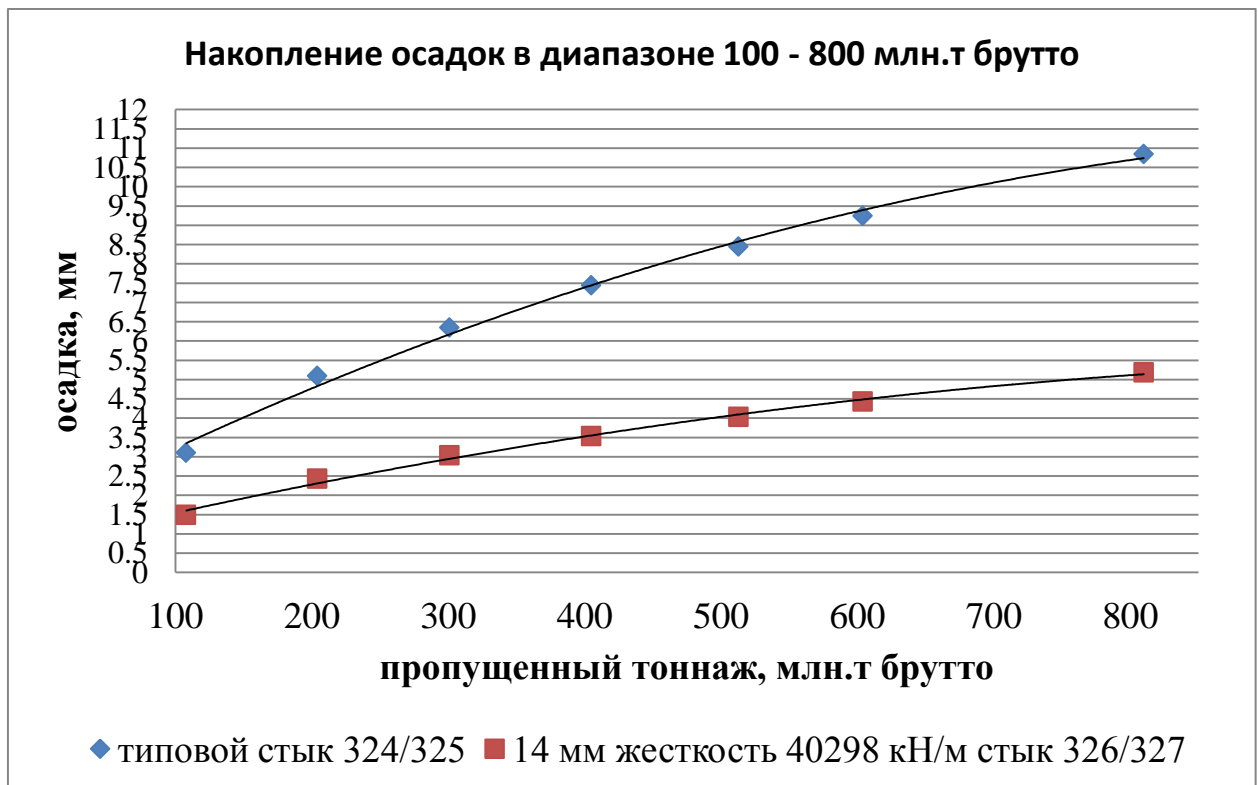


Рисунок 2.6. Накопление осадок пути.

2.3 Верификация расчетной модели осадок пути

Результаты проведенных измерений показывают более стабильное состояние стыков с уложенными под подошву шпал упругими прокладками. После пропуска 600 млн. т брутто, уровень головки рельса типового стыка 324/325 изменился на 9 мм, а в стыке 326/327 с уложенными прокладками 14 мм и жесткостью 40,29 кН/мм, изменился всего на 4,5 мм по обеим нитям, что в два раза меньше чем на типовом стыке. Далее процесс осадки практически прекратился.

Проведенные во ВНИИЖТе теоретические исследования зависимости накопления осадок от пропущенного тоннажа основаны на следующей математической модели [77]:

$$\delta(T) = \frac{P_0 \cdot l^3}{6 \cdot E \cdot j_z} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-3 \cdot k \cdot E \cdot j_z \cdot B \cdot T}{A \cdot l^3}\right) \right),$$

где $k = \sqrt[4]{\frac{U}{4 \cdot E \cdot I}}$,

P_0 – нагрузка на нулевую шпалу;

E – модуль упругости рельса;

A – модуль упругости подбалластного основания;

j_z – момент инерции рельса Р65;

l – предельная длина изгиба;

B – коэффициент перевода упругих деформаций в остаточные;

T – пропущенный тоннаж.

k – коэффициент относительной жесткости рельсового основания и рельса.

Модуль упругости (U) пути, входящий в расчет, был определен по приведенной жесткости подшпального основания при наличии упругих подшпальных прокладок. Из рисунка 2.7 видно, что данные по зависимости накопления осадок от пропущенного тоннажа, полученные расчетом и в результате эксперимента, хорошо коррелируются.

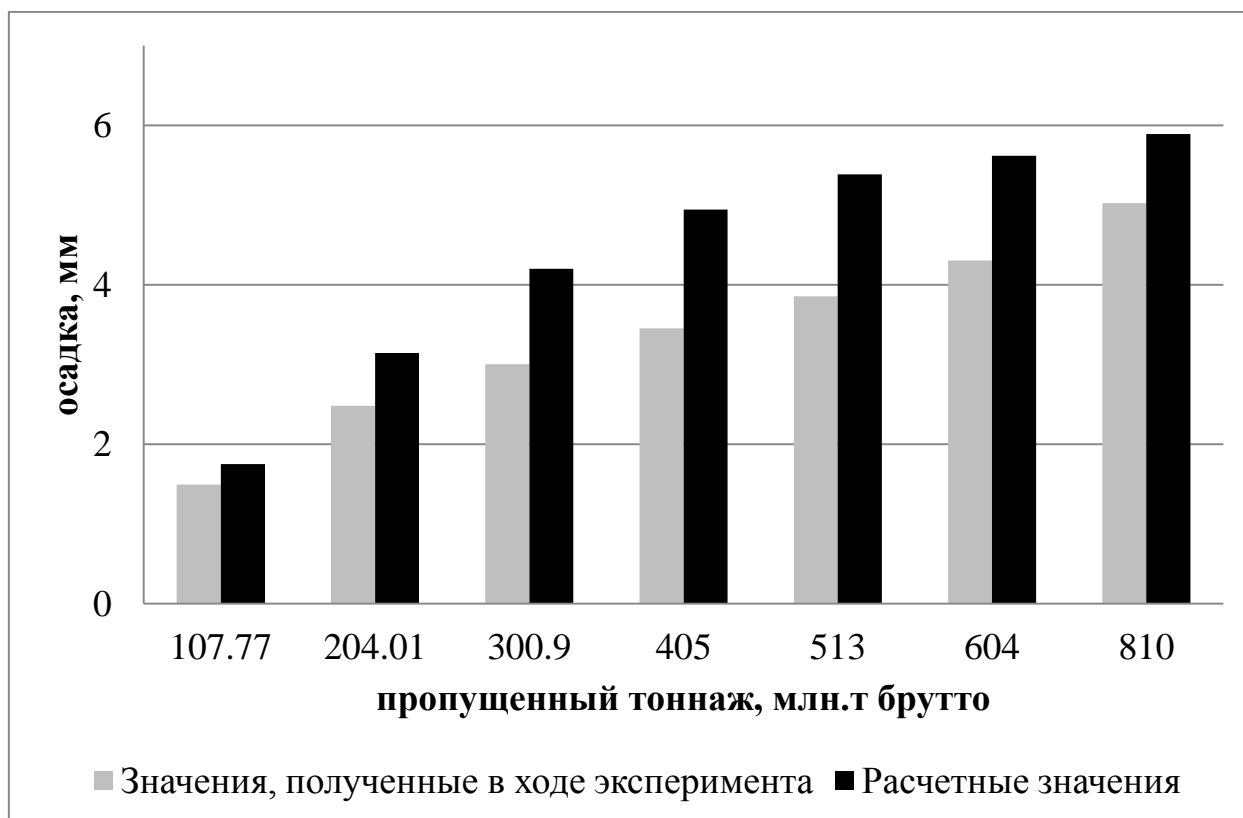


Рисунок 2.7. Сравнение экспериментальных данных и расчетных значений осадок в зависимости от пропущенного тоннажа

В процессе исследований проводились измерения остаточной осадки пути в стыках опытного участка по правой и левой нити. Диаграммы остаточной осадки пути в стыках при различной жесткости прокладок для значений пропущенного тоннажа 405 млн т брутто и 810 млн т брутто показан на рисунке 2.8.

Анализ диаграмм остаточной осадки пути от пропущенного тоннажа показывает, что в типовом стыке 324/325 после пропуска 400 млн. т брутто значение остаточной осадки пути составляет 7,3 мм, что значительно больше, чем в стыках с уложенными под шпалу прокладками разной толщины и жёсткости. Из всех уложенных под шпалы прокладок максимальные значения остаточных осадок пути отмечены в стыках с уложенными прокладками толщиной 20 мм и жесткостью 30,24 кН/мм – 5,5 мм, стык

336/337. Минимальные остаточные осадки, зафиксированы в стыках при толщине уложенных прокладок 14 мм, и жесткостью 40,29 кН/мм – 3,4 мм.

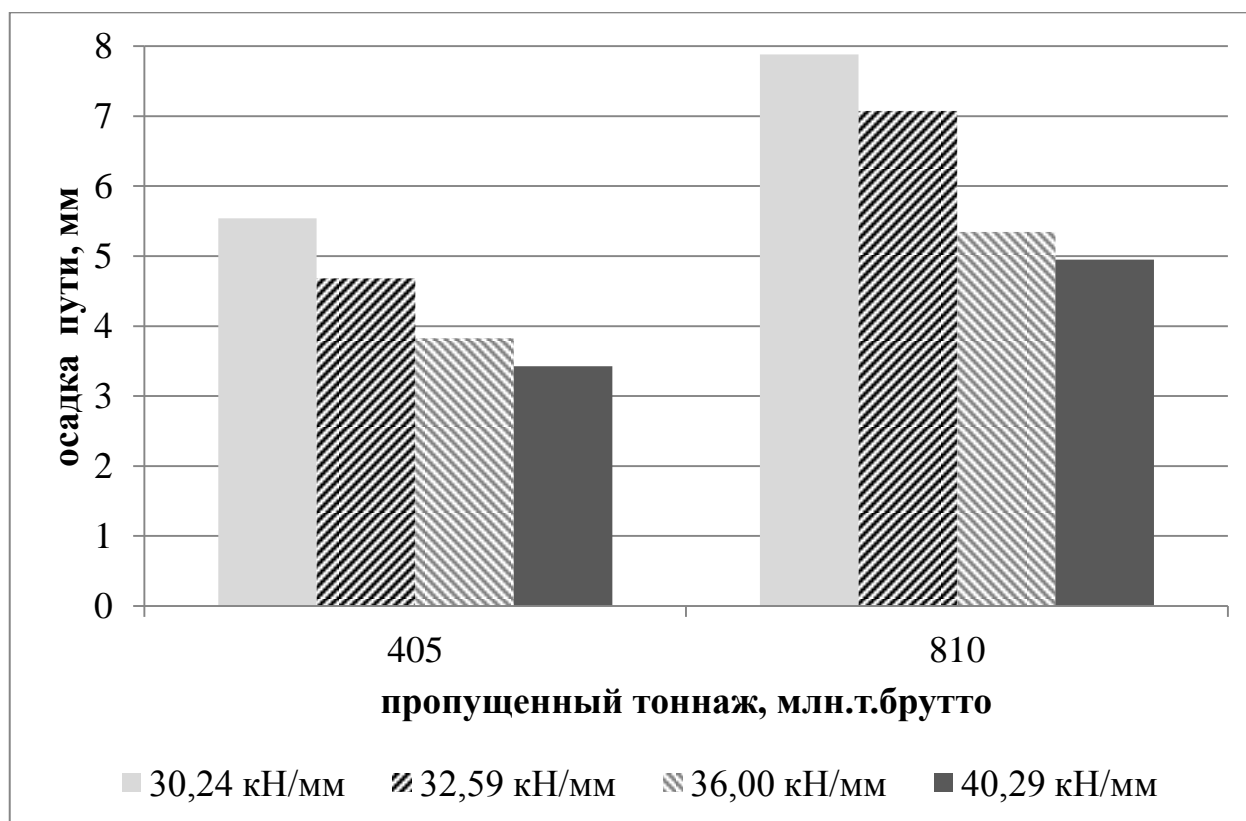


Рисунок 2.8. Диаграммы остаточных осадок пути в стыках при различной жесткости подшпальных прокладок для тоннажа 405 млн. тонн брутто и 810 млн. т брутто

В процессе эксплуатационных исследований периодически проводились измерения остаточных осадок пути в зоне стыков опытного участка. Полученные данные показывают что с увеличением пропущенного тоннажа интенсивность остаточной деформации пути уменьшается. На основании эксплуатационных исследований была получена зависимость остаточных осадок пути от пропущенного тоннажа (рисунок 2.9.)

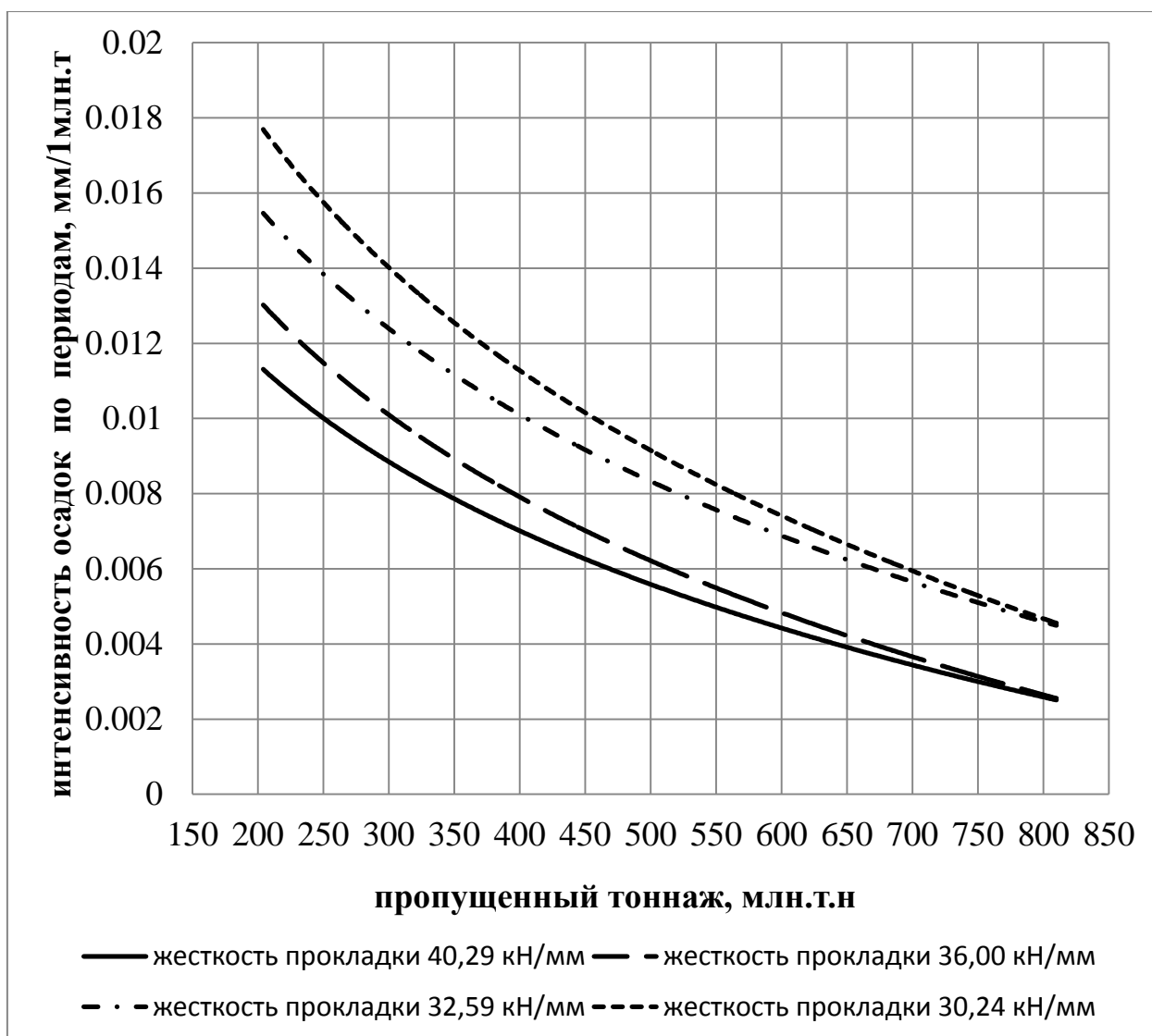


Рисунок 2.9. Зависимость интенсивности остаточных осадков пути от пропущенного тоннажа для прокладок разной жесткости

Зависимость интенсивности остаточных осадков пути от пропущенного тоннажа может быть описана логарифмическими функциями и имеют вид:

- с применением подшпальных прокладок жесткостью 40,29 кН/мм

$$y = -0.006 \ln(x) + 0.0452;$$

- с применением подшпальных прокладок жесткостью 36,00 кН/мм

$$y = -0.008 \ln(x) + 0.0534;$$

- с применением подшпальных прокладок жесткостью 32,59 кН/мм

$$y = -0.008 \ln(x) + 0.0578;$$

- с применением подшпальных прокладок жесткостью 30,24 кН/мм

$$y = -0.01 \ln(x) + 0.0684.$$

После пропуска 500 млн. т брутто была проведена ревизия щебёночного балласта под стыковыми шпалами опытного участка. Для этого из шпальных ящиков был удалён щебёночный балласт, шпальные крепления ослаблены, железобетонные шпалы были сдвинуты по ходу движения поезда и было проведено обследование состояния балластного слоя находившегося под типовой шпалой и под шпалой с прокладками. Проведённый осмотр показал, что щебень под типовыми шпалами имеет значительный износ и истирание. Состояние балластной «постели» под шпалами в подрельсовой зоне с прокладками осталось стабильным. Несмотря на незначительное разрушение частиц щебня под средней необрезиненной частью шпалы, выявить повсеместное разрушение щебня под шпалами с подшпальными упругими прокладками не удалось. По результатам визуального осмотра балластной призмы, можно сделать вывод о том, что по сравнению с типовыми шпалами, шпалы с наличием под подошвой упругой прокладки гораздо меньше способствуют износу и разрушению щебня.

