

**Акционерное общество  
«Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»  
(АО «ВНИИЖТ»)**

На правах рукописи



**ЭРГАШЕВ УЛУГБЕК ЭРКИНЖОН УГЛИ**

**ОСОБЕННОСТИ УКЛАДКИ СВАРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ  
БЕССТЫКОВОГО ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ОСНАСТКИ НАВЕСНОГО ТИПА**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование  
железных дорог

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук  
Сулов Олег Александрович

Москва – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 4  |
| 1 ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ .....  | 10 |
| 1.1 Общие сведения по путевому хозяйству АО «УТЙ» .....  | 10 |
| 1.2 Развитие бесстыкового пути .....   | 15 |
| 1.3 Технологии укладки рельсовых плетей бесстыкового пути, применяемые в<br>странах СНГ .....                                    | 24 |
| 1.4 Зарубежный опыт механизированной укладки плетей бесстыкового пути.....   | 35 |
| 1.5 Выводы по главе 1 .....  | 44 |
| 2 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ<br>РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ НАДВИЖКИ.....                                | 46 |
| 2.1 Основные положения.....  | 46 |
| 2.2 Постановка задачи.....   | 49 |
| 2.3 Определение исходных параметров .....  | 50 |
| 2.4 Существующие методы расчета напряженно-деформированного состояния<br>рельсовых плетей .....                                  | 54 |
| 2.5 Теория метода конечных элементов (МКЭ).....  | 59 |
| 2.6 Разработка конечно-элементной модели напряженно-деформированного<br>состояния рельсовой плети .....                          | 66 |
| 2.7 Верификация разработанной модели.....  | 67 |
| 2.8 Расчет напряженно-деформированного состояния рельсовой плети.....  | 71 |
| 2.9 Выводы по главе 2.....   | 84 |
| 3 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ<br>ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ЗАМЕНЕ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ<br>БЕССТЫКОВОГО ПУТИ..... | 86 |
| 3.1 Анализ существующих конструкций навесных оборудований и рельсовых<br>захватов .....  | 86 |
| 3.2 Конструкция двойного роликового рельсового захвата .....   | 91 |
| 3.3 Выводы по главе 3.....   | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО<br>УКЛАДКЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВОЙНОГО<br>РОЛИКОВОГО РЕЛЬСОВОГО ЗАХВАТА .....  | 97  |
| 4.1 Общие положения .....   | 97  |
| 4.2 Апробация технологии надвижки и определение технологических<br>параметров .....   | 98  |
| 4.3 Технологический процесс производства работ по замене инвентарных рельсов<br>рельсовыми плетями с применением экскаватора-погрузчика, оборудованного<br>двойным роликовым рельсовым захватом ..... | 101 |
| 4.4 Расчеты экономической эффективности применения новой технологии.....  | 108 |
| 4.5 Выводы по главе 4.....  | 113 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....  | 115 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....   | 117 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....  | 119 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Справка об использовании результатов диссертационной<br>работы.....  | 137 |

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

Для реализации высоких скоростей движения поездов и обеспечения гарантированной безопасности и комфортабельности необходимо широкое внедрение надежных, мало обслуживаемых и экономически эффективных конструкций верхнего строения железнодорожного пути, к которым относится прежде всего бесстыковая конструкция.

В настоящее время на железных дорогах Узбекистана применяется бесстыковой путь с рельсовыми плетями длиной, как правило, до 800 м. Мировой опыт внедрения скоростного и высокоскоростного движения поездов свидетельствует о том, что железнодорожная инфраструктура при повышенных скоростях движения поездов в обязательном порядке переходит на рельсовые плети повышенной длины: до длины блок-участка, перегона или плети бесстыкового пути бесконечной длины. Переход путевого хозяйства АО «УТЙ» на конструкцию бесстыкового пути с рельсовыми плетями повышенной длины сопряжен с решением технических и технологических проблем и должен осуществляться поэтапно по мере решения этих проблем. Одной из центральных технологических проблем перехода на плети бесстыкового пути повышенной длины является проблема укладки рельсовых плетей или замена изношенных плетей на новые. Применяемая технология производства работ по замене рельсовых плетей в путевом хозяйстве АО «УТЙ» по производительности и продолжительности «окон» для производства работ не удовлетворяет требованиям сегодняшнего дня. Это связано с тем, что в технологии производства работ предусматривается выполнение основных работ вручную. Необходима разработка эффективной отечественной технологии проведения работ по замене рельсовых плетей, обеспечивающей безопасную эксплуатацию бесстыкового пути.

Устойчивость бесстыкового пути зависит от температуры его закрепления намного больше, чем от характеристик элементов верхнего строения пути [1].

Необходимую температуру закрепления рельсовых плетей можно обеспечить применением высоко производительных путевых машин и прогрессивных технологий работ. На зарубежных железных дорогах при поэлементной укладке пути широко применяются экскаваторы на комбинированном ходу. Для укладки рельсовых плетей применяются экскаваторы, оборудованные навесными оснастками. Последние годы на железных дорогах Узбекистана и России начато применение такого средства техники для смены рельсовых плетей. Первые опыты показали большую эффективность применения такой технологии. Однако эту технологию можно применять только для смены рельсовых плетей. Недостатком конструкции существующих навесных оснасток является ограниченная область применения, обусловленная наличием на рельсах стыковых накладок, которые являются препятствием для непрерывного перемещения захвата вдоль рельса. Кроме того, в научно-технической литературе отсутствуют требования для безопасного производства работ с применением данной технологии. Также не разработаны требования к навесным оснасткам.

### **Степень разработанности темы исследования**

Технологиям укладки и ремонта бесстыкового пути посвящены работы российских и зарубежных ученых: М.С. Боченкова, В.И. Новаковича, С.И. Клинова, З.Л. Крейниса, Е.М. Бромберга, Н.Б. Зверева, В.Н. Свистунова, В.А. Грищенко, Н.П. Виногорова, В.Ф. Сушкова, В.П. Шраменко, А.А. Бондаренко, В.В. Ершова, Г.Г. Жулева, Н.Н. Лысенко, Г.В. Карпачевского, Х.Х. Дутаева, J. Theurer, P. Grim, F. Fischer и других.

В представленном исследовании, в отличие от известных, рассмотрены особенности замены инвентарных рельсов на плети бесстыкового пути с применением современных мобильных средств техники, оборудованных навесными оснастками. Выполненные в работе исследования позволяют применить комплексную механизацию путевых работ по замене рельсовых плетей с максимальным повышением выработки за 1 час предоставляемого «окна».

### **Цели и задачи исследования**

*Целью* диссертационной работы является разработка ресурсосберегающей

технологии, обеспечивающей безопасность и технологичность производства работ по замене рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных навесной оснасткой.

Для достижение поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести анализ существующих технологий надвигки рельсовых плетей и научных работ данного направления. Определение основных направлений по модернизации существующих технологий.

2. Разработать конструкцию технологической оснастки, обеспечивающую расширение сферы применения технологии укладки рельсовых плетей бесстыкового пути с применением экскаваторов на комбинированном ходу.

3. Разработать технологию производства работ с применением новой конструкции технологической оснастки для производства работ по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути.

4. Провести расчеты экономической целесообразности применения новой технологии укладки рельсовых плетей бесстыкового пути.

**Объектом исследования** является технология производства работ по замене рельсовых плетей бесстыкового пути.

**Предметом исследования** являются технические средства, оснастка для реализации прогрессивных технологий замены рельсовых плетей бесстыкового пути.

### **Научная новизна**

Разработана и верифицирована модель расчета напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей бесстыкового пути для технологического этапа их укладки взамен инвентарных рельсов.

Выявленные в ходе моделирования зависимости следующих параметров от высоты подъема и вылета стрелы экскаватора с навесным захватным устройством:

- зависимости напряженного состояния рельсовых плетей при их надвигке;
- зависимости вертикальной нагрузки в навесном устройстве.

Выявлены в ходе технико-экономического анализа зависимости эксплуатационных затрат от времени продолжительности «окна» и длины фронта производства работ.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретической значимостью работы является расчетная модель рельсовой плети для определения ее напряженно-деформированного состояния при одновременном действии сил в двух плоскостях.