За период проведения исследований при пропуске 500 млн. т брутто пропущенного тоннажа на опытном участке выполнялись работы только по закреплению стыковых и резьбовых соединений стыковых и клеммных болтов на стыках с уложенными прокладками. На типовом стыке 324/325 2 раза в год проводились работы по выправке пути с подбивкой щебня в стыковой зоне.

На основании полученных положительных результатов проведённых исследований было принято решение продолжить эксплуатационные испытания на опытном участке до пропуска 800 млн т брутто.

Как показали результаты наблюдений, в последующий период существенных изменений состояния пути на этом участке не выявлялось. Необходимости проведения выправочных работ на стыках с уложенными прокладками не возникало. Отмечено стабильное состояние пути по шаблону и уровню. Выполнялись лишь необходимые работы по закреплению болтовых креплений.

После пропуска 830 млн. т брутто был проведён комиссионный осмотр (приложение 2) состояния опытного участка пути, с изъятием подшпальных прокладок. По результатам осмотра было отмечено, что после пропуска тоннажа более 800 млн т брутто, состояние опытного участка пути остаётся стабильным. Был проведён осмотр и замеры изъятых из пути подшпальных прокладок. Результаты обследования показали, что изъятые подшпальные прокладки сохранили основные геометрические и эксплуатационные параметры. Разрушение щебёночного слоя в местах укладки подшпальных прокладок под шпалами незначительно. Фотография изъятых подшпальных прокладок представлены на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10. Фотография изъятых подшпальных прокладок.

2.4. Технологическое обеспечение разработанных предложений по выправке пути

Для оперативного устранения, возникающих расстройств пути с минимальными потерями для перевозочного процесса, необходима разработка такой системы технического обслуживания пути, которая

позволит устранять отдельные неисправности в течение периода между назначением работ по сплошной выправке пути или работ капитального ремонта с минимальными затратами труда. Такая организация работ требует внесения изменений в технологические процессы, апробированные на сети дорог.

На основании обобщения накопленного опыта проведения работ по выправке пути на железобетонных шпалах, разработан технологический процесс по укладке упругих прокладок под подошву железобетонных шпал без нарушения слежавшейся постели (приложение 1).

Технология укладки подшпальных прокладок позволяет проводить работы по выправки пути без нарушения перевозочного процесса, перевозочного процесса в интервалах между проходами поездов с обеспечением безопасности движения, и техники безопасности работающих.

Подобная технология выправки неисправностей пути в рамках текущего содержания ранее не применялась.

Упругие подшпальные прокладки были использованы в эксперименте с безбалластной конструкцией пути на Экспериментальном кольце в Щербинке для устройства отвода. На опытном участке отвода от конструкции LVT путь проработал без выправки более 4 млн. т.

Накопленный опыт позволяет также рекомендовать использование упругих подшпальных прокладок в стыках при укладке звеньев пути на железобетонных шпалах, в кривых малого радиуса в Дальне-Восточном регионе, где невозможна укладка бесстыкового пути. Кроме того, следует отметить, что, по данным Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», развернутая длина пути для участков с различным радиусом составляет: 984,422 км для $R=299$ м и менее и 1858,978 км для $R=300-350$ м.

По результатам проведённых исследований разработана и утверждена временная инструкция по применению подшпальных прокладок при текущем содержании пути (приложение 3).

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Доказана целесообразность и эффективность применения упругих подшпальных прокладок для выправки просадок в стыках на железобетонных шпалах на особогрузонапряженных линиях.

2. Проведенные исследования показали, что устранение просадок амплитудой до 14 мм, возникающих в стыках на железобетонных шпалах, с помощью упругих прокладок, укладываемых под подошву шпал в подрельсовых сечениях, является эффективным способом текущего содержания пути.

3. Результаты эксплуатационных наблюдений показали, что после укладки упругих подшпальных прокладок для устранения просадок величиной до 14 мм дополнительная выправка стыков опытного участка не потребовалась до пропуска более 800 млн т брутто.

4. Применение упругих прокладок, укладываемых под подошву железобетонных шпал, оказывает положительное влияние на процесс накопления остаточных осадок пути. Результаты проведенных исследований показали, что после пропуска 600 млн т брутто уровень головки рельса типового стыка 324/325 изменился на 9 мм, а в стыке 326/327 с уложенными прокладками толщиной 14 мм и жёсткостью 40,29 кН/мм изменился всего на 4,5 мм, что в два раза меньше, чем в типовом стыке.

5. Ревизия стыков опытного участка после пропуска 800 млн т брутто показала износ и измельчение балластного слоя под шпалами при типовой конструкции стыка и отсутствие разрушения гранул щебня в стыках с уложенными под шпалами прокладками.

6. После пропуска 830 млн т брутто изъятые из пути прокладки сохранили размеры по толщине и не имели повреждений поверхности.

7. Наилучшие результаты с точки зрения накопления остаточных деформаций имели прокладки жесткостью 40,29 кН/мм.

ГЛАВА 3

РАССЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УПРУГИХ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

3.1. Основные положения исследований

Повышение осевых нагрузок, в том числе развитие тяжеловесного движения на сети российских железных дорог, обуславливает необходимость поиска оптимальных решений по улучшению конструкции железнодорожного пути. Предложения по усилению и повышению надежности путевой инфраструктуры охватывают все элементы железнодорожного пути и направлены, в первую очередь, на обеспечение безопасности там, где воздействие подвижного состава наиболее ощутимо влияет на стабильность пути. Например, актуальной задачей является снижение сил взаимодействия колеса и рельса в зоне рельсового стыка, которые могут достигать достаточно высоких значений вследствие ударных нагрузок [43].

Теоретическими расчётами конструкции железнодорожного пути занимались как российские, так и зарубежные учёные: Г.Е. Андреев, М.Ф. Вериги, В.Н.Данилов, А.И. Годыцкий-Цвирко, Р. Кольстер, А.А. Холодецкий, А.Циммерман и другие. Разработанные ими методы расчётов позволили решить актуальные вопросы расчётов пути, в том числе конструкции стыка, определения сил взаимодействия, возникающих в зоне контакта колёс подвижного состава и элементов верхнего строения пути.

В дальнейшем решение вопросов динамики железнодорожного пути и процессов, происходящих в реальном действующем пути, нашли отражение в работах: Г.М. Шахунянца, Е.М. Бромберга, М.Ф. Вериги, А.Я. Когана, Н.Н. Кудрявцева, М.А. Фришмана, В.Ф. Яковлева и других исследователей.

Одной из основных задач в разработке мероприятий, направленных на оптимизацию работы железнодорожного пути на железобетонных шпалах в

стыковой зоне, является определение способов исследования динамических процессов, возникающих в элементах подрельсового основания при движении тяжеловесных поездов по таким участкам. Это необходимо для получения полноценной информации о процессах, происходящих в реальных условиях при эксплуатации железнодорожного пути.

Помимо экспериментальных методов в рамках решения поставленной задачи обеспечения стабильности в стыковой зоне накоплен обширный опыт применения методов математического и имитационного моделирования. Для создания математической модели, описывающей взаимодействие железнодорожного пути и подвижного состава необходимо формализовать весь набор элементов конструкции, связи между элементами и наложенные ограничения. Такая модель после оценки ее адекватности может быть использована для экстраполяции на другие условия эксплуатации физических процессов, характеристики которых были получены в ходе экспериментов и эксплуатационных проверок.

По оперативности проведения исследований с использованием программных комплексов, возможности быстрого изменения исходной информации при экспериментах, оперативного получения результатов, математическое моделирование позволяет значительно сократить время на проведение экспериментов и уменьшить расходы на проведение работ по сравнению с натурными испытаниями.

Для исследования проблем в области взаимодействия пути и подвижного состава в России методы математического моделирования начали использоваться с 1960 года. Разработкам программных комплексов посвящены труды таких известных учёных как М.Ф. Вериги, О.П. Ершкова, Н.И. Карпущенко, А.Я. Коган, Н.И. Кудрявцев, Ю.С. Ромен и другие

Развитие и использование этих методов позволило получить близкие к реальным результаты расчетов взаимодействия пути и подвижного состава, расчёта упругих и остаточных деформаций пути при воздействии на него подвижного состава [12, 33, 34, 35].

В процессе проведённых научных исследований были разработаны не только различные методы расчёта силового взаимодействия элементов пути и подвижного состава позволяющие адаптировать расчётную схему к реальной системе «экипаж – путь», но и различные программные продукты, с помощью которых можно более реально моделировать силовое воздействие колеса на рельс.

За прошедшие годы в России и за рубежом были разработаны и успешно применяются программные продукты для математического моделирования в области железнодорожного транспорта. Это зарубежные модели: Vampire, Medina, Nucars, Gensys и др., российские «Дионис» ВЭИП, (разработка во ВНИИЖТе под руководством А.Я. Когана), модели В.М. Кондрашова и Ю.С. Ромена, а также комплексная модель «Универсальный Механизм (разработка БГТУ под руководством Д.Ю. Погорелова).

В данной исследовательской работе для моделирования динамического взаимодействия пути и подвижного состава использовался программный комплекс «Универсальный Механизм», с использованием в расчётах данных, полученных при проведенных ранее научных исследованиях[56], позволяющих учесть упругие свойства основания пути.

Одним из направлений совершенствования конструкции железнодорожного пути является использование упругих подшпальных прокладок [45, 46, 49], которое позволяет снизить вибрационные нагрузки, передающиеся от железобетонных шпал на щебеночный балласт и приводящие к перекомпоновке частиц щебня, сколу граней и истиранию частиц щебня, а при недостаточной его прочности – к разрушению частиц щебня. По исследованиям отечественных и зарубежных специалистов применение упругих подшпальных прокладок является одним из методов снижения вибраций, передаваемых от железобетонных шпал на щебень, в том числе в стыковой зоне. Результаты опытной эксплуатации конструкции железнодорожного пути с подшпальными прокладками в стыковой зоне на

Экспериментальном кольце «ВНИИЖТ» также показали значительно меньший износ щебня под шпалами в стыках с прокладками, чем в типовых стыках [18, 41, 43]. Несмотря на положительные результаты исследований и испытаний упругих подшпальных прокладок в зоне стыка, вопрос об их применении на сети российских железных дорог все еще не решен окончательно, и данная работа посвящена дальнейшему развитию этого направления.

3.2. Расчёт характеристик материалов для подшпальных прокладок

Увеличение веса грузовых поездов на сети железных дорог России и связанное с этим увеличение осевых нагрузок в перспективе до 27-30 т.с., обуславливает необходимость поиска оптимальных решений по улучшению конструкции железнодорожного пути, в том числе в части снижения сил взаимодействия пути и подвижного состава. Одним из направлений такого совершенствования устройства пути может стать использование эластичных подшпальных прокладок.

Для выбора характеристик материала и конструкции прокладок на Экспериментальном кольце Щербинка был организован цикл совместных работ специалистов АО «ВНИИЖТ» и разработчиков прокладок компании ООО «ЭМИРП». Ниже излагаются основные результаты исследований.

Основными расчётными характеристиками материалов, применяемых для изготовления упругих подшпальных прокладок являются логарифмический декремент, затухающих колебаний, статический модуль упругости $E_{ст}$ и динамический модуль упругости $E_{дин}$. В данной работе эти характеристики были определены в соответствии с международным стандартом ASTM D 945 «Стандартные методы испытаний свойств резины при сжатии или сдвиге (механический осциллограф)» (Standard Test Methods for Rubber Properties in Compression or Shear (Mechanical Oscillograph)).

Известно, что статический модуль упругости $E_{ст}$ (МПа) определяется следующим выражением:

$$E_{ст} = \frac{F/S}{\Delta l/l} = \frac{Fl}{S\Delta l}$$

где F – нормальная составляющая силы, Н;

S – площадь поверхности по которой распределено действие силы, м²;

l – высота деформируемого образца, м;

Δl – изменение высоты образца в результате упругой деформации (измеренного в тех же единицах, что и высота).

При этом динамический модуль упругости $E_{дин}$ (МПа) определялся по выражению:

$$E_{дин} = 0,996 If^2$$

где I — момент инерции балки, кг·м²;

f — частота затухающих колебаний, Гц.

Важной характеристикой процесса затухания колебаний является логарифмический декремент – физическая величина, описывающая уменьшение амплитуды колебательного процесса и равная натуральному логарифму отношения двух последовательных, отстоящих во времени на период, амплитуд колеблющейся системы:

$$v = \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

где λ_1 и λ_2 – две последующие амплитуды при свободно затухающих колебаниях.

Проведенными расчетами основных статических и динамических характеристик специалистами ООО «ЭМИРП» были определены численные значения параметров требуемого материала. Численные значения параметров приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Численные значения параметров материала для изготовления амортизаторов

Параметры материала	Значение
Статический модуль, $E_{ст}$, МПа	2,8
Динамический модуль, $E_{дин}$, МПа	8,4
Логарифмический декремент, усл. ед.	0,45

На основании полученных данных, специалистами ООО «ЭМИРП» были проведены расчеты характеристик упругих подшпальных прокладок для устранения просадок в стыках. В эксплуатации подшпальные прокладки должны выполнять функцию упругих амортизаторов, снижая вибрационную нагрузку на путь.

Основными характеристиками амортизаторов являются статическая жесткость C , собственная частота f_c и коэффициент виброизоляции η .

Статическая жесткость C (Н/м) для заданного интервала нагрузок определяется по выражению:

$$C = \frac{P}{\epsilon}$$

где P – нагрузка действующая на амортизатор, Н;

ϵ – деформации амортизатора под нагрузкой P , м.

Собственная частота f_c (Гц) рассчитывается по формуле [9]:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C \cdot k}{m}}$$

где C – жесткость подшпальной прокладки, Н/м;

k – коэффициент, отвечающий за изменение жесткости конструкции при динамическом нагружении;

m – масса груза (кг), воздействующая на амортизатор:

$$m = \frac{P}{g}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Способность амортизатора гасить колебания характеризуется коэффициентом виброизоляции η , определяемым выражением:

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right) \frac{4v^2}{4\pi^2 + v^2}}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2 \frac{4v^2}{4\pi^2 + v^2}}}$$

где f_B – частота вынужденных колебаний (частота колебаний возбуждающей силы), Гц[54].

Проведенные расчеты стали основой для выбора материала и конфигурации опытных образцов упругих прокладок. Специалистами ООО «ЭМИРП» были изготовлены и произведены исследования трех образцов упругих прокладок, изготовленных из различных материалов: на этиленовой основе (EVA), на пенообразующих компонентах (Schaum) и из резиновой смеси.

По результатам лабораторных испытаний был выбран материал – резина на основе изопреновых каучуков, отвечающий следующим требованиям:

- логарифмический декремент – 0,53;
- повышенная морозостойкость;
- накопление остаточной деформации не более 20%.

Из этого материала были изготовлены опытные прокладки с разными параметрами жесткости, которые использовались при проведении полигонных испытаний на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

3.3. Описание расчёта сил, действующих на путь, в программном комплексе «Универсальный Механизм»

На первом этапе исследований были проведены работы по моделированию и расчету вертикальных сил действующих на

железнодорожный путь в стыковой зоне при типовой конструкции стыка и при наличии подшпальных прокладок.

С целью оценки влияния применения подшпальных прокладок на показатели взаимодействия пути и подвижного состава был проведен модельный эксперимент в программном комплексе «Универсальный механизм» - стандартизованной программе, в которой возможно изменять жесткостные характеристики модели пути с применением встроенного модуля «Упругий путь».

Для расчета была взята модель четырехосного вагона на тележках 18-100 с нагрузкой 23,5 тс. В процессе подготовки к модели вагона был добавлен модуль «Упругий путь» (рисунок 3.1).

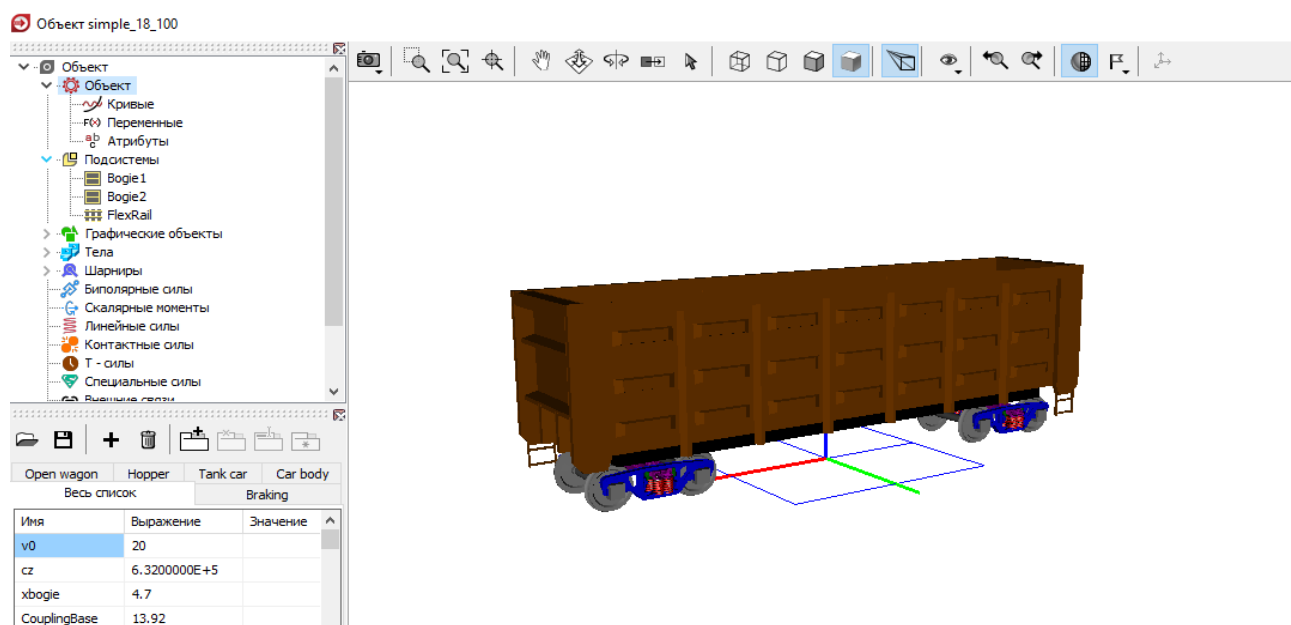


Рисунок 3.1. Модель четырехосного вагона с добавлением модели «Упругий путь» в программном комплексе «Универсальный механизм»

В математической модели рельсы представлены в качестве балок Тимошенко, передающих нагрузку на шпалы, представляющие собой твердые тела, лежащие на упругом основании. Для создания протяженного пути использовались секции из 32 шпал, что обусловлено наиболее реалистичным описанием протяженного железнодорожного пути [56].