Практической значимостью работы является разработанная в диссертационной работе новая технология производства работ по замене инвентарных рельсов на рельсовые плети бесстыкового пути, обеспечивающая увеличение объема выполненных работ при одновременном снижении затрат на их выполнение. Установленные основные параметры технологического процесса обеспечивают безопасность и эффективность применения предлагаемой новой технологии производства работ по замене рельсовых плетей.

### **Методология и методы исследования**

Методы исследования основаны на использовании комплекса теоретических и экспериментальных разработок, среди которых:

- численные методы расчета конструкций верхнего строения железнодорожного пути с помощью электронно-вычислительных машин;
- современные приемы и методы разработки новой оснастки и технологии;
- современные методы планирования и организации технологических процессов;
- методы анализа и сравнения результатов исследования.

### **Положения, выносимые на защиту**

- результаты расчета напряженно-деформированного состояния рельсовой плети;
- конструкция двойного роликового рельсового захвата, обеспечивающего расширение технологических возможностей захвата при комплексной механизации работ по замене рельсов, в том числе со стыковыми накладками, без демонтажа стыковых накладок;

- технология производства работ по замене рельсовых плетей, предусматривающая комплексную механизацию выполнения путевых работ с максимальным повышением выработки за 1 час предоставляемого «окна»;
- результаты расчета экономической эффективности применения новой технологии.

### **Степень достоверности и апробации результатов исследования**

Диссертационная работа выполнена на современном научно-методическом уровне. В ней использованы методики, адекватные целям и задачам. Достоверность научных положений подтверждена их верификацией с результатами, ранее полученными исследователями. Выносимые на защиту положения диссертации опубликованы в рецензируемых журналах, относящихся к списку ВАК, доложены на семинарах и конференциях.

### **Апробация работы**

Основные результаты исследований были доложены и обсуждены:

- на Республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» (ТашИИТ, Ташкент, 2018 г.);
- на Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2019 г.);
- на Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта» (ВНИИЖТ, Москва, 2019 г.);
- на Республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» (ТашИИТ, Ташкент, 2020 г.);
- на Конкурсе научных работ аспирантов АО «ВНИИЖТ» (ВНИИЖТ, Москва, 2020 г.);
- на Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием «Научно-техническое и социально-экономическое развитие транспорта и промышленности стран АТР» (ДВГУПС, Хабаровск, 2022 г.);



– на Международной научной конференции аспирантов и молодых учёных «Железная дорога: путь в будущее» (ВНИИЖТ, Москва, 2022 г.).

– на Научном семинаре кафедры «Инженерия железных дорог» Ташкентского государственного транспортного университета (ТГТУ, Ташкент, 2022 г.).

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 9 работ, из них 3 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключение. Диссертация изложена на 115 страницах основного текста, содержит 60 рисунка, 15 таблиц, 1 приложение, список использованных источников из 165 наименований.

# 1 ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Общие сведения по путевому хозяйству АО «УТЙ»

В соответствии со Стратегией действия по развитию Республики Узбекистан [2] разработана стратегия развития железнодорожного транспорта страны [3].

Согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта развитие инфраструктуры путевого хозяйства АО «УТЙ» предусматривает [3]:

- строительство новых железнодорожных линий и реабилитация эксплуатируемых;
- строительство новых и реконструкция существующих отдельных пунктов;
- использование современных материалов и конструкций;
- развитие и внедрение инновационных технологий.

За годы независимости в Узбекистане проделана большая работа по формированию новых железнодорожных магистралей.

В 1994-2001 гг. в барханных песках построена новая железнодорожная линия Учкудук – Султануиздаг с электрификацией, реконструированы линии Навои – Учкудук, Султануиздаг – Нукус с электрификацией, которые послужили созданию железнодорожной линии Навои – Учкудук – Султануиздаг – Нукус протяженностью 341,6 км, обеспечивающей соединение северной части Республики с центральной [4].

В 2003-2007 гг. в горных условиях построена железнодорожная линия Ташгузар – Бойсун – Кумкурган протяженностью 223 км [5]. Новая железнодорожная линия служит развязкой южных регионов Республики с центральной.

В 2009-2013 гг. построены новые электрифицированные участки: двухпутный Джизак – Янгиер, однопутные Янгиер – Фархад, Янгиер новая – Даштабад, Галляарал – Булунгур, Даштабад – Джизак, послужившие организации

высокоскоростного движения на линии от Ташкента до Самарканда [6], на которых, на отдельных участках пути, скорость высокоскоростного электропоезда Afrosiyob достигает 250 км/ч. В настоящее время электропоезда Afrosiyob курсируют по направлению Ташкент-Самарканд-Карши и Ташкент-Самарканд-Бухара.

В 2013-2016 гг. была построена уникальная новая железнодорожная линия Ангрен – Пап [7]. Уникальность новой электрифицированной железнодорожной линии состоит в том, что она пересекает гребень Кураминского хребта, проходя тоннелем под перевалом «Камчик». Протяженность тоннеля составляет 19,2 км.

В 2017 г. сдана в эксплуатацию новая железнодорожная линия Бухара – Мискен протяженностью 357,3 км, из них 283 км линии сооружены на барханных песках. В 2018 г. поезда начали курсировать по новой построенной железнодорожной линии Ургенч – Хива, протяженность которой составляет 33,8 км [8].

В перспективе совместно с Казахстаном планируется строительство новой железнодорожной линии Учкудук – Кызылорда. Подписан план совместных действий. Кроме того, для увеличения туристического потенциала, прорабатывается вопрос строительства высокоскоростной магистрали Ташкент – Шымкент – Туркестан со скоростью движения поездов до 250 км/ч [9].

Схема железных дорог Республики Узбекистан представлена на рисунке 1.1.

Сведения о протяженности железнодорожных линий по Республике Узбекистан по состоянию на 01.01.2020 г. представлены на рисунке 1.2 [10].

На путях компании эксплуатируются 5352 комп. стрелочных переводов, из них 1815 комп. на главных путях (с НПК - 134 комп., для компенсации температурных напряжений в рельсовых плетях в местах примыкания стрелочных переводов с НПК уложены уравнивательные стыки проекта СП-848), 696 переездов, из них 585 на главных путях, 111 на подъездных путях.

Общее количество искусственных сооружений по главным путям – 5303 шт., тоннели – 20 шт., мосты – 1384 шт., водопропускные трубы – 3932 шт.



Рисунок 1.1 – Схема железных дорог Республики Узбекистан

|   |   |         |
|---|---|---------|
| Общая протяжённость, км                     | → | 7401,7  |
| Главные пути, км                            | → | 5242,6  |
| Станционные пути, км                        | → | 1771,7  |
| Подъездные пути, км                         | → | 387,4   |
| Бесстыковой путь, км                        | → | 3041    |
| Электрифицированные участки, км             | → | 2713,4  |
| Годовой объем укладки бесстыкового пути, км | → | 250-280 |

Рисунок 1.2 – Сведения о протяженности железнодорожных линий по Республике Узбекистан

В конструкции верхнего строения пути в основном применяются рельсы типа Р65 (84,2% от общей протяженности, рельсы типа Р75 – 0,2%, Р50 – 12,5%, Р43 – 3,1%) производства НКМК, НТМК и Азовсталь, кроме того, существуют опытные участки пути с рельсами производства Ниппон Стил и Фест-Альпине. Последние годы начались поставки рельсов из АРБЗ. В качестве подрельсового основания применяются шпалы типа Ш-1 со скреплениями КБ. Начиная с 2004 года массово начали укладку пути на шпалах типа ВF70 (ВF70S) со скреплениями Pandrol Fastclip [11 – 15], которые дают возможность создать плавный отвод ширины колеи в кривых участках пути [16].

Для содержания и безопасной эксплуатации инфраструктуры путевого хозяйства на дороге имеются восемнадцать Дистанций пути (ПЧ), одна Опытная путевая машинная станция (ОПМС), пять Путевых машинных станций (ПМС), одна Путевая дорожная мастерская (ПДМ), один Рельсосварочный поезд (РСП), один Центр мониторинга и диагностики пути.

На предприятиях применяются путевые машины тяжелого типа: укладочные краны типа УК-25/9-18 и УК-25/25, машины для очистки пути типа МОП-7 и СС-1, выправочно-подбивочно-отделочные машины типа ВПО-3000, ВПО-3000-3-0, Duomatic 09-32, электробалластеры ЭЛБ, щебнеочистительная машина типа RM-80, планировщики балласта типа SSP-110 и USP, машины для стабилизации пути типа MDZ и DGS-62, сварочные машины типа ПРСМ-4 и АРТ-500, путеизмерители типа КВЛ-П. Кроме тяжелого типа машин для текущего содержания пути, применяются дрезины типа ДГКу и VMT, мотовозы типа МПТ, экскаваторы-погрузчики на комбинированном ходу типа KGT. Для введения плетей в расчетный температурный интервал используется гидронатяжители типа ТН-70.

В настоящее время на железных дорогах Узбекистана применяется бесстыковая путь с рельсами длиной, как правило, до 800 м [17]. Работы по замене инвентарных рельсов на рельсовые плети бесстыкового пути при выполнении комплексов работ по капитальному ремонту и модернизации железнодорожного пути в путевом хозяйстве осуществляются в соответствии с Типовым технологическим процессом №3 [18], согласно которому инвентарные рельсы разбираются и грузятся укладочным краном, рельсовые плети надвигаются в их рабочее положение вручную. Таким образом, 1600 м бесстыкового пути укладывается за 3,5 часа, в производстве работ участвует 64 чел. Мировой опыт внедрения скоростного и высокоскоростного движения поездов свидетельствует о том, что железнодорожная инфраструктура при повышенных скоростях движения поездов в обязательном порядке переходит на рельсовые плети повышенной длины: до длины блок-участка или перегона. С целью осуществления перехода путевого хозяйства АО «УТЙ» на конструкцию бесстыкового пути с рельсовыми плетями повышенной длины, в 2015 году сделаны первые шаги. На перегоне Жалоир-Кучлук Ташкентской дистанции пути был создан опытный участок бесстыкового пути с рельсовыми плетями длиной 2065 м. В 2018 году уже на скоростном участке Яккабог-Китоб Каршинской дистанции пути уложены рельсовые плети длиной 1500 м.

С целью безопасной эксплуатации бесстыкового пути для подтверждения необходимости разрядки температурных напряжений в рельсовых плетях и оптимального планирования проведения ремонтов бесстыкового пути с учетом его реального напряженного состояния, в августе 2018 года группа специалистов (среди которых был и автор данной работы) под руководством начальника УПХ АО «УТЙ» была направлена в Будапешт для ознакомления с прибором RailScan и изучения особенностей его применения на Венгерских железных дорогах [19]. Прибор Railscan производства компании METAL ELEKTRO MEASURING TECHNIQUE LTD предназначен для контроля напряженного состояния плетей бесстыкового пути под действием температур. Для определения фактической температуры закрепления плетей с помощью Railscan измерения проводятся два раза с разницей температуры рельсов не менее  $7^{\circ}\text{C}$  [20, 21]. Для подтверждения возможности применения прибора Railscan на рельсах, эксплуатируемых на железных дорогах Узбекистана, в октябре 2018 года специалисты компании Metalelektro Measuring Technique Ltd. были приглашены в Ташкент. На основе всестороннего изучения аспектов прибора и проведенных экспериментов на действующих путях АО «УТЙ» руководством УПХ было принято решение о приобретении двух комплектов прибора Railscan.

## **1.2 Развитие бесстыкового пути**

Современный этап развития путевого хозяйства железных дорог характеризуется все большим распространением прогрессивных ресурсосберегающих технологий ремонта и технического обслуживания железнодорожного пути с использованием высокопроизводительных путевых машин, внедрением эффективных конструкций пути, к числу которых относится бесстыковая путь. Обеспечение нормальной работы бесстыкового пути и безопасности движения поездов начинается с укладки плетей бесстыкового пути.

Существующая конструкция бесстыкового пути, способы ее укладки и эксплуатации еще во многом могут быть усовершенствованы с целью дальнейшего повышения их эффективности [22, 23].

На развитие бесстыкового пути на железных дорогах Средней Азии, в частности Узбекистана, особый вклад внесли ученые Г.М. Андреевский [24], Л.А. Виноградова [25] и В.А. Виноградов [26] и др.

Г.М. Андреевским изучены вопросы, связанные с угоном и обеспечением продольной устойчивости пути. Проведенные исследования и многие экспериментальные работы [24] показывают, что при решении задач по обеспечению продольной устойчивости железнодорожного пути погонное сопротивление рельсов по подкладкам следует принимать переменным в зависимости от величины смещения рассматриваемого сечения рельса. Это имеет важное значение как для стыкового, так и для бесстыкового пути. Выявлены зависимости величины смещения и угла поворота шпалы под действием продольных сил, передаваемых шпале через промежуточные скрепления и противоугоны, от геометрических размеров шпалы. Разработаны рекомендации по установке самозаклинивающихся и пружинных противоугонов, по подбивке балластной призмы на конечных участках рельсовых плетей. Разработаны рекомендации по количеству шпал на км на концах рельсовых плетей в зависимости от рода балласта на основе выявленных корреляционных связей между силой угона, передаваемой противоугонами, и величиной смещения шпалы [24].

Исследования Л.А. Виноградовой [25] были направлены на вопросы температурного режима работы бесстыкового пути в условиях жаркого климата. В работе Л.А. Виноградовой была разработана методика расчета бесстыкового пути, учитывающая влияние продольной температурной силы на напряженное и деформированное состояние плети бесстыкового пути, как балки на основании Власова-Леонтьева, сжатой или растянутой постоянной продольной силой, с учетом статических характеристик неровностей поверхности катания рельсов. По разработанной методике составлена программа для ЭВМ «Наири-3», позволяющая



производить численные расчеты бесстыкового пути. Разработан практический метод подсчёта максимально допустимых изменений температуры рельсов по сравнению с температурой закрепления введением коэффициента, учитывающего влияние сжимающих и растягивающих продольных сил. Даны рекомендации по условиям укладки и содержания бесстыкового пути в условиях жаркого климата, позволяющие в широких пределах применять температурно-напряженный бесстыковый путь без разрядки температурных напряжений практически без ограничения установленных скоростей движения, за исключением участков в кривых радиусами менее 500 м, для которых годовая амплитуда температур более  $100^{\circ}\text{C}$  [25].

В.А. Виноградовым на основании проделанного расчета сделаны выводы, что при укладке железобетонных шпал повышенной массы с эшпурой 1440 шт./км с рельсами Р75 и 1600 шт./км с рельсами Р65 и Р75 не нарушается безопасность эксплуатации плети бесстыкового пути [26].

Кроме местных ученых, состояние вопроса укладки бесстыкового пути в условиях Средней Азии были изучены российскими учеными С.И. Клиновым [27] и Н.П. Виногоровым [28].

В работе [27] на основе анализа температурного режима рельсов Среднеазиатского региона (в частности Ташкентской и Саларской дистанций пути) с помощью разработанной автором методики определены оптимальные температуры закрепления рельсовых плетей для систем содержания пути машинами тяжелого типа и с применением средств малой механизации, разработаны рекомендации по планированию путевых работ на бесстыковом пути для Среднеазиатского региона.

Н.П. Виногоровым [28] в условиях Среднеазиатского региона было изучено поведение рельсовых плетей на металлических мостах, расположенных на территории Андижанской дистанции пути, которое послужило базой для учета условий региона при разработке рекомендации по эксплуатации бесстыкового пути на металлических мостах.

За годы независимости учёными и специалистами выполнен ряд работ по развитию бесстыкового пути. В конце 90-х годов специалистами Научно-производственной ассоциации «MDXX», кафедры «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» ТашИИТа при участия главного инженера УПХ АО «УТЙ» был разработан способ погрузки и выгрузки рельсовых плетей, который не требует никакого дополнительного оборудования к обычному спецсоставу для транспортирования рельсовых плетей. От внедрения такой технологии рассчитан экономической эффект на сумму 600 тыс. долл. США на каждые 100 км ремонта пути [29].