В проведенных профессором В.Н. Даниловым исследованиях по расчету стабильности рельсовой колеи в стыковой зоне, отмечена взаимосвязь жёсткости подрельсового основания и вертикальной силы действующей от колеса на рельс. Эта взаимосвязь выражена следующей формулой [37]:

$$ж = \frac{Q}{\gamma},$$

где ж – жесткость подрельсового основания. кН/м;

Q – вертикальная сила, действующая от колеса на рельс, кН;

γ – вертикальный прогиб рельса под колесом, м.

Из формулы следует что уменьшение жесткости подрельсового основания позволяет снизить частоту вибрационной нагрузки на путь. При этом результаты проведенных испытаний по оценке влияния частоты приложения нагрузки от подвижного состава на уровень сил, действующих на путь, показали, что с ростом частоты приложения нагрузки силы действующие на путь возрастают. [55] Изначально в процессе моделирования жесткость основания принималась 60,00 кН/мм и регулировалась с использованием подшпальных прокладок. В проведенных расчётах отражено влияние на вертикальные силы взаимодействия колеса и рельса наличие в конструкции пути подшпальных прокладок с жесткостью: 40,29 кН/мм и 36,00 кН/мм. Указанные параметры жесткости подшпальных прокладок для создания модели пути были приняты на основе экспериментов. При этом образцы подшпальных прокладок с такими же параметрами жесткости на момент моделирования уже прошли эксплуатационные испытания на Экспериментальном кольце.

Таким образом, с учетом последовательного соединения элементов конструкции железнодорожного пути, суммарная вертикальная жесткость основания при наличии подшпальных прокладок может быть рассчитана по формуле:

$$k = \frac{k_o \cdot k_{\pi}}{k_o + k_{\pi}}$$

где k_0 - жесткость основания, кН/м;

$k_{\text{п}}$ - жесткость подшпальной прокладки, кН/м.

Полученное значение суммарной жесткости было использовано для изменения параметров подшпального основания в математической модели и определения коэффициента диссипации μ , Нм/с, по формуле:

$$\mu = 2\beta\sqrt{mk}$$

где m – приведенная масса подрельсового основания;

β – доля демпфирования, значения которой лежат обычно в диапазоне $\beta = 0,1 \div 0,4$. Для решения рассматриваемой задачи доля демпфирования была принята 0,2 [59].

Приведенная масса подрельсового основания может быть рассчитана по формуле [4]:

$$m = \frac{\gamma_0 \sigma}{g} \int_0^H e^{-2\varepsilon z} dz,$$

где γ_0 – удельный вес материала основания, т/м³;

σ – длина шпалы, м;

H – глубина распространения вертикальных перемещений, м;

$\varepsilon = 1 \div 1,5$ - параметр функции распределения вертикальных перемещений по глубине основания;

$g = 9,81$ м/с²;

z – вертикальные перемещения в точке приложения силы [57].

В программном комплексе «Универсальный механизм» с применением модуля «Упругий путь» при расчете контактных сил используется модель В. Кика и И. Пиотровского [57]. При этом суммарная нормальная реакция может быть найдена по формуле

$$N = N_e + N_d$$

где N_e – упругая составляющая;

N_d – диссипативная составляющая.

Для расчета вертикальных сил, действующих на железнодорожный путь в стыковой зоне, моделировалось движение грузового вагона с

нагрузкой 23,5 тс и скоростью 60 км/час по прямому пути с неровностями (просадками), устроенными через каждые 50 м и задающими воздействие аналогичное воздействию стыка на подвижной состав. В модели пути задавались три варианта упругого основания с различной жесткостью, рассчитанной с учетом наличия подшпальных прокладок с жесткостью 40,29 кН/мм и 36,00 кН/мм и без подшпальных прокладок.

В модели связи задаются силовыми элементами, и программный комплекс позволяет рассчитать компоненты силы, действующей на шпалу. Таким образом, используя описанные инструменты для создания переменных, были рассчитаны силы, действующие в вертикальной плоскости на шпалу при движении груженого вагона по пути со стыками при наличии и отсутствии подшпальных прокладок.

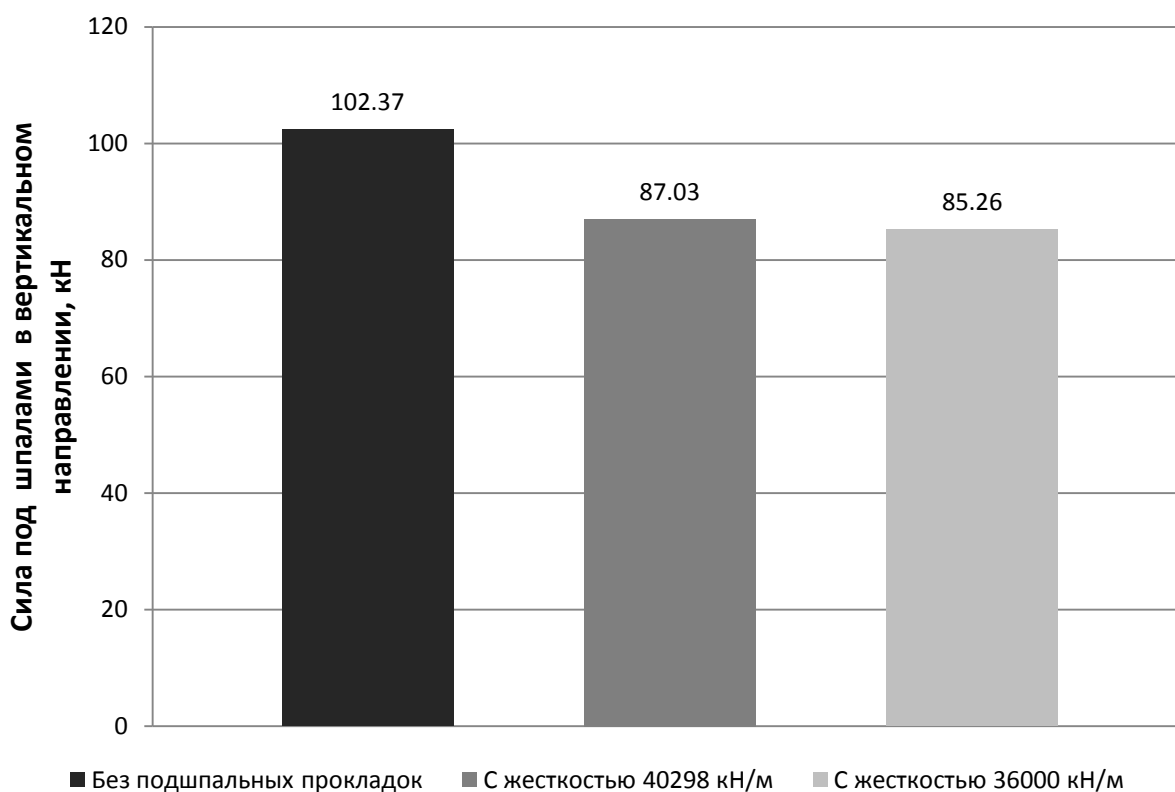


Рисунок 3.2. Значения вертикальных сил, действующих на шпалу, полученные в процессе моделирования движения вагона по пути в стыковой зоне.

Полученные результаты демонстрируют снижение расчетного уровня вертикальных сил при математическом моделировании движения вагона по

пути с наличием подшпальных прокладок, по сравнению с движением по типовой конструкции пути без прокладок под шпалой на 15% (рисунок 3.2).

Для верификации расчетов были использованы результаты экспериментов, проведенных на Экспериментальном кольце В.Ф. Барабошиным, в которых были определены силы, действующие на шпалы в зоне стыка. На принимающей шпале им были получены значения сил равные 110 кН, что удовлетворительно корреспондируется с силами, найденными по результатам расчетов, равными 102 кН.

Для оценки влияния применения подшпальных прокладок на вертикальную силу, действующую со стороны колеса на рельс в стыковой зоне, были рассчитаны вертикальные силы и вертикальные прогибы рельса под колёсами при движении вагона по пути без стыков с подшпальными прокладками различной жёсткости. Связь между рассчитанными на модели прогибами целого рельса y_p и прогибами рельса со стыком $y_{ст}$ была установлена через коэффициент γ по формуле предложенной профессором В.Н. Даниловым.

$$\gamma = \frac{y_{ст} - y_p}{P} \cdot \frac{8El}{l^2},$$

где γ - коэффициент, устанавливающий связь между прогибами целого рельса (y_p) и рельса со стыком ($y_{ст}$);

P – вертикальная сила, действующая от колеса на рельс, кгс;

E – модуль упругости рельсовой стали, кг/см²;

I – момент инерции рельса, см⁴;

l – длина межшпального расстояния, см.

Соотношения прогибов рельсов в стыке были рассчитаны для пути без подшпальных прокладок и с подшпальными прокладками различной жесткости и использованы для расчетов вертикальных сил, действующих от колеса на рельс в стыке.

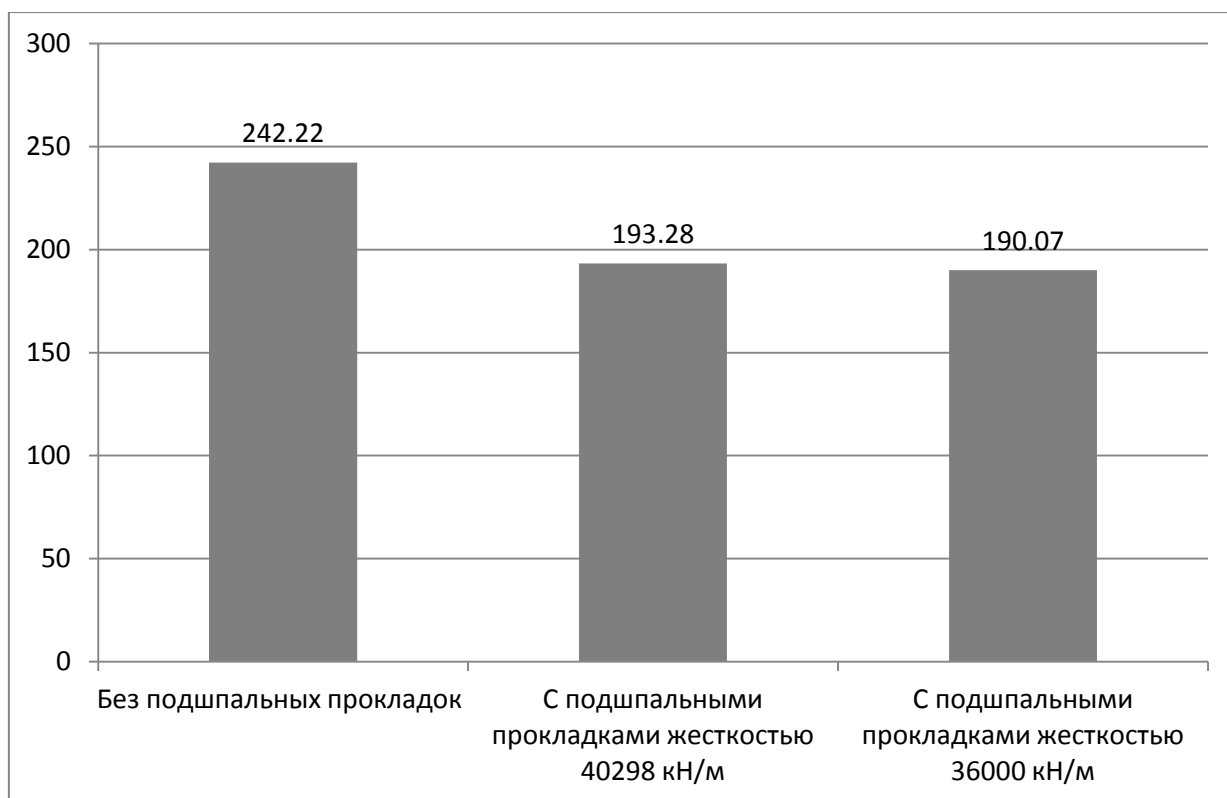


Рисунок 3.3. Значения вертикальных сил, полученные в процессе моделирования движения вагона по пути в стыковой зоне.

Полученные результаты демонстрируют снижение расчетного уровня вертикальных сил при математическом моделировании движения вагона по пути с наличием подшпальных прокладок, по сравнению с движением по типовой конструкции пути без прокладок под шпалой на 20% (рисунок 3.3), что позволяет сделать вывод о возможности использования подшпальных прокладок при текущем содержании верхнего строения пути для улучшения показателей взаимодействия пути и подвижного состава.

3.4. Экспериментальная оценка взаимодействия пути и подвижного состава в стыковой зоне

Результаты проведенных эксплуатационных испытаний по оценке влияния частот приложения нагрузки от подвижного состава на уровень сил, действующих на путь показали, что с ростом частоты приложения нагрузки, силы, действующие на путь, возрастают. [55]

Вибрационные нагрузки, передающиеся от железобетонных шпал на щебеночный балласт, приводят к перекомпоновке частиц щебня, сколу граней и истиранию частиц щебня, а при недостаточной его прочности – к разрушению частиц щебня.

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с вибрациями, передаваемыми от железобетонных шпал на щебень, является применение упругих подшпальных прокладок. Результаты опытной эксплуатации такой конструкции на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ показали значительно меньший износ щебня под шпалами в стыках с прокладками, чем в типовых стыках.[46]

Для сравнительной оценки нагрузок, передаваемых железобетонными шпалами на балласт, было принято решение провести замеры ускорений в зоне типовых стыков и стыков с уложенными под шпалы упругими амортизаторами.

Экспериментальные исследования проводились на 2-м кольцевом пути Экспериментального кольца ВНИИЖТ, в кривой радиусом R 860 м, рельсы типа Р65, шпалы железобетонные скрепления КБ65. Для проведения исследований был подготовлен опытный участок с тремя разными конструкциями стыков:

- типовая конструкция стыка;
- типовой стык с подшпальными прокладками;
- сварной стык с подшпальными прокладками.

Измерительные приборы (акселерометры) закреплялись на железобетонных шпалах в засверленные отверстия по обоим концам шпал. Тип акселерометров НВМВ12/500. На каждом из видов стыков измерения ускорений производилось на шпалах под отдающим рельсом (шпала № 1) и на двух шпалах под принимающим рельсом (шпала № 1, 2) (рис.3.4).

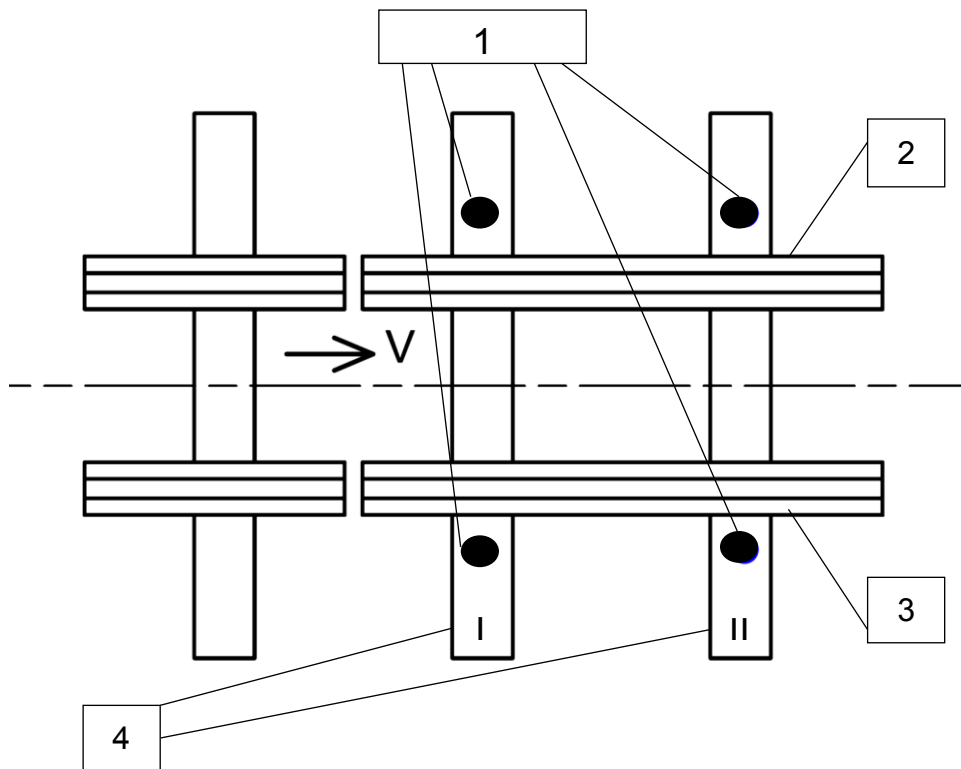


Рисунок 3.4. Схема расположения приборов на участке: 1 – акселерометры; 2 – наружный рельс; 3 – внутренний рельс; 4 – принимающие шпалы (первая и вторая)

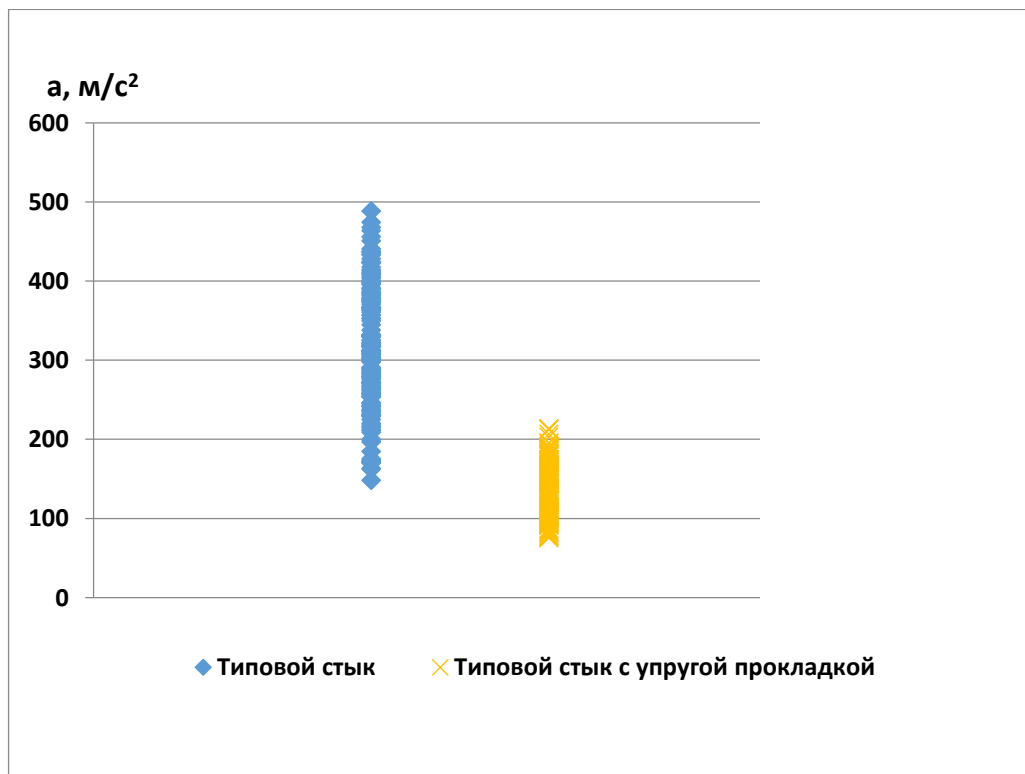


Рисунок 3.5. Ускорение на первой (принимающей) шпале. Скорость 60 км/ч: \blacklozenge – типовой стык, \times – типовой стык с упругой прокладкой

На каждую шпалу устанавливалось по 2 акселерометра у наружного и внутреннего рельсов. Измерение ускорений на шпалах проводились при проходе по опытному участку грузового состава состоящего из восьмиосного электровоза ВЛ80с и 10 грузовых полувагонов с нагрузкой 23,5 т на ось при движении со скоростями 25 км/ч, 40 км/ч и 60 км/ч. Измерения сигналов производилось системой Spider8 с несущей частотой 4,8 кГц при частоте оцифровке до 600 Гц. Величины полученных ускорений показаны на рисунке 3.5.