И.И. Кузнецовым на основе анализа многолетних данных метеостанций, расположенных в стране, были определены расчетные годовые амплитуды температуры рельсов, установлены оптимальные температуры закрепления плетей по регионам, которые отражены в [17]. В конце 2017 года на территории Ташкентской дистанции пути силами УПХ АО «УТЙ» был построен специальный стенд (рисунок 1.3), разработанный И.И. Кузнецовым. В 2018 году на стенде начаты первые опыты по определению погонного сопротивления продольному перемещению конструкций пути (рисунок 1.4) согласно методике [30], разработанной специалистами НИЛ «ППХ» ТашИИТа.

Специалистами кафедры «СЖД, ППХ» совместно НИЛ «ППХ» ТашИИТа разработана конструкция устройства для измерения силы прижатия клеммы скрепления к рельсу для оценки изменения фактического состояния узла скреплений Pandrol Fastclip за период его эксплуатации [31].

На развитие бесстыкового пути в России особый вклад внесли ведущие ученые: М.С. Боченков [32], Г.М. Альбрехт [33, 34], Е.М. Бромберг [35, 36], К.Н. Мищенко [37], А.Я. Коган [38], С.И. Морозов [39], В.И. Новакович [40], С.И. Клинов [27], В.А. Грищенко [41], В.С. Лысюк [42, 43] В.В. Ершов [44], О.А. Суслов [45], а также за рубежом: О. Amman [46], D. Ignyatich [47], G. Mayer [48], N.V. Tuen [49], I. Nemeshti [50], M. Numata [51], R. Levi [52] и другие.

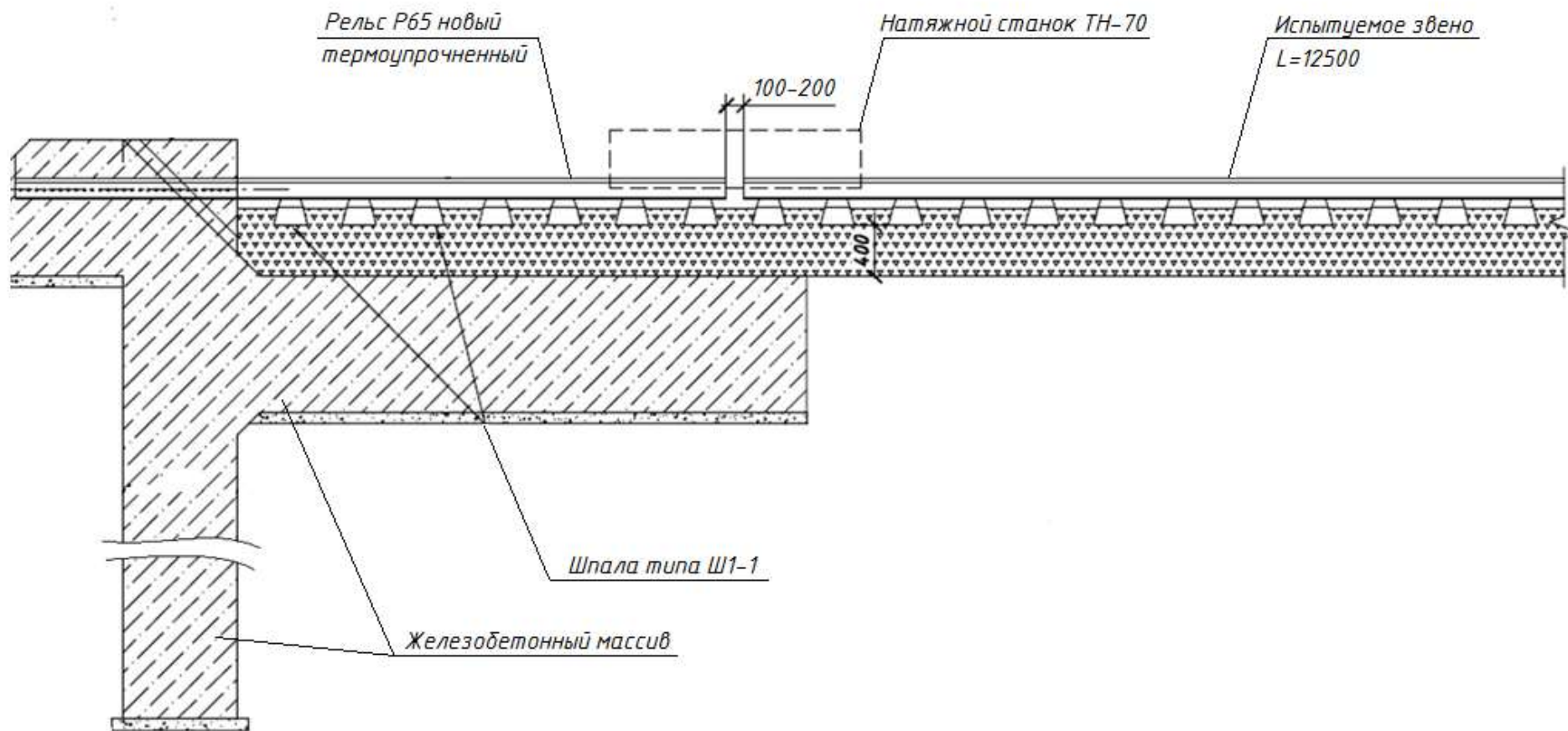


Рисунок 1.3 – Испытательный стенд конструкции И.И. Кузнецова



Рисунок 1.4 – Процесс первого опытного испытания на стенде на территории Ташкентской дистанции пути

Вопросами укладки и ремонта бесстыкового пути занимались ученые: М.С. Боченков [53], В.И. Новакович [54, 55], С.И. Клинов [56], З.Л. Крейнис [57], Е.М. Бромберг [58], Н.Б. Зверев [59], В.Н. Свистунов [60], В.А. Грищенко [61, 62], Н.П. Виногоров [63, 64], В.Ф. Сушков [65], В.П. Шраменко [66], А.А. Бондаренко [67], В.В. Ершов [68 - 70], Г.Г. Жулев [71-74], Н.Н. Лысенко [75], Г.В. Карпачевский [76], Х.Х. Дутаев [77] и другие.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в работе [54], сделаны выводы, что дополнительные продольные растягивающие силы, возникающие в рельсах бесстыкового пути при обычных подъемах путевой решетки домкратами или при рихтовочных работах, невелики и их можно не учитывать, при вывеске рельсошпальной решетки подъемным устройством

путевых машин тяжелого типа в рельсах бесстыкового пути возникают значительные продольные растягивающие силы. Даны рекомендации по выполнению путевых работ, связанных с подъёмкой и рихтовкой рельсошпальной решетки с применением машин тяжелого типа [54].

Способы восстановления бесстыковых рельсовых плетей после изломов в условиях эксплуатации были исследованы С.И. Клиновым [56]. На основе выполненных исследований установлена длина вырезаемой части рельсовой плети (с дефектом), разработаны технологические приемы по восстановлению целостности поврежденных рельсовых плетей. Определены требования к стяжному прибору для искусственного создания растягивающих напряжений необходимой величины с целью восстановления расчетного температурного режима рельсовой плети, нарушенного вследствие излома [56].

В.Н. Свистуновым [60] получены зависимости погонного поперечного усилия от параметров изогнутой оси рельсошпальной решетки с учетом момента сопротивления креплений повороту рельса относительно шпал. Сделаны выводы, что укладка плети в кривой связана с частичным выпрямлением ее изогнутой части, что приводит к появлению в плети дополнительной продольной сжимающей силы, величина которой зависит от параметров изогнутой оси плети, что требует ее разрядки. Даны рекомендации по укладке рельсовых плетей в кривых участках пути [60].

Вопросы укладки и эксплуатации бесстыкового пути с рельсовыми плетями, равными длине блок-участков были исследованы в работе [61], на основе выполненных работ разработаны технология изготовления и укладки длинных рельсовых плетей с учетом особенности производства этих работ, технология разрядки температурных напряжений и восстановления рельсовых плетей после излома или выброса с применением способа предварительного изгиба, технология производства работ по сварке в пути рельсовых плетей после их укладки способом постепенного наращивания [61].

Н.П. Виногоровым была предложена технология перекладки плетей с заменой рабочего канта в кривых с применением устройства УППВ-1. Устройство

состоит из двух салазок с роликовыми опорами, смонтированными на разных по высоте уровнях, которые служат для перекладки наружной нити на место внутренней и наоборот. Особенность перекладки заключается в том, что вследствие разности длин плетей наружной и внутренней нитей в процессе работ постоянно смещается конец плети, переложённой с внутренней нити в наружную, по направлению перекладки. В то же время конец плети, переложённой с наружной нити на внутреннюю, сдвигается в направлении противоположном ходу перекладки [63]. Ещё Н.П. Виногоровым совместно А.А. Новиковым и М.В. Перегудовой предложен способ укладки бесстыкового пути с удлинением их сваркой и вводом в оптимальную температуру закрепления [64].

В.Ф. Сушковым [65] разработаны технологические приемы, позволяющие решить проблемы ремонта дефектных рельсовых плетей, окончательного восстановления их целостности, увеличения длины рельсовых плетей непосредственно в полевых условиях с незначительными затратами труда и времени в различных эксплуатационных условиях. Определены основные показатели технологии сварочных работ методом предварительного изгиба, который практически дает возможность сохранить расчетный температурный режим в рельсовых плетях. Даны рекомендации по сварке между собой двух или большего количества рельсовых плетей. Сделаны выводы, что рельсовые плети, имеющие различный температурный режим до сварки, должны быть приведены к единому расчетному, только после этого целесообразно производить их сварку [65].

В работе [67] установлено, что наиболее рациональным способом устройства бесстыкового пути сверхнормативной длины является сварка плетей нормативной длины при надвижке последних на подкладки во время капитального ремонта пути. Рекомендуется сварку плетей производить с применением способа предварительного изгиба одного из свариваемых концов. Разработана технология монтажа бесстыкового пути с плетями сверхнормативной длины, которая при типовой оснащённости и укомплектованности ПМС и ПРСМ, в течение 8-ми часовой смены дает возможность уложить рельсовые плети длиной около 2400 м.

Получены зависимости для определения необходимых усилий предварительного изгиба рельсовых плетей во время сварочных работ [67].

Исследование Г.Г. Жулева [71] посвящено совершенствованию технологий сварочных работ и изменению напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути при сварке. На основании исследования сделаны выводы, что температура закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути практически не оказывает влияния на появление дефектов в них. Подтверждены принципиальные возможности получения расчетных значений растягивающих напряжений в зонах производства сварочных работ в случае производства этих работ при температурах рельсов менее их температур закрепления по разработанным автором технологиям. Разработано одиночное нагревательное устройство для применения в технологии по ремонту рельсовых плетей бесстыкового пути сваркой. Установлено, что равномерность распределения растягивающих напряжений в зоне производства работ оказывает влияние на промежуток времени между окончанием нагрева участка рельсовой плети и полным закреплением раскрепленного участка на подрельсовом основании. Установлено, что для полного естественного остывания нагретого рельса требуется значительный промежуток времени, для ускорения этого процесса рекомендовано применять искусственное охлаждение [71].

Методы определения отступлений от установленного температурного режима эксплуатации бесстыкового пути при выполнении путевых работ по укладке, содержанию и ремонту представлены в работе [76]. На основе разработанного метода рекомендованы варианты последовательности применения технологических приемов и способов укладки и ремонта бесстыкового пути со сверхдлинными рельсовыми плетями в зависимости от конкретных условий производства работ: температуры рельсов, температуры закрепления рельсовых плетей, а также от продолжительности «окон», наличия ПРСМ в момент производства работ по выгрузке рельсовых плетей с учетом исследованных отступлений от температуры закрепления [76].

Х.Х. Дутаевым [77] на основании анализа известных методов определения напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути в пределах

концевых участков рельсовых плетей и с учетом эксплуатационных условий им соответствующих, выбраны методы, приемлемые для России (в т.ч. СНГ). С учетом воздействия поездной нагрузки определены особенности системы эксплуатации бесстыкового пути в пределах концевых участков рельсовых плетей и уравнительных пролетов. Разработаны технологические приемы, необходимые для обеспечения рекомендованного устройства концевых участков рельсовых плетей бесстыкового пути и уравнительных пролетов. С учетом фактора времени определены особенности производства ремонтных работ на концевых участках бесстыкового пути [77].

В настоящее время бесстыковой путь на железных дорогах стран СНГ укладывают в две стадии: сначала укладывают рельсошпальную решетку, используя инвентарные рельсы, а затем, после стабилизации балластной призмы, инвентарные рельсы заменяют сварными рельсовыми плетями. С целью механизации работы по замене инвентарных рельсов на рельсовые плети бесстыкового пути со временем были предложены разнообразные технологии с применением различных устройств и оснастки, которые приведены ниже.

### **1.3 Технологии укладки рельсовых плетей бесстыкового пути, применяемые в странах СНГ**

В 1958 году главным механиком ПМС-71 И. Д. Костенко было предложено приспособление для укладки сварных рельсовых плетей [78], которое отличалось простотой конструкции и использовалось с укладочным краном. Укладка в путь предварительно разгруженных сварных плетей производилась следующим образом. Инвентарные рельсы снимали и грузили на платформы укладочным краном, оборудованным рельсовыми клещами. Следом за краном, разбирающим инвентарные рельсы, двигался кран, оборудованный приспособлением И.Д. Костенко (рисунок 1.5), который производил укладку рельсовых плетей. Способ ПМС-71 можно было применить при любом типе рельсов и креплений. Таким



образом, две плети длиной 800 м укладывались за 2-2,5 ч., в производстве работ участвовали 44 чел. [78].