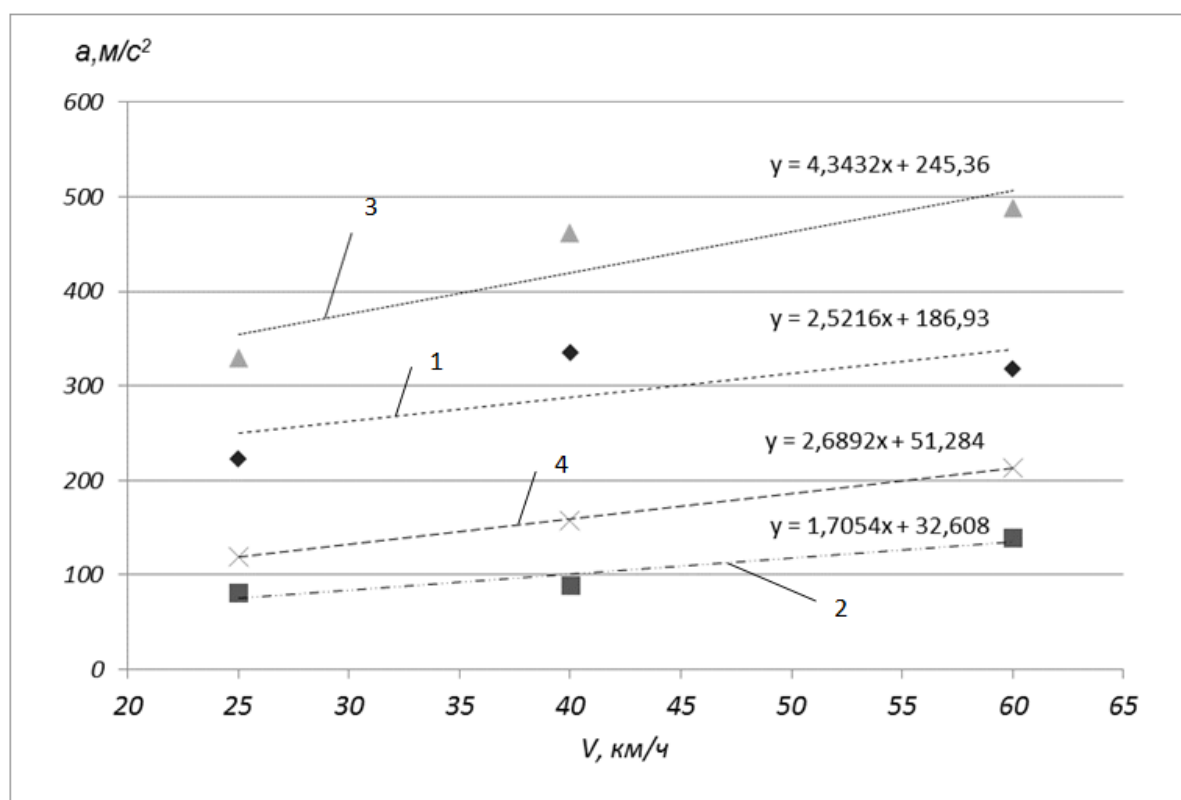


Рисунок 3.6. Ускорения на первой (принимающей) шпале.

Внутренний рельс: \blacklozenge – типовой стык (средние значения ускорений); \blacksquare – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); \blacktriangle – типовой стык (максимальные значения ускорений); \times – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой.

На рисунках 3.6 – 3.7 представлены зависимости ускорений в типовом стыке и стыке с упругими прокладками под шпалами от скорости.

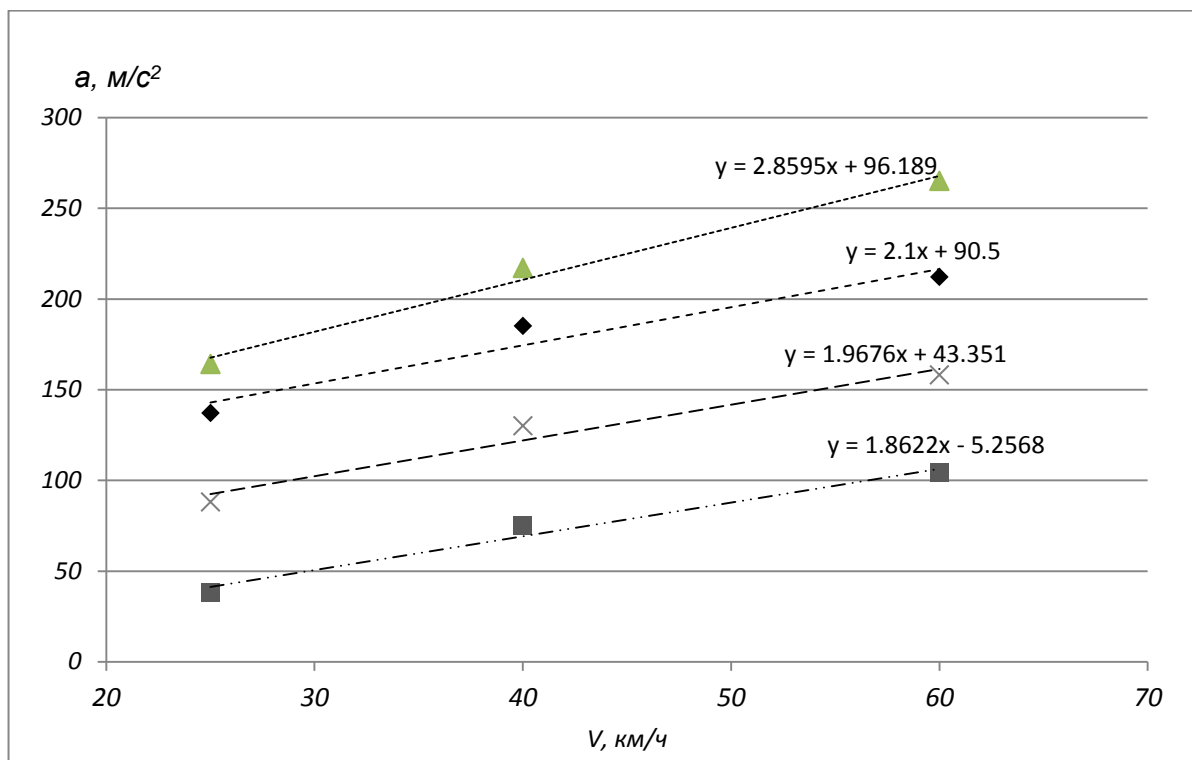


Рисунок 3.7. Ускорения на второй (принимающей) шпале.

Внутренний рельс: \blacklozenge – типовой стык (средние значения ускорений); \blacksquare – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); \blacktriangle – типовой стык (максимальные значения ускорений); \times – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой

Численные значения полученных ускорений приведены в таблице 2.

Таблица 3.2. Ускорения на шпалах при наличии и отсутствии прокладок

Шпала	Скорость, км/ч	Ускорение на шпале (типовой стык), м/с ²		Ускорение на шпале (типовой стык с упругой прокладкой), м/с ²		Отношение ускорения (типовой стык/типовой стык с упругой прокладкой)	
		Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	По средним	По максимальным
Первая (принимающая)	25	223,1	329,8	82,1	119,7	2,7	2,8
	40	335,7	461,6	88,9	158,4	3,8	2,9
	60	313,0	488,4	139,9	213,3	2,2	2,3

Шпала	Скорость, км/ч	Ускорение на шпале (типовой стык), м/с ²		Ускорение на шпале (типовой стык с упругой прокладкой), м/с ²		Отношение ускорения (типовой стык/типовой стык с упругой прокладкой)	
		Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	По средним	По максимальным
Вторая (принимающая)	25	137,4	163,5	38,2	88,1	3,6	1,9
	40	184,7	217,0	75,3	130,0	2,5	1,7
	60	211,7	265,6	104,0	158,1	2,0	1,7

В среднем, по всем скоростям на 1-ой принимающей шпале в типовом стыке ускорения выше по средним значениям в 2,9 раза, а по максимальным – в 2,65 раза; по 2-ой принимающей шпале – по средним значениям выше в 2,69 раза, а по максимальным – в 1,74 раза, чем в стыке с упругим амортизатором под шпалой. Полученные данные хорошо коррелируются с результатами рассчитанными с применением программного комплекса «Универсальный механизм».

В среднем по всем скоростям на 1-ой принимающей шпале в типовом стыке по сравнению со 2-й среднее значение ускорения выше в 1,63 раза, а максимальные – в 1,98 раза.

При наличии прокладки под шпалой разница составляет по средним значениям 26%, а по максимальным – 99%.

На рисунке 3.8 показаны величины ускорений для типового стыка с упругой прокладкой и сварного стыка с упругой прокладкой.

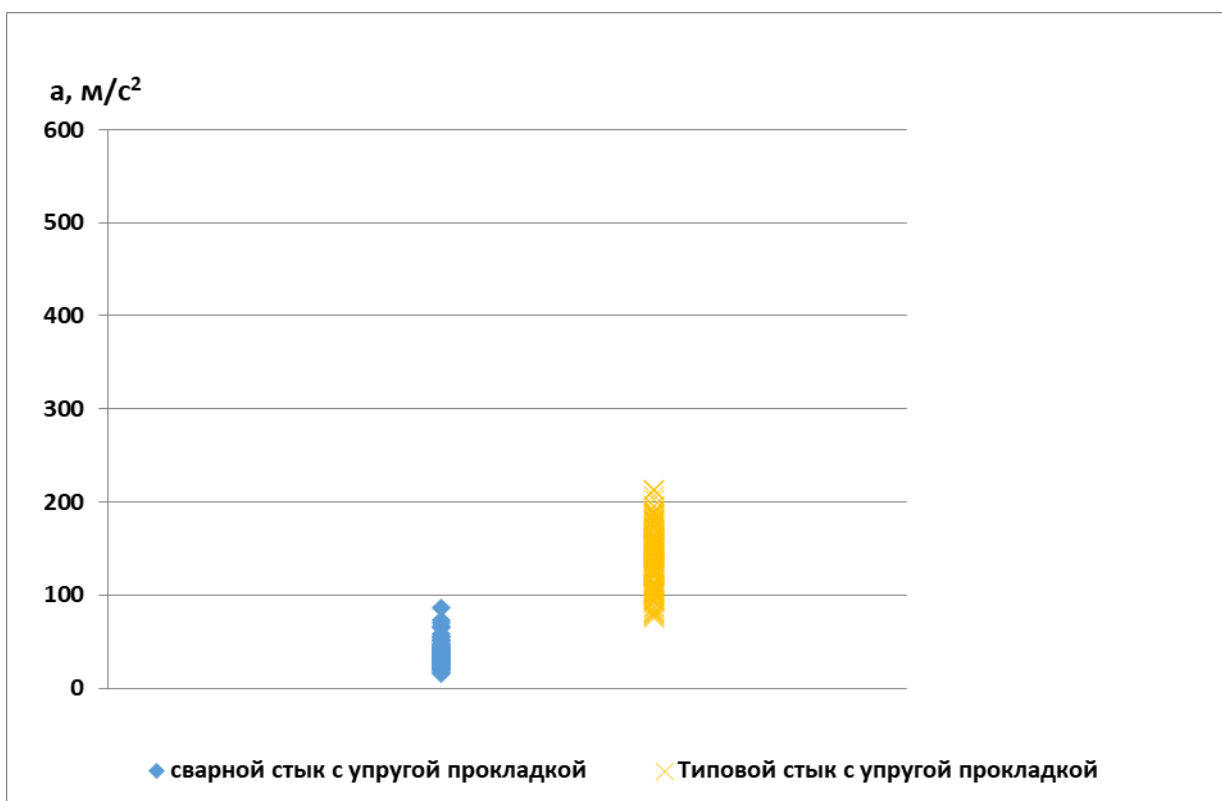


Рисунок 3.8. Ускорения на 2-ой принимающей шпале. Внутренний рельс. Скорость 60 км/ч: -сварной стык с упругой прокладкой; -типовой стык с упругой прокладкой.

На рисунках 3.9 – 3.10 представлены зависимости ускорений в типовых стыках с прокладками и в сварных стыках с упругими амортизаторами под шпалами от скорости.

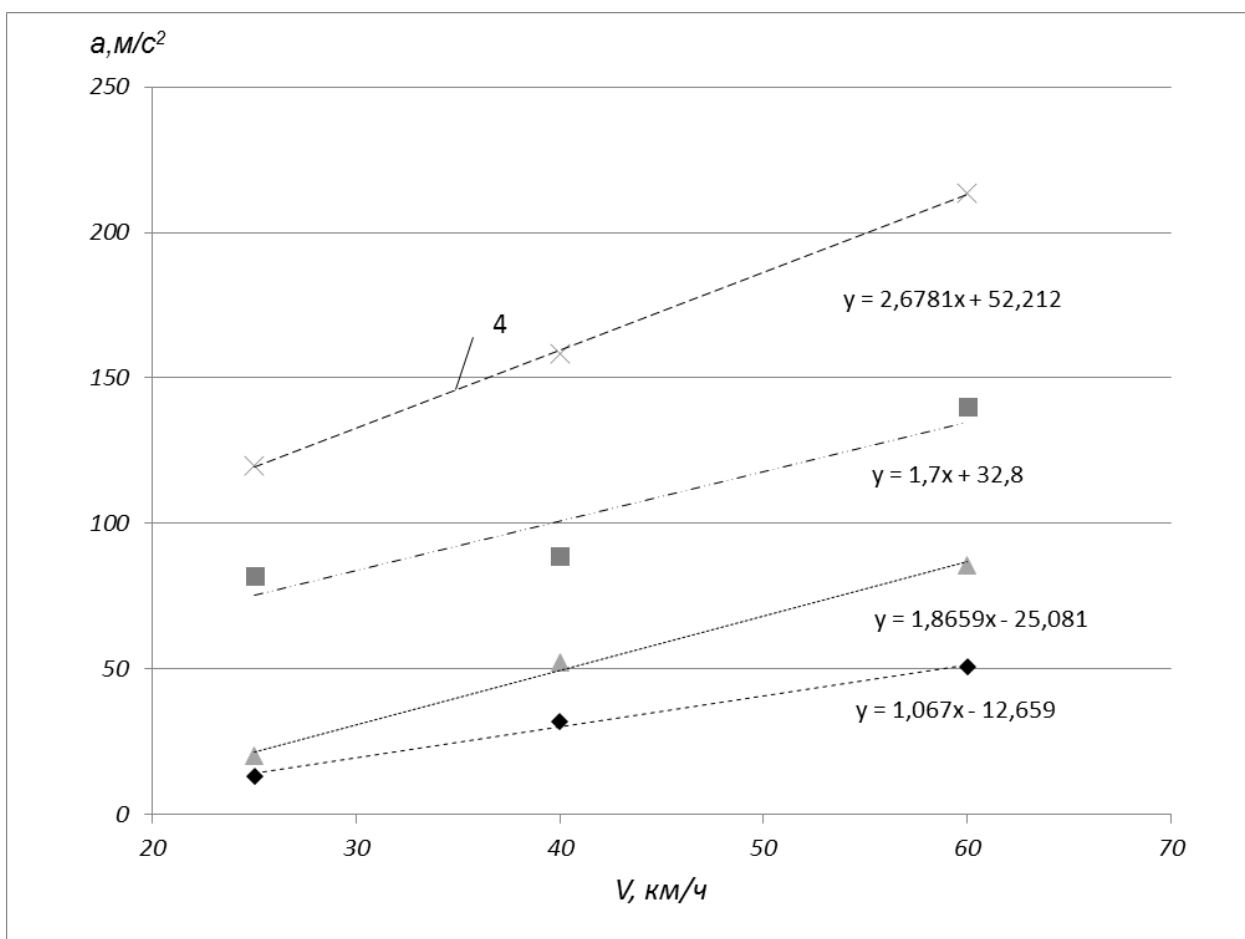


Рисунок 3.9. Ускорения на первой (принимающей) шпале. Внутренний рельс:
 ◆ – сварной стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений);
 ■ – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений);
 ▲ – сварной стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений);
 ✕ – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений);
 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в сварном стыке с упругой прокладкой; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в сварном стыке с упругой прокладкой; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой

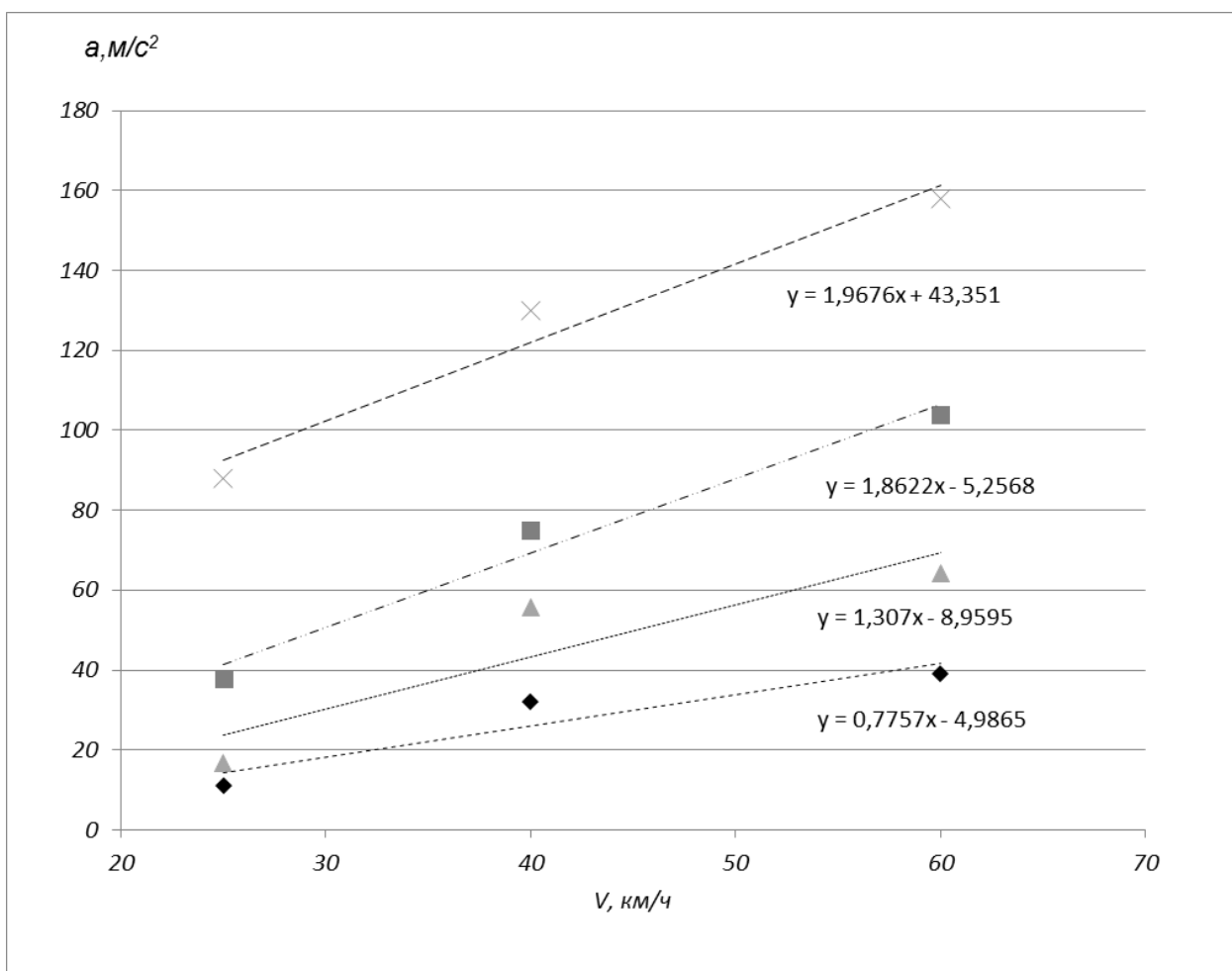


Рисунок 3.10. Ускорения на второй (принимающей) шпале. Внутренний рельс:

- ♦ – сварной стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений);
- – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений);
- ▲ – сварной стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений);
- × – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений);
- 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в сварном стыке с упругой прокладкой; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в сварном стыке с упругой прокладкой; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой

В таблице 3.3 представлены полученные численные значения ускорения.

Таблица 3.3. Ускорения на шпалах при наличии прокладок в типовом и сварном стыках

Шпала	Скорость км/ч	Ускорение на шпале типовой стык с упругой прокладкой, м/с ²		Ускорение на шпале сварной стык с упругой прокладкой, м/с ²		Отношение ускорения типовой стык с прокладкой/сварной стык с прокладкой	
		Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	По средним	По максимальным
1-ая Принимающая	25	82,1	119,7	13	20	6,3	6,00
	40	88,9	158,4	31,8	52,3	2,80	3,03
	60	139,9	213,3	50,6	85,7	2,76	2,49
2-ая принимающая	25	38,2	88,1	10,8	16,7	3,54	5,28
	40	75,3	130	31,6	55,6	2,38	2,34
	60	104	158,1	39,5	64,2	2,63	2,46

В среднем по всем скоростям на 1-ой принимающей шпале в типовом стыке с прокладками ускорения выше по средним значениям в 3,9 раза, а по максимальным – в 3,8 раза по сравнению со сварным стыком; на 2-ой принимающей шпале – по средним значениям выше в 2,8 раза, а по максимальным – в 3,3 раза.

Анализ угловых коэффициентов в уравнениях регрессии (рис.3.9, 3.10) показывает, что в типовых стыках при использовании резиновых прокладок график зависимости ускорения на шпале от скорости имеет больший угловой коэффициент и больший свободный член, чем в сварных стыках с использованием упругих прокладок.

Расчетные значения вертикальных сил в типовом стыке в 2,3- 2,6 раза выше, чем в стыке с подшпальными прокладками, значение ускорений полученных при проведении экспериментов в типовом стыке по средним значениям выше в 2,9 раза по максимальным значениям выше в 2,65 раза, чем в стыке с упругими прокладками под шпалой.

Полученные результаты показывают хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Необходимо отметить, что экспериментальные исследования проводились при зазорах в стыках не превышающих нормативных значений.

Анализ полученных данных позволил рассмотреть вопрос о возможности повышения скоростей пропуска поездов до 40 км/час с зазорами в стыках 31-32 мм при укладке упругих прокладок под шпалы после проведения соответствующих исследований.

Для реализации поставленных задач на Экспериментальном кольце были проведены испытания, целью которых было исследование условий ограничения скорости движения поездов, в зависимости от величины зазора в стыке с учетом просадок и изменения реакции подвижного состава.

При проведении экспериментальных исследований эксплуатировался грузовой состав весом до 6 тыс. тонн с вагонами с осевой нагрузкой 23,5 т, со скоростями 25,40 и 60 км/ч.

На рисунке 3.11 представлена схема расстановки измерительных датчиков в стыковой зоне опытного стыка.

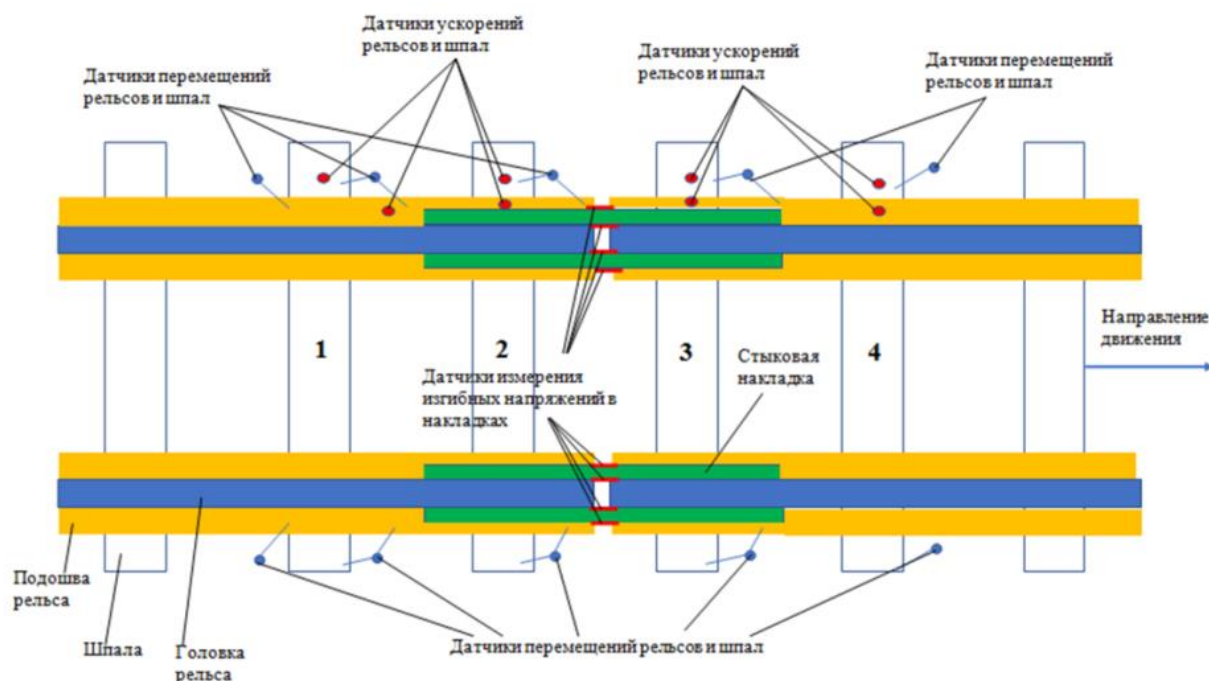


Рисунок 3.11. Схема расстановки датчиков измерения на опытном стыке.

В качестве основного показателя, характеризующего силовое взаимодействие пути и подвижного состава в зоне стыков, приняты

напряжения в стыковых накладках. В ходе исследований рассматривались 3 варианта работы стыка: стык без просадки, стык с просадкой 15 мм и стык после устранения просадки с помощью упругой подшпальной прокладки толщиной 14 мм.

На рисунке 3.12 приведены зависимости напряжений в накладках от величины зазора в стыке при скорости 25 км/ч. Как видно из графиков, при отсутствии просадки в стыке напряжения монотонно возрастают, но во всем диапазоне рассмотренных зазоров от 24 до 35 мм не превышают 130 МПа.

При наличии просадки 15 мм напряжения резко возрастают до 220 МПа, а после укладки упругих прокладок снижаются более чем в 2 раза и оказываются ниже, чем в пути без прокладок.

При зазорах 30 и 32 мм при наличии упругих прокладок величины напряжений практически одинаковы и не превышают 80 МПа.

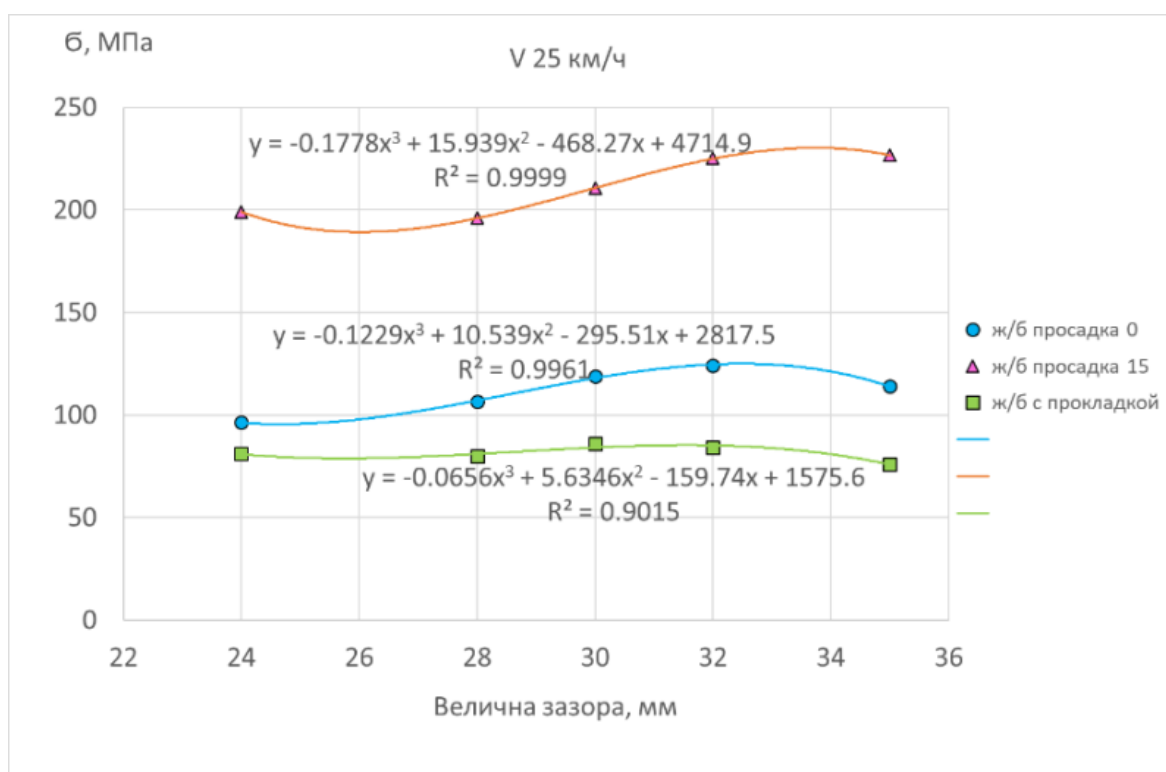


Рисунок 3.12. Зависимости напряжений в накладках от величины зазора в стыке при скорости 25 км/ч

Аналогичная картина наблюдается при скорости 40 км/ч (рис. 3.13) - величины напряжений при укладке подшпальных прокладок не превышают 70 МПа и практически одинаковы при зазорах 30 и 32 мм.

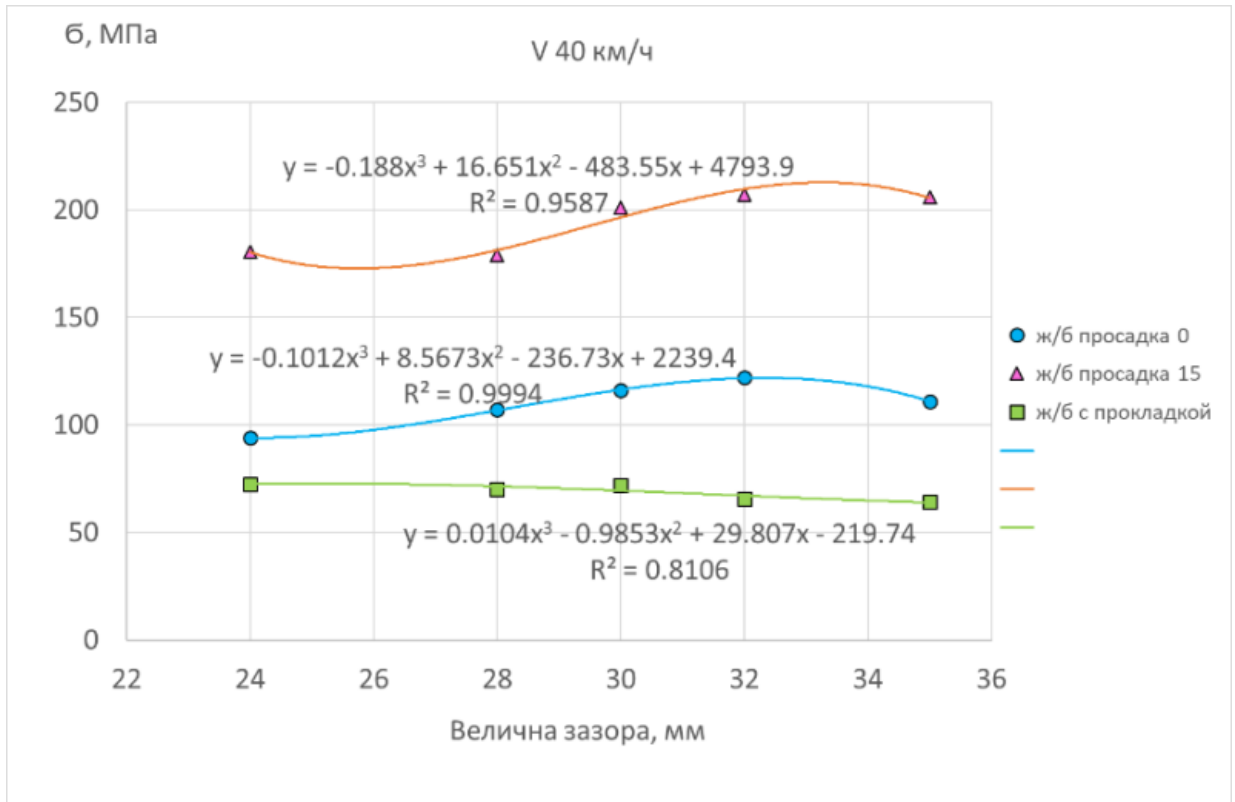


Рисунок 3.13 Зависимости напряжений в накладках от величины зазора в стыке при скорости 40 км/ч

При скорости 60 км/ч (рис. 3.14) картина носит аналогичный характер до величин зазора 30 мм.