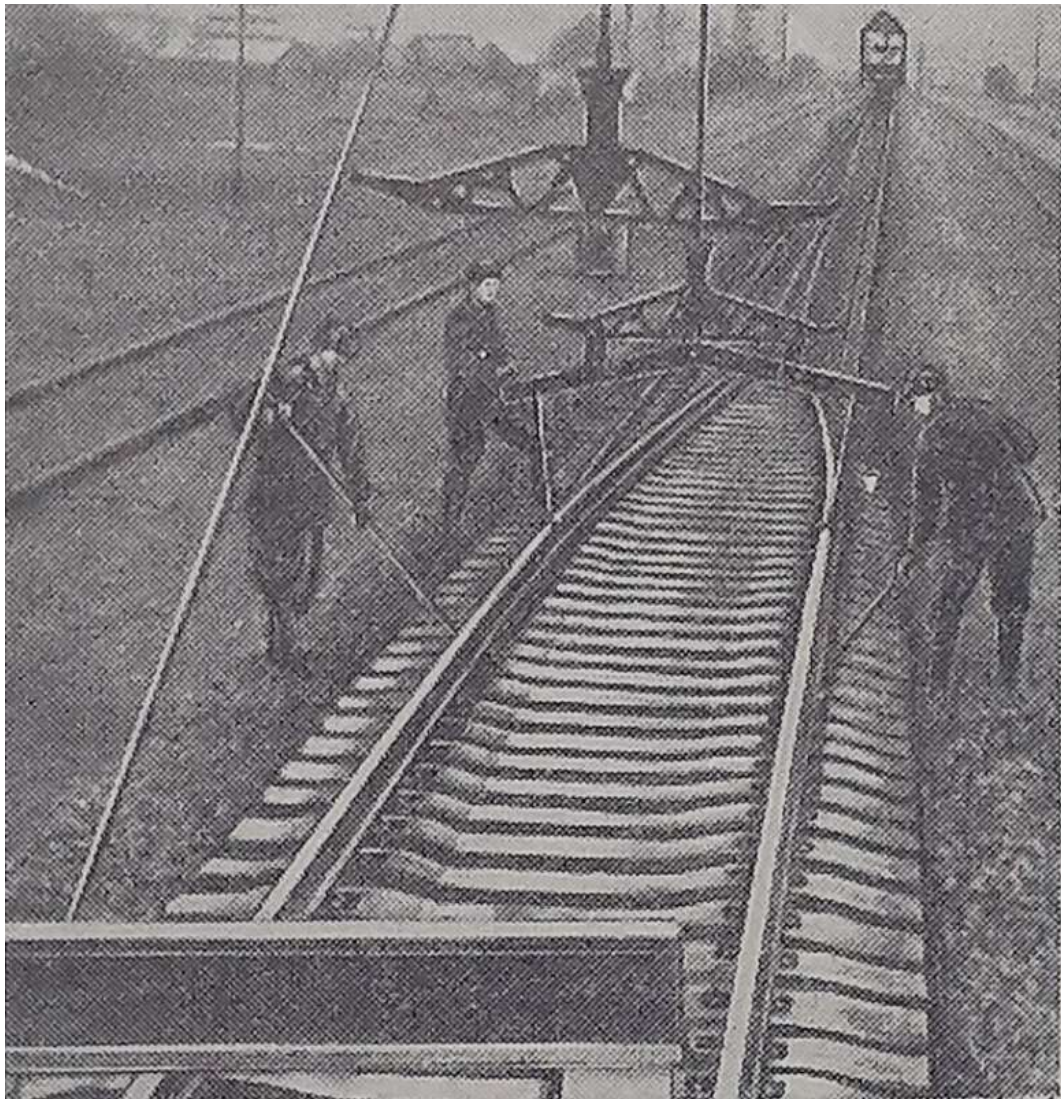


Рисунок 1.5 – Укладка рельсовых плетей с помощью приспособления И. Д. Костенко

В 1959 году был предложен способ укладки рельсовых плетей с применением специальной лыжной рамы, разработанный работниками ПМС-75 В. М. Земсковым и А. А. Ленивцевым. С помощью этого приспособления одним укладочным краном производились одновременно уборка инвентарных рельсов и укладка сварных рельсовых плетей, предварительно выгруженных внутри колеи (рисунок 1.6). Таким способом за трехчасовое «окно» укладывали две сварные плети по 800 м, при этом в работах участвовали 67 чел. [79].

В ПМС-40 на Горьковской железной дороге в процессе укладки рельсовых плетей применяли лыжные рамы упрощенной конструкции (рисунок 1.7). Процесс укладки сварных рельсовых плетей в колею с применением лыжной конструкции ПМС-40 и снятия инвентарных рельсов с погрузкой их на платформы производились также как это делается в ПМС-75 [79]. Как показали опыты, лыжные рамы упрощенной конструкции могут быть успешно применены при укладке плетей с рельсами типа Р50 на прямых участках пути. При укладке рельсовых плетей из рельсов типа Р65 нагрузки на лыжную раму значительно возрастали, что приводило к резкому увеличению трения лыж о кромки подкладок. Вследствие этого лыжная рама двигалась рывками, создавая угрозу обрыва несущего троса. Таким образом, рельсовые плети общей длиной 2 км укладывались в «окно» продолжительностью 4 ч., в производстве работ участвовали 43 чел.

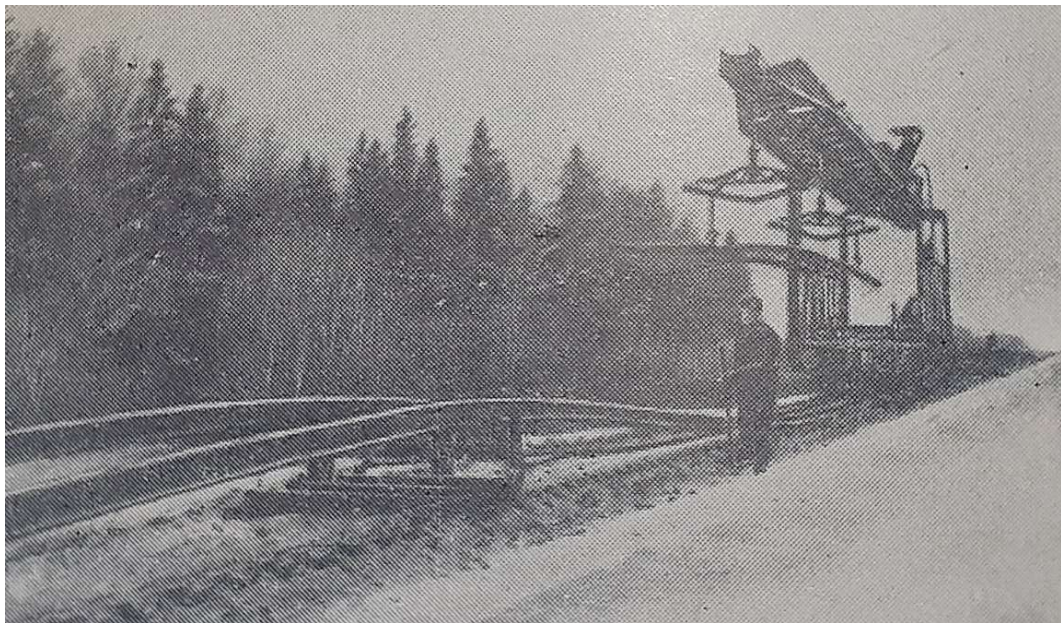


Рисунок 1.6 – Лыжная рама ПМС-75 в работе

ОПМС-1 Октябрьской железной дороги в 1961 году начала укладку бесстыкового пути с применением укладочного крана и навесного оборудования. Укладка плетей по способу ОПМС-1 заключается в том, что инвентарные рельсы с подкладок убирают путеукладочными кранами, а новые рельсовые плети одновременно надвигают на подкладки навесным оборудованием, монтируемым на

стреле укладочного крана. Таким способом за трехчасовое «окно» можно укладывать 1600 м бесстыкового пути, при этом в работах участвовали 36 человек (рисунок 1.8) [79].