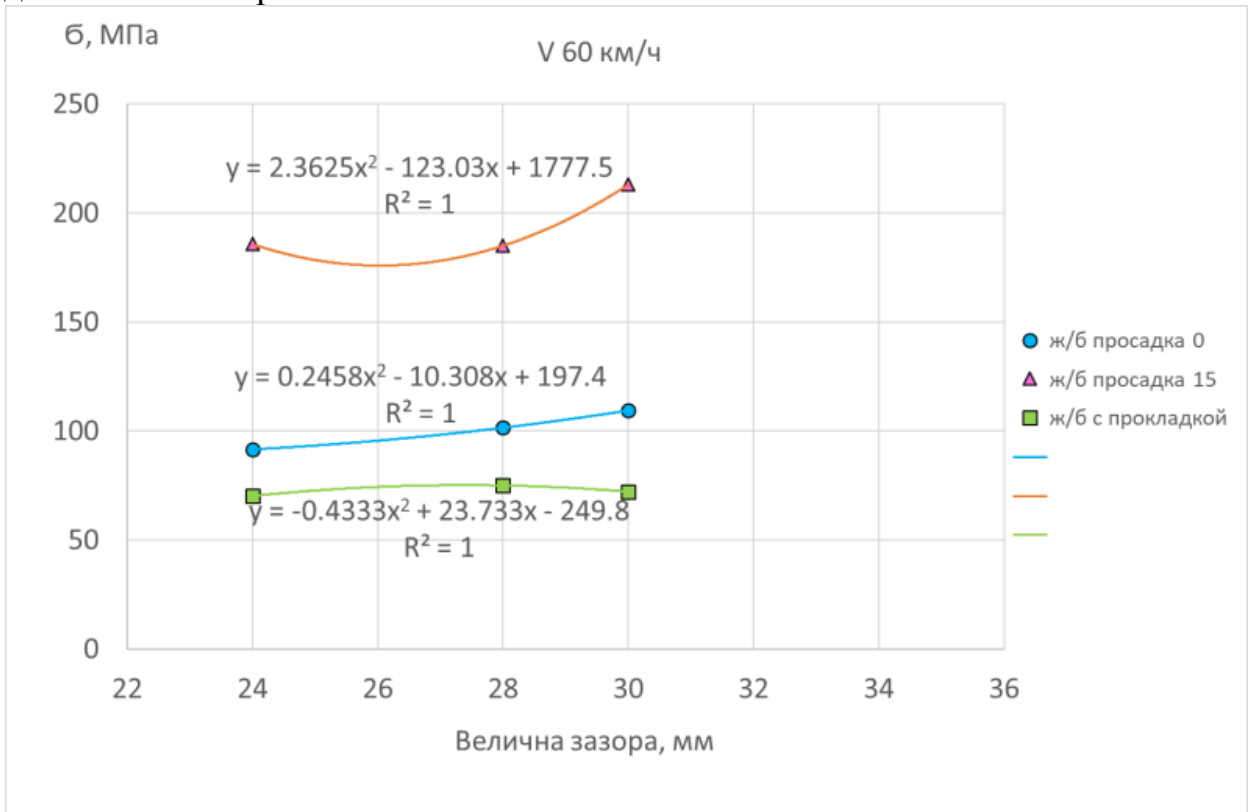


Рисунок 3.14 Зависимости напряжений в накладках от величины зазора в стыке при скорости 60 км/ч

На рисунках 3.15 и 3.16 приведены зависимости напряжений от скорости. Как следует из рисунка 3.15 увеличение скорости с 25 до 40 км/ч при зазоре 30 мм не приводит к росту напряжений в накладках при наличии упругих прокладок под шпалами. Аналогичная картина имеет место и при зазоре 32 мм (рис.3.16).

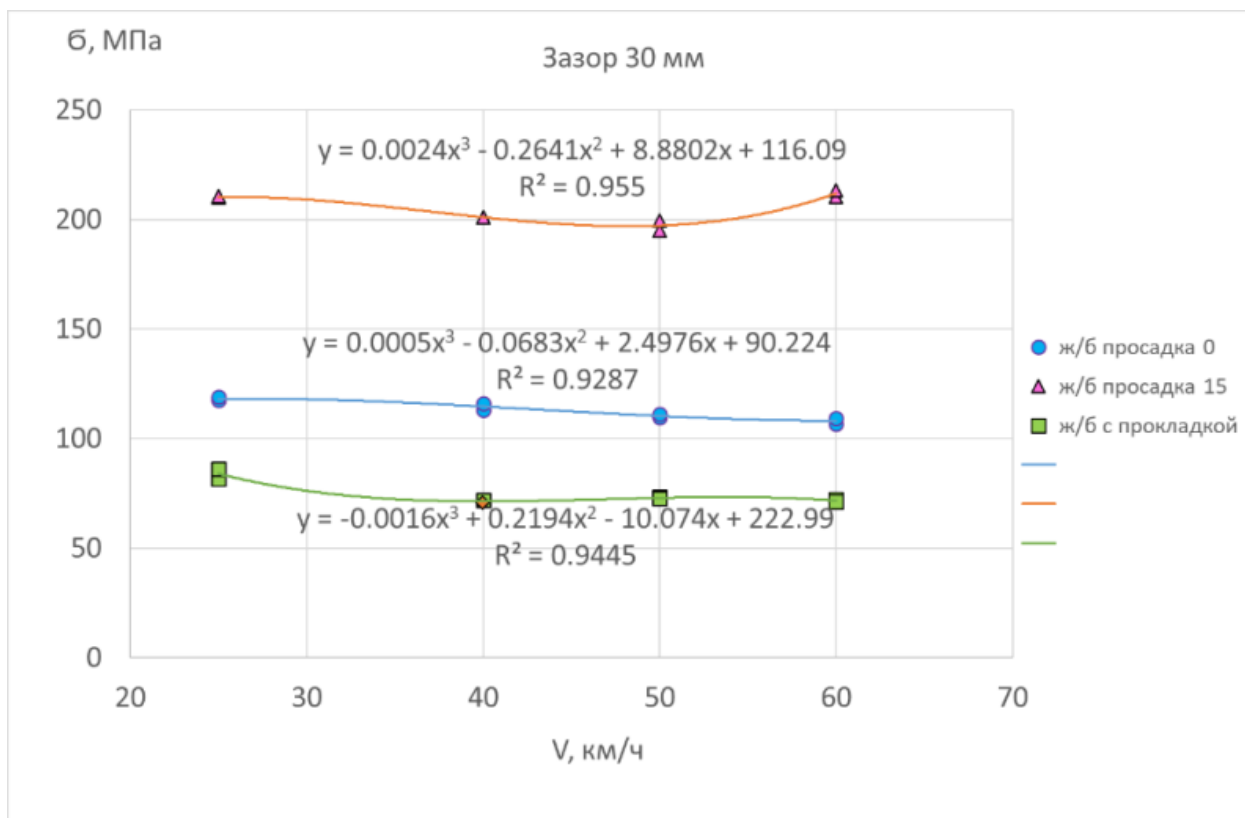


Рисунок 3.15. Зависимости напряжений от скорости при зазоре в стыке 30 мм

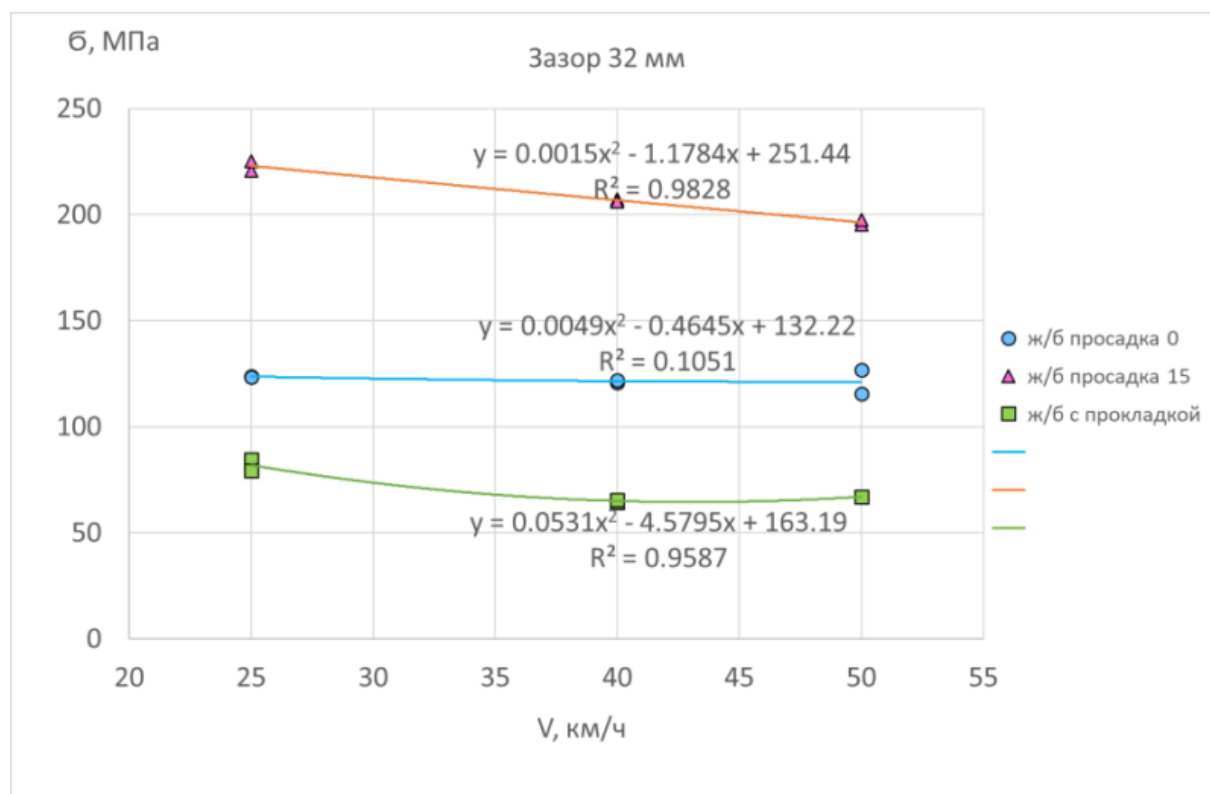


Рисунок 3.16 Зависимости напряжений от скорости при зазоре в стыке 32 мм

Следует отметить, что результаты экспериментов подтвердили выводы теоретических расчетов о снижении показателей силового взаимодействия с ростом скорости движения за счет сокращения времени удара.

Таким образом, можно констатировать, что применение упругих прокладок в стыках на железобетонных шпалах позволяет повысить скорость пропуска поездов по зазору в стыке 32 мм до 40 км/ч.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Проведенные экспериментальные исследования по оценке динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне показали, что ускорения на принимающих шпалах стыка с упругими прокладками в 2,9 раза по средним значениям и в 2,65 раза по максимальным значениям ниже, чем в типовом стыке.

2. Результаты, полученные на основании проведенного в программном комплексе «Универсальный механизм» математического моделирования показывают, что при использовании упругих прокладок в стыковой зоне происходит снижение вертикальных сил, возникающих при взаимодействии пути и подвижного состава по сравнению с типовой конструкции пути в 1,3 раза. Полученные результаты согласуются с проведенными ранее В. Ф. Барабошиным исследованиями в этой области.

3. Полученные результаты исследований демонстрируют хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных и обосновывают целесообразность применения упругих в конструкциях верхнего строения пути для улучшения показателей взаимодействия пути и подвижного состава.

4. По результатам экспериментальных исследований можно констатировать, что применение упругих подшпальных прокладок в стыках на железобетонных шпалах позволит повысить скорость пропуска поездов по пути с зазорами в стыке 32 мм с 25 км/час до 40 км/час.

ГЛАВА 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК ПРИ ВЫПРАВКЕ ПУТИ В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ

Поскольку результаты эксплуатационных наблюдений показали эффективность способа укладки упругих подшпальных прокладок для выправки стыков, может быть определена сопоставимость затрат на разовые вложения в укладку упругих прокладок и периодических выправок пути традиционным способом.

В настоящей работе проведена сравнительная оценка экономической эффективности выполнения работ текущего содержания пути при выправке пути с подбивкой железобетонных шпал электрошпалоподбойками и укладкой упругих прокладок амортизаторов под подошву шпал. Расчёты экономического эффекта при выполнении указанных работ проведены в соответствии с методологией, действующей в ОАО «РЖД» [83].

Для расчёта трудозатрат на выправку пути с подбивкой шпал электрошпалоподбойками принята норма времени в нормочасах один стык (10 концов шпал) в соответствии с действующими в ОАО «РЖД» нормативными документами [84]. В стоимость работ по выправке пути в расчёте на 1 стык включены затраты на оплату труда комплексной бригады монтажников пути. Полученная величина увеличена на 30 % (экспертная оценка) для учёта стоимости дополнительных работ выполняемых при подбивке шпал (ограждение места работ, накладных и транспортных затрат). При выправке пути с использованием подшпальных укладывается 5 упругих прокладок под подошву железобетонных шпал в стыковой зоне по обоим нитям. При стоимости одной упругой прокладки 5640 руб., стоимость комплекта из 10-х штук - 56400 руб. В соответствии с разработанным техническим процессом, трудозатраты на укладку комплекта подшпальных прокладок составляет 58701 руб.

Для анализа экономической эффективности разных способов выправки пути рассмотрены варианты при грузонапряжённости 50, 100 и 150 млн т брутто в год.

В таблице 4.1 приведена оптимизация расходов на выправку пути при текущей эксплуатации.

Таблица 4.1. Трудозатраты на проведение работ по выправке пути

Стоимость подбивка ЭШП (10 шпал) ТНК-09		количество	стоимость норма час	
Монтеры пути	2,03	6	290,18	3534,3924
Машинист	0,41	1	350	143,5
			Итого	3677,8924
Стоимость подбивки на 1 стык с учетом накладных, транспортных, ограждения работ, сигналистов (Принимаем 30%), Руб.	30% - приняты экспертно		итого за 20 шпал	9562,52

С целью приведения полученного снижения затрат при текущем содержании пути к статистически сопоставимым, принимаем грузонапряженностью для различных дорог 50, 100, 150 млн.т. в год (таблица 4.2).

Таблица 4.2. Трудозатраты при проведении выправки пути в зоне стыков.

Грузонапряженность, млн т	50	100	150
Количество выправок в год	2	3	5
Стоимость подбивки уравнильного пролета	9562,52	9562,52	9562,52
Общая стоимость	19125,04	28687,6	47812,6

При грузонапряжённости 50 млн т брутто общая стоимость работ составит 19125 руб.

При грузонапряжённости 100 млн т брутто стоимость работ составит 28687 руб., при грузонапряжённости 150 млн т брутто – 47812 руб., за счёт увеличения потребного количества выправки пути в год.

Для определения экономической целесообразности внедрения новой технологии по укреплению пути в зоне стыка применяется формула чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

ЧДД рассчитывается по формуле (1)

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=1}^n \frac{(R_t - Z_t)}{(1 + r)^i} - I_{nv}$$

где R_t - результаты, достигаемые на каждом шаге;

Z_t - затраты, осуществляемые на том же шаге;

r - норма дисконта, принимаемая постоянной и равной 0,1;

n – год осуществления инновационного мероприятия;

i – капитальные затраты на начальный период;

I_{nv} – капитальные затраты на начальный период.

Результаты расчётов приведены в таблицах 3, 4, 5.

Таблица 4.3. ЧДД при грузонапряжённости 50 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											итого за 10 лет	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Инвестиционная деятельность													
Приток денежных средств, млн. руб.													
Снижение текущих затрат		19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	191,30
Отток денежных средств, млн. руб.													
Капиталь-ные вложения	- 58,70												-58,70
Денежный поток, млн. руб.													
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	- 58,70	17,39	15,81	14,37	13,06	11,88	10,80	9,81	8,92	8,11	7,37	58,82	

Показатели	Значение показателя по годам											Итого за 10 лет
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
То же нарастающим итогом	-58,70	-41,31	-25,50	-11,13	1,93	13,81	24,61	34,42	43,34	51,45	58,82	
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	

Таблица 4.4. ЧДД при грузонапряжённости 100 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											Итого за 10 лет
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Инвестиционная деятельность												
Приток денежных средств, млн. руб.												
Снижение текущих затрат		28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	28,69	286,90
Отток денежных средств, млн. руб.												
Капитальные вложения	-58,70											-58,70
Денежный поток, млн. руб.												
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	-58,70	26,08	23,71	21,55	19,59	17,81	16,19	14,72	13,38	12,17	11,06	117,56
То же нарастающим итогом	-58,70	-32,62	-8,91	12,64	32,23	50,04	66,23	80,95	94,33	106,50	117,56	
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	

Таблица 4.5. ЧДД при грузонапряжённости 150 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											итого за 10 лет	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Инвестиционная деятельность													
Приток денежных средств, млн. руб.													
Снижение текущих затрат		47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	47,81	478,10
Отток денежных средств, млн. руб.													
Капитальные вложения	-58,70												-58,70
Денежный поток, млн. руб.													
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	-58,70	43,47	39,51	35,92	32,66	29,69	26,99	24,54	22,30	20,28	18,43	235,09	
То же нарастающим итогом	-58,70	-15,23	24,28	60,20	92,86	122,55	149,54	174,08	196,38	216,66	235,09		
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39		

Проведенные расчеты экономического эффекта от применения подшпальных прокладок при выправке пути показывают, что окупаемость вложений при грузонапряжённости 50 млн т брутто в год достигается на 4 год эксплуатации, при грузонапряженности 100 млн т брутто в год окупаемость достигается на 3 год эксплуатации, при грузонапряжённости 150 млн т брутто – на второй год эксплуатации.

Во втором варианте сравнительного анализа экономической эффективности проведен расчет выправки уравнительного пролета бесстыкового пути (4 стыка) по обеим нитям, укладкой подшпальных амортизаторов и пробивкой электрошпалоподбойками.

Стоимость комплекта упругих амортизаторов (40 штук) составляет 225,600 тыс. руб. трудозатраты на укладку составят 244,009 тыс. руб.

Таблица 4.6. Трудозатраты на проведение работ по выправке пути

Стоимость подбивка ЭШП (10 шпал) ТНК-09		количество	стоимость норма час	
Монтеры пути	2,03	6	290,18	3534,3924
Машинист	0,41	1	350	143,5
			Итого	3677,8924
Стоимость подбивки на 1 стык с учетом накладных, транспортных, ограждения работ, сигналистов (Принимаем 30%), Руб.	30% - приняты экспертно		итого за 1 стык	4781,26012
			итого за 8 стыков	38250,08

Таблица 4.7. Сокращение затрат на производство выправок в зоне стыка.

Грузонапряженность, млн т	50	100	150
Количество выправок в год	2	3	5
Стоимость подбивки уравнительного пролета	38250,08	38250,08	38250,08
Общая стоимость	76500,16	114750,24	191250,04

Результаты расчетов приведены в таблицах 4.8 – 4.10.

Таблица 4.8. ЧДД при грузонапряжённости 50 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											итого за 10 лет	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Инвестиционная деятельность													
Приток денежных средств, млн. руб.													
Снижение текущих затрат		76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	76,50	765,00
Отток денежных средств, млн. руб.													
Капиталь-ные вложения	- 244,01												-244,01
Денежный поток, млн. руб.													