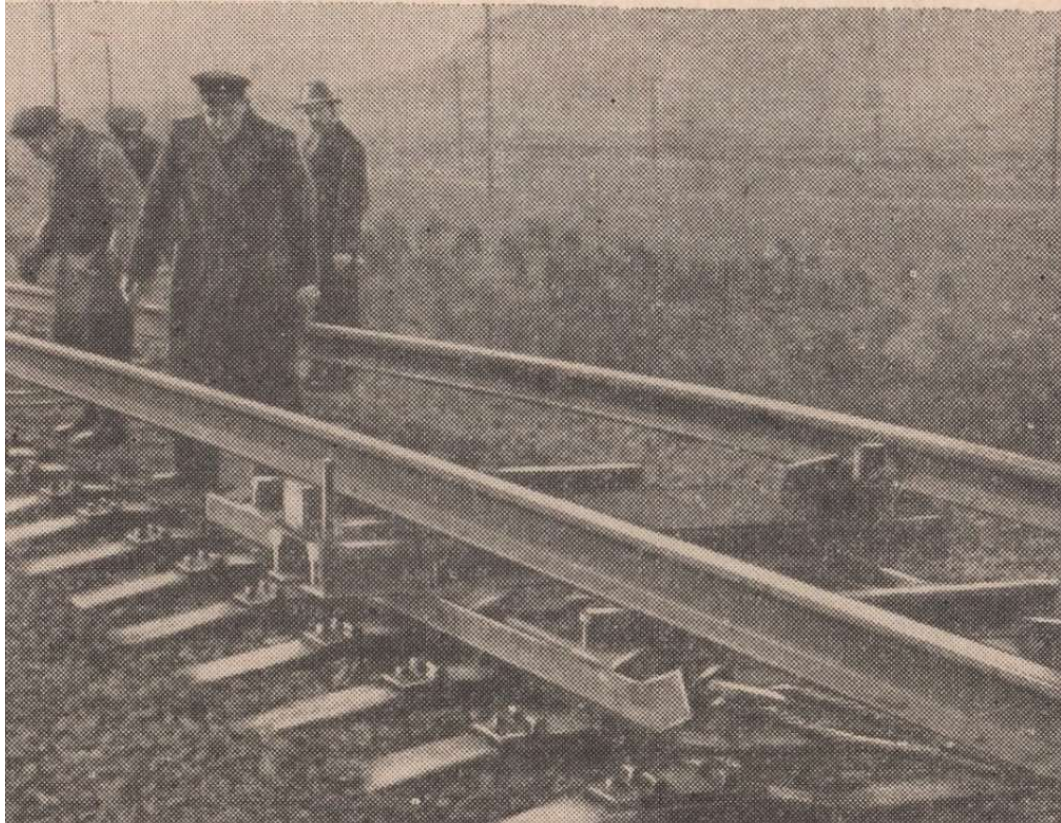


Рисунок 1.7 – Упрощенная лыжная рама конструкции ПМС-40

В конце 60-х годов начинаются опыты по укладке рельсовых плетей в путь непосредственно с подвижного состава. Этот способ впервые был предложен в ОПМС-1 [79]. При производстве работ по такому способу применяется спецсостав с укладочным краном, оборудованный роликами и специальной тележкой для подъема и сдвижки старых рельсовых нитей. Процесс работ следующий: перед закрытием перегона с участка укладки сварных рельсовых плетей снимают клеммные болты, оставляя их только на одной шпале через 25 – 50 м, по прибытии укладочного состава к месту производства работ производится его зарядка. По мере движения состава назад со скоростью 1 – 2 км/ч двое рабочих должны успевать снимать оставшиеся клеммные болты, после чего инвентарные рельсы при помощи опорных роликов тележки поднимают и сдвигают на концы шпал, а сварные

рельсовые нити, поддерживаемые роликовыми клещами, постепенно спускаются с платформ и укладываются на подкладки вместо сдвинутых инвентарных рельсовых нитей. Недостатком данного способа является невозможность непрерывности производства работ, для снятия оставшихся клемм придется останавливать подвижной состав через каждые 25 – 50 м.



Рисунок 1.8 – Укладка бесстыкового пути путеукладчиком с помощью приспособления инж. К.Г. Арутюняна

На Среднеазиатской железной дороге инженерами У.М. Абдуллаевым и А.П. Синягиным предложены устройства и новый способ производства работ, который позволяет избежать разрезки плетей при замене их. С помощью устройства апробировалась возможность укладки плетей с подвижного состава без привлечения для этого укладочного крана [80]. Однако вопрос снятия оставшихся клемм остался на том же уровне.

Для улучшения указанной организации работ в лаборатории бесстыкового пути ВНИИЖТа Е.М. Бромбергом внесено предложение по одновременной выгрузке с подвижного состава рельсовых плетей и укладке их в путь. Применяемый для этой цели плетеукладчик [81] состоит из рельсоукладчика, платформ с роликовыми опорами и локомотива в хвосте состава. Кроме того, в состав плетеукладчика входит несколько съемных приспособлений. Это тележки для снятия инвентарных рельсов и разборки устанавливаемых вместо оставшихся клемм временных рельсовых скреплений [82, 83]. Таким образом, 5000 м бесстыкового пути укладывались за 5 часов, в производстве работ участвовали 60 чел. Процесс испытания плетеукладчика на путях производственной базы ОПМС-1 представлен на рисунке 1.9.

В [66] на основании проделанных расчетов сделан вывод о том, что в условиях производства работ по замене рельсовых плетей с применением плетеукладчика, разработанного Е.М. Бромбергом, на участке пути со скреплениями подкладочного типа, когда имеют место реборды, ограничивающие горизонтальные отжатия подошвы рельса, можно допускать движение хозяйственных поездов по пути, свободному от рельсовых прикрепителей (клемм).

В 2010 году первыми среди стран СНГ на железных дорогах Казахстана начали укладку бесстыкового пути поточным методом, с применением для этого путеукладочного комплекса SMD 80 производства компании Plasser&Theurer, рисунок 1.10 [84].



Рисунок 1.9 – Испытания плетеукладчика на путях производственной базы ОПМС-1

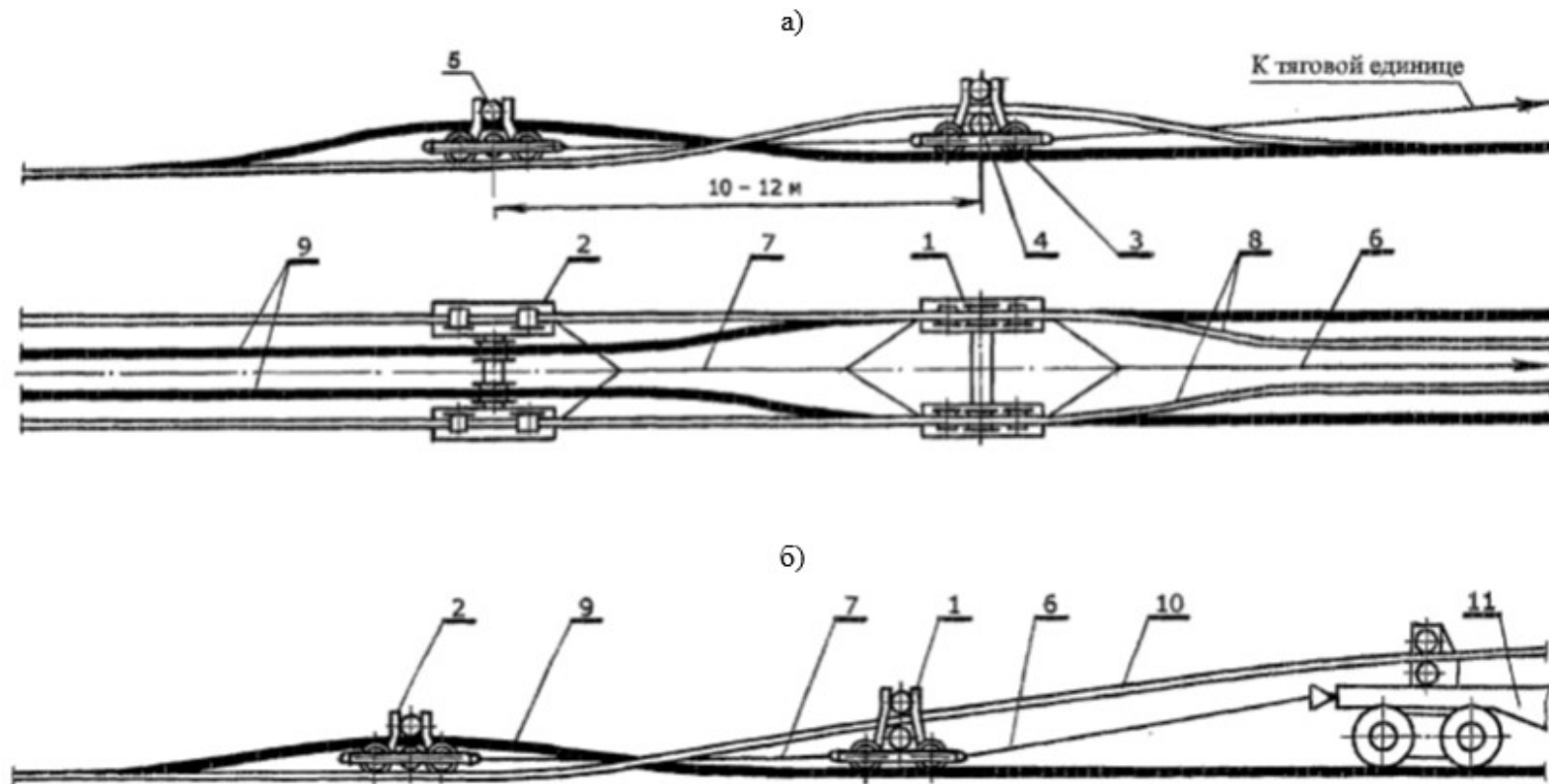


Рисунок 1.10 – Процесс укладки бесстыкового пути на железных дорогах Казахстана

Технология замены и укладки рельсовых плетей бесстыкового пути длиной до блок-участка или перегона с бесподкладочными скреплениями типа APC с