Показатели	Значение показателя по годам											Итого за 10 лет
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	-244,01	69,55	63,22	57,48	52,25	47,50	43,18	39,26	35,69	32,44	29,49	226,05
То же нарастающим итогом	-244,01	-174,46	-111,24	-53,76	-1,51	45,99	89,17	128,43	164,12	196,56	226,05	
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	

Таблица 4.9. ЧДД при грузонапряженности 100 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											Итого за 10 лет
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Инвестиционная деятельность												
Приток денежных средств, млн. руб.												
Снижение текущих затрат		114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	114,75	1147,50
Отток денежных средств, млн. руб.												
Капиталь-ные вложения	-244,01											-244,01
Денежный поток, млн. руб.												
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	-244,01	104,32	94,83	86,21	78,38	71,25	64,77	58,88	53,53	48,67	44,24	461,08
То же нарастающим итогом	-244,01	-139,69	-44,86	41,35	119,73	190,98	255,75	314,63	368,16	416,83	461,07	
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	

Таблица 4.10. ЧДД при грузонапряжённости 150 млн т брутто в год

Показатели	Значение показателя по годам											Итого за 10 лет	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Инвестиционная деятельность													
Приток денежных средств, млн. руб.													
Снижение текущих затрат		191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	191,25	1912,50
Отток денежных средств, млн. руб.													
Капиталь-ные вложения	-244,01												-244,01
Денежный поток, млн. руб.													
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	-244,01	173,86	158,06	143,69	130,63	118,75	6,00	98,14	89,22	81,11	73,74	931,14	
То же нарастающим итогом	-244,01	-70,15	87,91	231,60	362,23	480,98	486,98	585,12	674,34	755,45	829,19		
Коэффициент дисконтирования	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39		

На рисунке 4.1 приведен график ЧДД с учетом грузонапряженности на выбранных участках, где отображен максимальный эффект от внедрения упругих подшпальных прокладок с визуализацией срока окупаемости проекта.

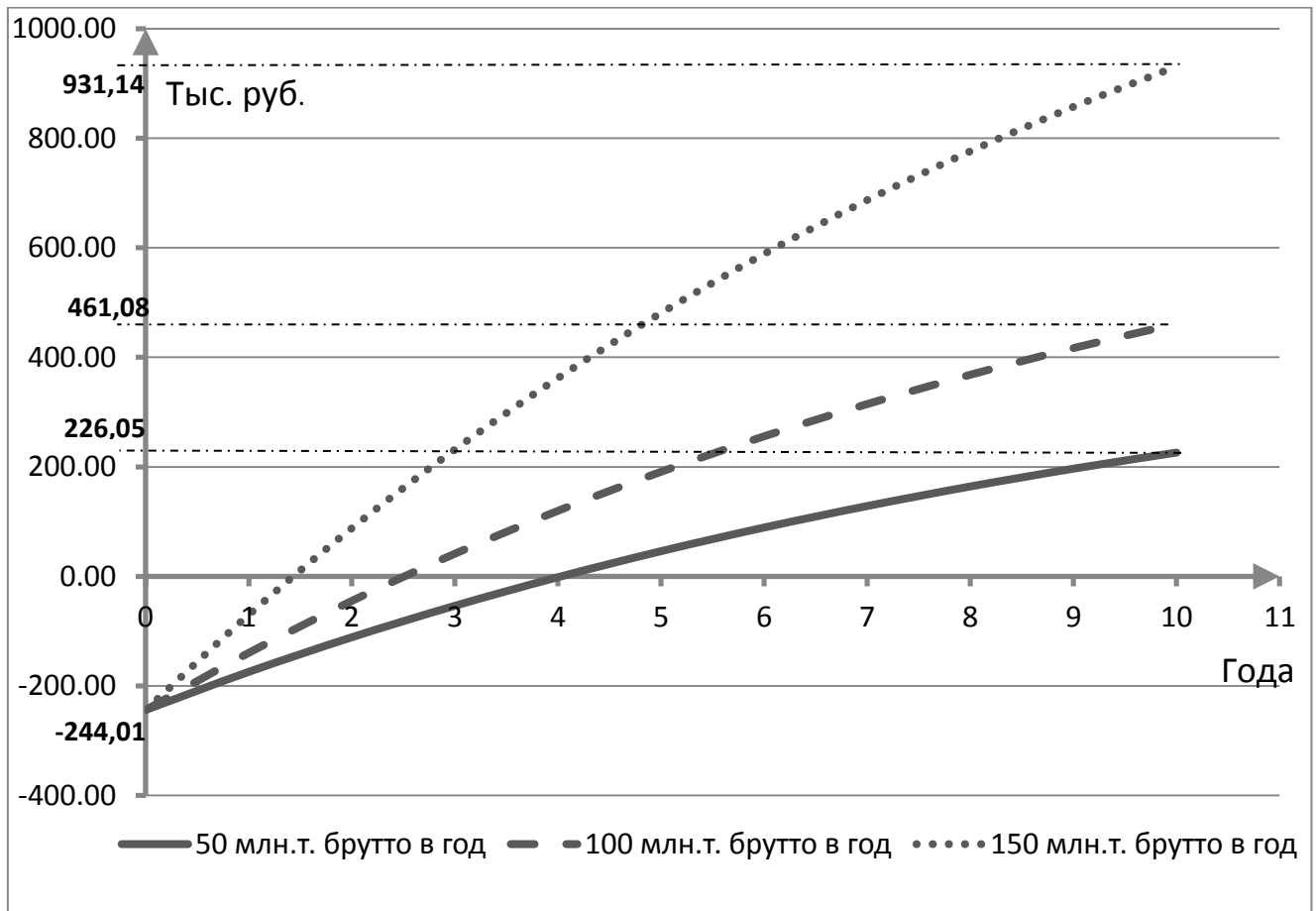


Рисунок 4.1. Срок окупаемости укладки упругих прокладок под шпалы в стыках

Срок окупаемости инвестиций (PP) – это минимальный период времени возврата вложенных средств в инвестиционный проект, бизнес или любую другую инвестицию формула (2). Являясь одним из ключевых показателем оценки инвестиционной привлекательности капитала вложений.

$$PP_{min} = \sum_{i=1}^n I_{nv} - IC$$

Где: n – год осуществления инновационного мероприятия;

i – капитальные затраты на начальный период;

I_{nv} – капитальные затраты на начальный период;

IC – денежный поток от проекта.

Таблица 4.11. Срок окупаемости с различной грузонапряженностью

Срок окупаемости при 40 стыков на 1 км	Грузонапряжённость, млн т брутто в год		
	50	100	150
	4 года	2 года 6 месяцев	1 год 5 месяцев

Экономический эффект от применения подшпальных прокладок при выправке стыков уравнительного проема бесстыкового пути при грузонапряженности 50 млн т брутто в год достигается на пятый год эксплуатации, при грузонапряженности 100 млн т брутто на третий год эксплуатации, при грузонапряженности 150 млн т брутто на второй год эксплуатации.

Стоит так же отметить, что применение данной технологии может иметь экономический эффект на линиях со смешанным движением поездов в части:

- снижение износа рельсов в области стыков;
- продления срока службы колесных пар вагонов;
- повышения плавности хода;
- снижению вибрационной нагрузки в местах подхода к искусственным сооружениям.

При использовании указанного метода выправке позволят снизить эксплуатационные расходы на линиях с небольшой грузонапряженностью, а так же на малодетальных участках железных дорог.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Проведенные технико-экономические расчеты показывают, что применение упругих подшпальных прокладок при выправке пути позволяет снизить трудозатраты на производство работ по сравнению с типовой выправкой с применением электрошпалоподбоек.

2. Проведенные расчеты показали, что при выправки пути с использованием упругих подшпальных прокладок в расчете один стык экономический эффект достигается при грузонапряженности 50 млн. тонн брутто на 4 год эксплуатации, при 100 млн. тонн брутто на 3 год, при 150 млн. тонн брутто на 2 год эксплуатации.

3. Срок окупаемости выправки пути с использованием упругих подшпальных прокладок в уравнительном пролете бесстыкового пути (4 стыка) при грузонапряженности 50 млн. тонн брутто составляет 4 года, при грузонапряженности 100млн. тонн брутто составляет 2 года 6 месяцев, при грузонапряженности 150 млн. тонн брутто- 1 год 5 месяцев.

4. Проведенный технико-экономический анализ показывает что применение упругих подшпальных прокладок при выправке позволяет снизить эксплуатационные расходы на текущее содержание пути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования влияния упругих прокладок, уложенных под подошву шпалы на интенсивность накопления деформации пути позволили сделать следующие выводы:

1. Доказана возможность применения упругих подшпальных прокладок для выправки просадок в стыках на железобетонных шпалах на особогрузонапряженных линиях.

2. Доказана возможность пропуска более 800 млн. т. без дополнительной выправки после укладки упругих подшпальных прокладок для устранения просадок глубиной до 14 мм.

3. Доказана стабильность геометрических и жесткостных характеристик упругих подшпальных прокладок после пропуска тоннажа 800 млн. тонн и более.

4. Обоснован выбор жесткостных характеристики упругих подшпальных прокладок с точки зрения накопления остаточных деформаций – 40,29 кН/мм.

5. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что при использовании упругих прокладок в стыковой зоне вертикальные силы, возникающие при взаимодействии пути и подвижного состава по сравнению с типовой конструкцией пути, снижаются в 1,3 раза, а ускорения на принимающих шпалах стыка – в 2,9 раза по средним значениям и в 2,65 раза по максимальным значениям.

6. Применение упругих подшпальных прокладок позволяет повысить скорость пропуска поездов по стыку с зазором до 32 мм с 25 км/час до 40 км/час.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года. «Белая книга» ОАО «РЖД».
2. ТУ-2000. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. МПС РФ от 31.03.2000г.
3. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути № 2544р ОАО «РЖД» от 14.12.2016г.
4. ТУ 0921-127-01124323-2005 Сварка рельсов алюминотермитным методом промежуточного литья.
5. Г.М. Шахунянц «Текущее содержание пути», Москва, «Трансжелдориздат», 1945г.
6. Б.М. Бромберг «Бесстыковой путь», Москва, «Трансжелдориздат», 1960г.
7. «Бесстыковой путь» под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга, «Транспорт» Москва, 1982г., с.209
8. «Отчёт о состоянии путевого хозяйства ЦДИ ОАО «РЖД» 2016г., данные системы ЕК АСУиБП.
9. «Влияние жёсткости и неровностей пути на деформации, вибрации и силы взаимодействия его элементов». Труды ЦНИИ МПС под ред. к.т.н. В.С. Лысюка, вып.370, 1969г.
10. В.О. Певзнер «Текущее содержание пути – на современном этапе». Журнал «Путь и путевое хозяйство» № 9, 2004г.
11. А.Ф. Золотарский «Железнодорожный путь на железобетонных шпалах», Москва, «Транспорт», 1967г.
12. М.Ф. Вериго, А.Я. Коган «Взаимодействие пути и подвижного состава», Москва, «Транспорт», 1986г.
13. П.П. Цуканов «Исследования упругих и остаточных осадок пути», Москва, «Трансжелдориздат», 1957г.

14. А.К. Шафрановский «Выправка пути в заключительной стадии стабилизации щебёночной призмы». - ЦНИИ МПС.:Трансжелдориздат, 1961г.
15. И.Ф. Попов «Асбоцементные прокладки». – Журнал «Путь и путевое хозяйство», № 1957г.
16. Ананьев Н.И., Барабошин В.Ф. Влияние вибрационной нагрузки на интенсивность накопления остаточных осадок в пути. – Сборник трудов ВНИИЖТ под ред. И.В. Амеличева, 1984г.
17. Работа пути с железобетонными шпалами под нагрузкой. – Труды МИИТ под ред. Г.М. Шахунянца, Москва, «Транспорт», 1965г., с.252.
18. В.Ф. Барабошин, Н.И. Ананьев, Повышение стабильности пути в зоне рельсового стыка. – Москва, «Транспорт», 1978г., с.46.
19. Железобетонные шпалы для рельсового пути. Под ред. А.Ф.Золотарского; Москва, «Транспорт», 1980г., с.265.
20. В.Ф. Барабошин, Установление причин интенсивной осадки пути с железобетонными шпалами при неровностях на рельсах. Труды ВНИИЖТ, 1969г., вып.370., с.22-45.
21. М.Ф. Вериги, Расчеты напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна, труды ЦНИИ МПС, 1955г., вып.97.
22. Исследование конструкций и эксплуатации бесстыкового пути под редакцией Е.М.Бромберга. Москва, «Транспорт», 1968г. Труды ВНИИЖТ, вып. № 364.
23. Г.М.Шахунянец, А.А.Демидов, Некоторые вопросы исследования работы резиновых прокладок повышенной упругости для пути с железобетонными шпалами. Труды МИИТ, 1971г., вып.№ 354, с.3-76.
24. В.Я.Шульга, А.В.Болотин, Влияние прокладок повышенной упругости на эксплуатационный выход элементов бесстыкового пути с железобетонными шпалами. Труды МИИТ, 1975г., вып. № 505.

25. Б.А.Евдокимов, Накопление неравномерных остаточных деформаций пути с железобетонными шпалами. Вестник ВНИИЖТ, 1969г., № 6, с.1-5.
26. Н.Д.Кравченко «Путь с лежневым основанием», Путь и путевое хозяйство, 1991г. № 9
27. В.Ф.Барабошин, Н.И.Ананьев, Вибрации подрельсовых оснований в стыке. Вестник ВНИИЖТа, 1975г. № 6.,с.42-47.
28. Б.А. Евдокимов, Влияние жёсткости креплений на стабильность пути в зоне стыков. Вестник ВНИИЖТ, 1971г., № 4, с.37-42.
29. В.Ф.Барабошин, В.С. Лысюк, Улучшение виброзащитных свойств пути с железобетонными шпалами. Вестник ВНИИЖТ, 1980г., № 1, с.48-51.
30. Г.М. Шахуняц, А.А.Демидов, Некоторые вопросы исследования работы резиновых прокладок повышенной упругости для пути с железобетонными шпалами. Труды МИИТ, 1971г., вып.№ 354.
31. А.К.Шафрановский Закономерности неравномерных осадок пути. Вестник ЦНИИ МПС, № 5, 1958г.
32. А.Ю.Абдурашитов, И.В. Шерстянникова Влияние жесткости подрельсового основания на критические размеры трещин в шейке железнодорожных рельсов типа Р65. Железнодорожный транспорт сегодня и завтра. Тезисы доклада юбилейной научно-технической конференции г. Екатеринбург, УрГУПС, 1998, с. 174.
33. А.Я. Коган Расчёты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку. Труды ВНИИЖТ, 1973г., вып.№ 502.
34. М.Ф.Верито Расчёты напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна. Труды ЦНИИ МПС, 1955г., вып.№ 97, с.206.
35. Вериго М.Ф. Основные принципиальные положения разработки правил расчёта железнодорожного пути на прочность с использованием ЭАВМ. Труды ВНИИЖТ, 1967г., с.106-150.
36. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. Труды ВНИИЖТ, 1969г. С.206.

37. В.Н.Данилов Расчёт рельсовой нити в зоне стыка. Сборник трудов ВНИИЖТ, 1952г., Москва, «Транспорт», с.115.
38. Волошко Ю.Д., Метод исследований вертикальной динамики пути с ж.б.подрельсовым основанием, труды ДИИТ, 1969г., с.35-48.
39. Г.М.Шахунянц, А.И.Гасанов, А.А. Демидов. К вопросу об эффективности применения нащпальных резиновых прокладок повышенной упругости. Труды МИИТ, 1978г., вып. № 607.
40. Манашкин Л.А., Мямлин С.В., Приходько В.И. Оценка силы ударного взаимодействия колеса и рельса на стыке двух рельсов. Вестник ДНУЗТ им.аакадемика Лазаряна В. 2008г., вып.22, с.36-39.
41. Л.Г. Крысанов, И.В. Шерстянникова Полигонные испытания стыков изменённой конструкции. Сборник научных трудов ВНИИЖТ под редакцией к.т.н. Л.Г.Крысанов, Москва «Интекст», 2000г.
42. О.О.Клокова Работа железнодорожного стыка в перспективных условиях эксплуатации. Автореферат кандидатской диссертации МИИТ, Москва, 1986г., с.24.
43. Желнин Г.Г., В.В.Кузнецов Снижение динамического воздействия на путь в стыках. Сборник науч.трудов третьей научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». Москва, 2000г.
- 44.В.О.Певзнер, В.М.Прохоров, А.А.Ерёмушкин Эффективность различных технологий по выправке пути / Материалы конференции «Современные технологии на железнодорожном транспорте России», Дели, 2003г.
45. Г.М.Васильченко Деформативность пути при различных способах выправки, Путь и путевое хозяйство, 2004г., № 6.
46. В.О.Певзнер, М.М.Железнов, В.Н.Каплин, А.В.Третьяков, М.Н.Мысловец, А.С.Томиленко. Повышение стабильности пути в зоне стыков за счёт применения упругих подщпальных прокладок. Вестник ВНИИЖТ, 2016г. № 3.

47. Bernhard X. Lichtberger, Handbuch Gleis Eurailpress, 2010, s35.
48. Stephan Freudenstein, Dimitre Iliev, Noor Ahmad. Die Kontaktspannung zwischen elastisch beschlten Schwellen und Schotter, Eisenbahntechnische Rundschau, 2011, № 25.
49. Loy Harald, Augustian Andreas. Purpads protect heavy freight corridors. Railway gazette international September, 2014, pp 105-109.
50. Stephan Freudenstein, Dimitre Iliev Valter stahe Querverschiebewiderstandsmessungen an un-und beschlten Schwellen, 2013 № 7, s20-26.
51. Материалы компании Getzner. Eisenbahntechnische Rundschau, 2016 № 7 + 8 s47-53.
52. Andreas Rogge, Lutz Auersch. Innovationspotenzial von Fahrwegkomponenten: Scwere Schwellen auf weichen schwellensohlen. Eisenbahntechnische Rundschau, 2015 № 7+8, s 41-46.
53. Joan Cardona Avingenieros Robert Arcos, End-of lifetyres provetheir worthin sub-ballast applications Railway journal, 2016, № 8 p.64-66.
54. Информационный материал по подбору и изготовлению упругих элементов для устранения локальных неисправностей пути, ООО «ЭМИРП», 2015г.
55. В.О.Певзнер, В.В.Третьяков, К.В.Шапетько, И.Б.Петропавловская Инфраструктура в условиях повышенных осевых нагрузок, М. Железнодорожный транспорт, 2018 № 4.
56. Alexander Rodikov, Dmitry Pogorelov, Gennady Mikheev, Roman Kovalev, Qianglei yongguan Wang. Computer simulation of train-track-bridge interaction. WWW.Universalmecanism.com.7p.
57. В.Н.Челомей, Вибрации в технике: Справочник (под редакцией Ф.М.Диментберга и К.С.Колесникова. М.Машиностроение, 1980, с.544
58. J Piotrowski W. Kik A simplified model of wheel/rail contact mechanics for non-Hertzian problems and iits application in rail vehiele dynamic simulations // Vehicle System Dynamics. 2008. V,46 (1-2), pp. 27-48.

59. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. Москва, «Транспорт», 1986г., с.599.

60. Громов Л.К., Кондаков Н.П., К вопросу о работоспособности щебеночной балластной призмы на грузонапряжённых участках железных дорог. Труды ВНИИЖТ, 1962г.. выпуск № 31, с.15-20.

61. Волошко Ю.Д. Метод исследования вертикальной динамики пути с железобетонным подрельсовым основанием, труды ДИИТ, 1969г., вып.№ 00, с.39-48.

62. Ершков О.П., Митин Н.Ф. Динамическая оценка отступлений в содержании железнодорожного пути и дальнейшее её совершенствование. Москва, Транспорт, 1989г., стр.46.

63. Experimental study of stoneblowing track surfacing technique/ A.Abrashitov [et al.] // Proceedings of Transportation Geotechnics and Geotechnology (TGG-2017), St. Peyersburg, 17-19 may 2017. St.Petersburg, 2017, Vol.189.P.75-79.

64. В.О. Певзнер, В.Н. Каплин, А.А.Абрашитов, А.В.Семак Выправка пути на щебёночном балласте установкой подшпальных прокладок и пневматическим суфляжем. Вестник ВНИИЖТ. 2018.Т.77.№ 2 с.104-109.

65. В.Н.Каплин, М.Н.Мысливец, Е.А.Сидорова, Е.А.Полунина Расчётно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне. Вестник ВНИИЖТ. 2019.Т.78.№ 4.С.241-248.

66. Ершков О.П., Митин Н.Ф. Динамическая оценка отступлений в содержании железнодорожного пути и дальнейшее её совершенствование. Москва, Транспорт, 1989г., стр.46.

67. Шульга В.Я., Болотин А.В. Влияние прокладок повышенной упругости на эксплуатационный выход элементов бесстыкового пути с железобетонными шпалами, Труды МИИТ, 1975г., вып.505. стр.57-59.

68. Морозова Н.Е., Покацкий В.А., Фартусова Т.В., Филатов Е.В., Шерстянникова И.В. Применение железобетонных шпал с амортизаторами

на подошве на ВСЖД. Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири. Доклады НТК ИрИИТ. 2000г., с.56.

69. Л.Г.Крысанов, О.О.Клокова. Напряжение в рельсах в зоне стыка. Вестник ВНИИЖТ. 1986г. № 1. Стр.50-52.

70. К.С.Исаев, В.Ф.Федулов, Ю.М.Щекотков. Машинизация текущего содержания пути. Москва, Транспорт, 1990г.

71. Г.М.Шахунянц «Железнодорожный путь». Москва; Трансжелдориздат, 1959г., стр.264.

72. В.Я.Шульга, С.В.Амелин, Т.Г.Яковлева. Основы устройства и расчётов железнодорожного пути. Под редакцией С.В. Амелина и Т.Г.Яковлевой. Москва, «Транспорт», 1990г., стр.367.

73. Л.К. Громов, Н.П. Кондаков. «К вопросу о работоспособности щебёночной балластной призмы на грузонапряжённых участках железных дорог». Труды ВНИИЖТ, 1962г., выпуск 31, стр.15-20.

74. С.И. Клинов, А.А. Кондратьев. «Как работает стык под поездами». Журнал «Путь и путевое хозяйство», № 8, 1982г., стр.30-31.

75. Г.М.Васильченко «Исследования способов выправки пути. Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». Межвузовский сборник научных трудов, Москва, ПГОТУПС, 2013г., стр.114-116.

76. А.В.Савин «Безбалластный путь». Труды ВНИИЖТ, Москва, 2017г., стр.74-77.

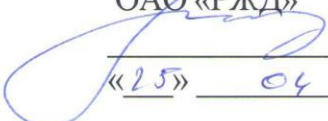
77. В.О.Певзнер, С.С.Надежин, В.В.Анисин, И.В.Третьяков. «Оценка деформативности пути в местах расстройств и возможных изменений в сроках выправки пути при повышении осевой нагрузки грузовых вагонов». Вестник ВНИИЖТ, № 4, 2013г., стр.44-47.

78. А.А.Манашкин, С.В.Мямлин, В.И.Приходько. «Оценка силы ударного взаимодействия колеса и рельса в стыке двух рельсов». Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна., 2008г., Вып.22, стр.36-39.

79. А.Н.Трофимов «Стыковой пролёт и равножесткость пути». Вестник «ВНИИЖТ», 1988г., № 5, с.39-41.
80. Б.Н.Бондаренков, Е.С.Варызгин и др. «Содержание балластной призмы железнодорожного пути». Под редакцией Е.С.Варызгина, Москва «Транспорт», 1978г., с.142.
81. С.Н.Попов «Балластный слой железнодорожного пути». Москва «Транспорт», 1965г., с.233.
82. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути утверждённая распоряжением ОАО «РЖД», № 2288р от 14.11.2016г.
83. Методика расчёта и подтверждения экономического эффекта от использования результатов и научно-технических работ в деятельности ОАО «РЖД» по кругу ведения ЦП ОАО «РЖД», Москва, 2008г., с.47.
84. Технически обоснованные нормы времени на работы по текущему содержанию пути ОАО «РЖД» от 30.03.2009.

Приложение 2.

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер
 Управления пути и сооружений
 Центральной дирекции
 инфраструктуры - филиала
 ОАО «РЖД»

 А.И.Лисицын
 «25» 04 2017 г.

АКТ

проведения осмотра подшпальных прокладок производства ООО
 «НИИЭМИ» на 5-ом километре (пикет 5) 2 пути
 Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ»

20 апреля 2017 г.

г. Москва

В соответствии с телеграммой №13416/ЦДИ от 17.04.2017 г. комиссией
 в составе:

председателя

Рязанова М.И. –инженера I категории ЦП ЦДИ ОАО «РЖД»;

членов комиссии

Алексеева А.В. – ведущего конструктора ПКБ И ОАО «РЖД»;

Петропавловской И.Б. – заведующей лабораторией АО «ВНИИЖТ»;

Громовой Т.И. – ст. научного сотрудника АО «ВНИИЖТ»;

Мысливца М.Н. – инженера-конструктора II категории ООО «НИИЭМИ»;

Андреева Л.А. – генерального директора ООО «ЭМИРП»;

Смирнова А.Ю. – советника генерального директора ООО «ЭМИРП».

на 2 пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» проведен
 осмотр участка пути с подшпальными прокладками производства
 ООО «НИИЭМИ» с их последующим изъятием и промером. Промеры
 основных геометрических параметров прокладок приведены в таблице 1.

Прокладки изготовлены ООО «НИИЭМИ», уложены в путь в ноябре
 2014 г. Пропущенный тоннаж на момент обследования составил 830 млн. т.
 брутто.

Участок находился под наблюдением сотрудников АО «ВНИИЖТ» с
 регулярными промерами параметров ГРК и геодезическими промерами пути.

При осмотре подшпальных прокладок были обнаружены следы от
 вдавненного щебня, в том числе сквозные. Необходимо отметить, что

наибольшему износу, в том числе приводящему к появлению сквозных отверстий были подвержены прокладки, уложенные по внутренней нити рельсовой колеи.

Глубина следов от вдавленного щебня составила: до 6,7 мм для прокладки № 1, до 7,3 мм для прокладки № 2, до 4,3 мм для прокладки № 3, до 8,0 мм для прокладки № 4.

Фотоотчет приведен в приложении 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Размер	Номинальное значение, мм.	Среднее фактическое значение, мм.	Примечание
Наружная нить				
1	Ширина	250,0	251,0	Имеются углубления от щебня
	Длина	1000,0	1022,5	
	Толщина	14,0	14,9	
2	Ширина	250,0	246,5	Имеются углубления от щебня
	Длина	1000,0	1030,0	
	Толщина	14,0	14,6	
Внутренняя нить				
3	Ширина	250,0	251,0	Имеются углубления от щебня
	Длина	1000,0	1020,0	
	Толщина	14,0	12,9	
4	Ширина	250,0	251,0	Имеются углубления от щебня
	Длина	1000,0	1005,0	
	Толщина	14,0	12,4	

Выводы и рекомендации комиссии:

1. Нарботка тоннажа на подшпальных прокладок на момент изъятия составила 830 млн. т. брутто.

2. Подшпальные прокладки сохранили основные геометрические параметры.

3. Направить изъятые подшпальные прокладки для исследования в АО «ВНИИЖТ» и ООО «НИИЭМИ».

4. АО «ВНИИЖТ» продолжить наблюдение за участком пути с подшпальными прокладками производства ООО «НИИЭМИ».

Члены комиссии:

Рязанов М.И.



Алексеев А.В.



Петропавловская И.Б.



Громова Т.И.



Мысливец М.Н.



Андреев Л.А.



Смирнов А.Ю.



УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
Центральной дирекции
инфраструктуры –
филиала ОАО «РЖД»

_____ М.М.Старовойтов

«__» _____ 2020 г.

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОКЛАДОК ПОДШПАЛЬНЫХ
ПРИ ТЕКУЩЕМ СОДЕРЖАНИИ ПУТИ

СОГЛАСОВАНО
Главный инженер
Управления пути и сооружений
Центральной дирекции
инфраструктуры -
филиала ОАО «РЖД»

_____ Д.Н.Бурков

«__» _____ 2020 г.

Начальник
отделения пути и путевых машин
Проектно-конструкторского
бюро по инфраструктуре -
филиала ОАО «РЖД»

_____ М.А.Маркин

«__» _____ 2020 г.

Содержание

1. Общие положения.....	3
2. Область применения.....	3
3. Назначение прокладок.....	3
4. Работа.....	4
5. Установка.....	4
6. Текущее содержание пути с подшпальными прокладками.....	5
7. Транспортирование, хранение и учет.....	6
8. Утилизация.....	6

1. Общие положения

Временная инструкция по применению прокладок подшпальных при текущем содержании пути (далее – Инструкция) разработана для применения прокладок подшпальных при проведении работ по выправке пути всех групп специализаций.

Прокладки подшпальные (далее – Прокладки), предназначенные для установки под подошву железобетонных шпал и брусьев стрелочных переводов, должны соответствовать техническим требованиям ЦДИ.02.2020 «Прокладки подшпальные», утвержденным распоряжением от 7 мая 2020 г. Центральной дирекцией инфраструктуры - филиалом ОАО «РЖД» (далее – ЦДИ) № ЦДИ-332, и чертежам, согласованным и утвержденным в надлежащем порядке. В зависимости от способа применения Прокладки подразделяются на интегрированные в бетон (Прокладки прикреплены к подошве шпалы) и применяемые при текущем содержании пути (Прокладки укладываются в путь под шпалы).

Текущее содержание пути с прокладками подшпальными осуществляет дистанция пути (инфраструктуры).

Технология установки Прокладок на подошву шпал определяется отдельной эксплуатационной (технологической) документацией, утвержденной в установленном порядке.

2. Область применения

2.1. Прокладки устанавливаются непосредственно под шпалу и служат для снижения деформации пути, напряженности подшпального основания и повышения его несущей способности, а также для выправки пути, в том числе в стыках изолирующих, стыках уравнильных пролетов, стыках сварных при временном восстановлении плетей, стыках стрелочных переводов.

2.2. Сферы применения Прокладок в иных местах устанавливаются отдельным распоряжением ЦДИ.

3. Назначение прокладок

3.1. Прокладки предназначены для повышения вертикальной упругости пути, снижения вибрации, равномерного распределения нагрузки на путь от подвижного состава, увеличение площади контакта шпалы и балласта, предупреждения развития дефектов в рельсах и шпалах, устранения

неисправностей пути в профиле (просадок, перекосов, по уровню), в том числе в зоне стыков, без нарушения постели шпал.

4. Работа

4.1. При применении Прокладок происходит перераспределение нагрузки от подвижного состава и уменьшение нагрузки на балласт. Упругие свойства материала Прокладки позволяют щебню внедриться в тело Прокладки, в результате чего увеличивается площадь контакта между шпалой и щебнем, стабилизируется верхний слой щебня, происходит ослабление воздействия на путь и балласт от вибрации и динамических сил, уменьшается вероятность перемещения щебня и осадки пути.

5. Установка

5.1. Прокладки устанавливаются в путь непосредственно под шпалы в соответствии с технологическим процессом, утвержденным в установленном порядке.

5.2. Работы производятся без ограничения скорости движения поездов.

5.3. Перед установкой проводится осмотр Прокладок на наличие трещин, сквозных разрывов, расслоений.

Укладка в путь Прокладок с указанными дефектами не допускается.

5.4. Перед установкой Прокладок в зоне стыка из креплений снимаются регулировочные прокладки.

5.5. Производится вывешивание пути при помощи домкратов по обеим рельсовым нитям на высоту не менее 25 мм от балласта до подошвы шпалы.

5.6. Прокладки заводятся по подошву шпалы с обоих концов с торца или с боку и укладываются на балласт вдоль продольной оси шпалы с таким расчетом, чтобы края Прокладки отставали от края шпалы в пределах 10 – 20 мм. Края Прокладки не должны выходить за периметр подошвы шпал. Затем опускают путь и убирают домкраты.

5.7. После опускания пути на балласт проводят проверку состояния пути в плане, по уровню и шаблону.

5.8. Прокладки интегрированные поставляются и укладываются в путь вместе со шпалами.

6. Текущее содержание пути с подшпальными прокладками

6.1. Текущее содержание пути с применением Прокладок осуществляется в соответствии с Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288/р.

6.2. При натуральных осмотрах пути с уложенными под шпалы Прокладками, проверяется расположение Прокладок под шпалой (наличие смещения Прокладки за габариты шпалы);

6.3. При натуральных осмотрах пути с применением шпал с интегрированными Прокладками проверяется крепление Подкладки к шпале (наличие отрыва Прокладки от подошвы шпалы).

6.4. Осмотр Прокладок проводится выборочно:

на звеньевом пути – на каждом звене пикета, не менее чем на одной шпале;

на бесстыковом пути – на каждом пикете, не менее чем на четырех шпалах.

в зоне стыка – не менее чем на одной шпале (приемного рельса по ходу движения поездов) с каждой стороны.

6.5. Результаты осмотров заносятся в Книгу записи результатов проверки пути, сооружений, путевых устройств и земляного полотна (форма ПУ–28).

6.6. Шпалы, под которые уложены Прокладки (не интегрированные), маркируются полосой, выполненной несмываемой белой краской, посередине верхней скошенной поверхности у торца вдоль продольной оси (рис. 1).

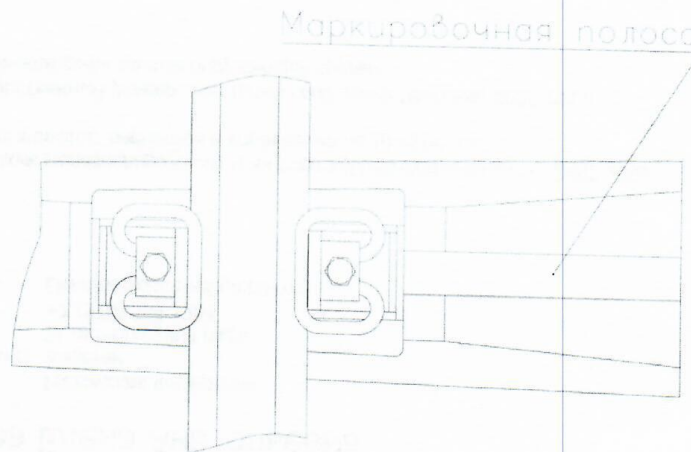


Рисунок 1 – Маркировка шпал с не интегрированными Прокладками

Электронная подпись. Подписал: Маркин М.А., Старовойтов М.М.
№ПКБ И-66 от 30.07.2020

6.7. Шпалы с интегрированными Прокладками маркируются в средней части штампованием в бетоне буквами «ПШП», также на верхней поверхности шпал (рядом с буквами «ПШП») должна быть нанесена маркировка, выполненная несмываемой краской, определяющая тип применяемой Прокладки (М – мягкий, С – средний, Ж – жесткий) и завод-изготовитель Прокладки.

7. Транспортирование, хранение и учет

7.1. Прокладки транспортируют всеми видами транспорта с соблюдением правил перевозки грузов.

7.2. Прокладки должны храниться в условиях, исключающих их повреждение, деформацию, попадания на них агрессивных жидкостей, на расстоянии не менее 1 м от нагревательных приборов.

7.3. При транспортировке шпал с интегрированными Прокладками шпалы должны располагаться на паллетах не более чем в 5 ярусов.

Транспортировка шпал с интегрированными Прокладками навалом не допускается.

7.4. При транспортировке рельсошпальной решетки с интегрированными Прокладками в пакете должно быть не более 5 звеньев.

7.5. Шпалы с интегрированными Прокладками учитываются в Книге учета шпал, лежащих в пути формы ПУ-5. В книге на отдельной строке делается надпись «Железобетонные шпалы с ПШП», ниже производится учет в соответствии с графами книги.

Прокладки для текущего содержания пути учитываются в Журнале учета подрельсового основания и креплений, лежащих в пути формы ПУ-19. В журнале на отдельной строке делается надпись «Прокладки подшпальные», ниже производится учет в соответствии с графами журнала.

8. Утилизация

8.1. Перед утилизацией Прокладки хранят на специально отведенных площадках с соблюдением требований пожарной безопасности и возможностью применения грузоподъемных механизмов.

8.2. Прокладки по степени воздействия на окружающую среду являются малоопасными и подлежат утилизации на предприятиях, осуществляющих централизованный сбор и (или) утилизацию полимерных изделий (полигонах промышленных отходов).