использованием оборудования, разработанного кафедрой «Путь и путевое хозяйство» МИИТа, предложена в работе [75]. Оборудование представляет собой две тележки на рельсовом ходу, соединенные между собой и с тяговой единицей тросом. Оборудование прицепное. Зарядка тележек осуществляется с помощью любого грузоподъемного оборудования. Разрядка тележек производится автоматически по окончании замены. После зарядки и соединения тележек между собой и с тяговой единицей производится замена рельсовых плетей. Двигаясь по «старым» рельсовым плетям тележка № 1 надвигает «новые» плети, предварительно выгруженные и находящиеся внутри колеи (или с выгрузкой с подвижного состава), на подкладки, а тележка № 2, двигаясь вслед за ней, сдвигает «старые» рельсовые плети, выходящие из-под тележки №1, внутрь колеи, перемещаясь при этом по вновь уложенным «новым» плетям [75]. По такой технологии 3500 м бесстыкового пути можно укладывать за 3 часа, при этом в работах участвуют 67 чел. Схема работы оборудования, разработанного специалистами МИИТа, представлена на рисунке 1.11. С применением тележек конструкции МИИТа была разработана технология перекладки с заменой рабочего канта рельсовых плетей в кривых участках пути [85].

В развитие способов укладки бесстыкового пути особый вклад внесли специалисты ПТКБ ОАО «РЖД». Ими были разработаны конструкции пары тележек для замены рельсовых плетей (рисунок 1.12) [86], устройство для перекладки плетей со сменой рабочего канта (рисунок 1.13) [87], специальная тележка для перекладки рельсовых нитей с колеи 1067 на 1520 мм (рисунок 1.14) [88]. Ещё предложена [89] технология замены инвентарных рельсов плетями с применением комплекта тележек с прицепкой их к экскаватору-погрузчику KGT-4RS. Произведены расчеты тягового усилия экскаватора-погрузчика. На основе результатов расчетов сделан вывод о возможности применения экскаватора-погрузчика в качестве тяговой единицы при замене инвентарных рельсов плетями с применением комплекта тележек.



а – схема работы оборудования конструкции МИИТа при размещении новых плетей внутри колеи;

б – схема использования оборудования конструкции МИИТа при выгрузке плетей с рельсовозного состава;

1 – тележка №1 для продвижки плетей на подкладки; 2 - тележка №2 для сдвижки плетей внутрь колеи; 3 - ходовые ролики тележек; 4 - блок опорных роликов; 5 - блок противокантовочных роликов; 6 - тяговый трос; 7 - соединительный трос; 8 - укладываемые рельсовые плети; 9 - инвентарные рельсовые плети; 10 - рельсовые плети, выгружаемые с рельсовозного состава; 11 - концевая платформа

Рисунок 1.11– Схемы использования оборудования конструкции МИИТа для замены инвентарных рельсов на рельсовые плети





Рисунок 1.12 – Процесс замены рельсовых плетей с применением тележек конструкции ПТКБ



Рисунок 1.13 – Процесс перекладки рельсовых плетей

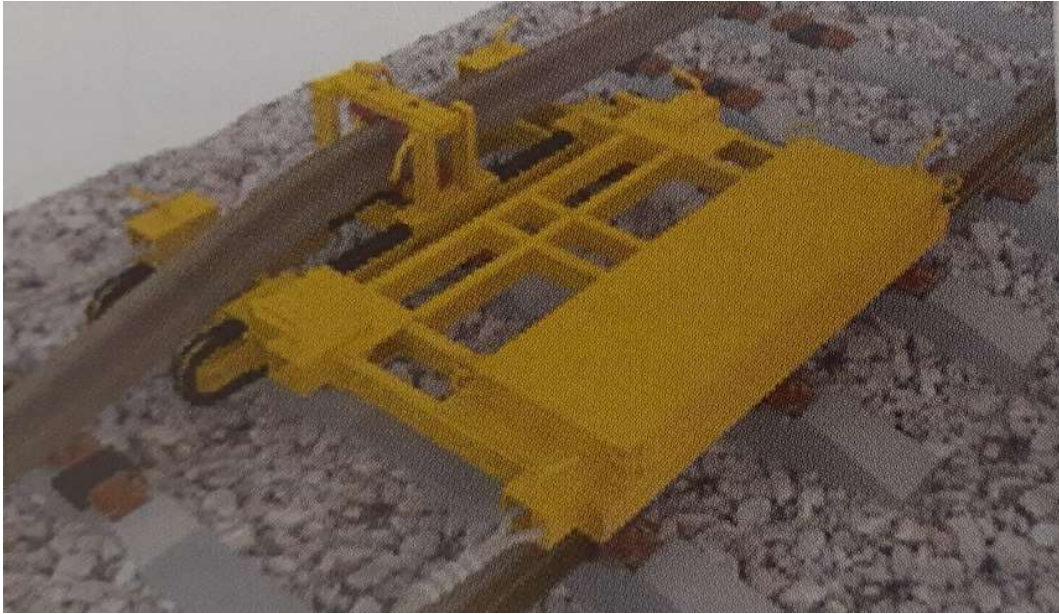


Рисунок 1.14 – Специальная тележка для перекладки рельсовых нитей с колеи 1067 на 1520 мм

В 2018 году на Ташкентской и Саларской дистанциях пути начата укладка рельсовых плетей с применением экскаватора-погрузчика, оборудованного роликовым рельсовым захватом [90]. Технология укладки производится следующим образом: экскаватор-погрузчик, оборудованный роликовым захватом, двигаясь стрелой вперед, укладывает рельсовые плети сначала по одной рельсовой нити, а потом (при повторном проходе по пути в обратном направлении) по второй рельсовой нити. Перед укладкой предварительно убираются (сдвигаются) инвентарные рельсы тоже сначала по одной нити, а потом по второй, т.е. после снятия инвентарных рельсов по одной нити сразу же на их место укладываются рельсовые плети, потом аналогичную работу выполняют по второй рельсовой нити [91].

Начиная с января 2020 года таким же способом производили работы по смене рельсовых плетей на Грязовецкой дистанции пути. Такой метод используется и на Октябрьской железной дороге. Экономический эффект при замене 800-метровой рельсовой плети таким способом составил 22976 руб. [92]. Процесс смены рельсовых плетей с применением экскаватора-погрузчика типа KGT-4RS, оборудованного навесной оснасткой, представлен на рисунке 1.15.



Рисунок 1.15 – Процесс смены рельсовых плетей на Грязовецкой дистанции пути

Совершенствование технологии работ по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути при строительстве новых железных дорог и при выполнении ремонтов железнодорожного пути на многих зарубежных железных дорогах актуальна и для решения этой задачи предложены разные способы. Ниже приведены способы укладки бесстыкового пути, применяемые на зарубежных железных дорогах.

#### **1.4 Зарубежный опыт механизированной укладки плетей бесстыкового пути**

В связи интенсивностью движения поездов на многих зарубежных европейских железных дорогах разборка и укладка пути осуществляется поточным методом в один этап в сжатые сроки с минимальными потерями от перерывов в движении поездов. Для этого применяются путеукладочные поезда типа SUZ

производства фирмы Plasser & Theurer [93 – 101]. Путьукладочные поезда такого вида начали применять с 1968 года. Отличительная особенность этих путевых укладочных поездов – поточное производство работ отдельным способом. При этом все операции по доставке новых материалов, смене путевой решетки и уборке старых материалов выполняются в течение одного «окна». Благодаря этому отпадает необходимость в применении инвентарных рельсов, а также в уборке и вывозке по окончании ремонтных работ элементов старого пути. Путьукладочные поезда типа SUZ состоят из двух составов. В первый состав, перемещающийся по старому пути, входят восемь платформ с новыми рельсами, группа платформ для старых шпал, две рабочие и три погрузочные платформы для перевозки путевых машин, а также одна моторная платформа с гидравлическим приводом ходовых частей или мотовоз небольшой мощности. Второй состав путьукладочного поезда перемещается по новому пути. Он состоит из моторной платформы с устройством для раскладки новых шпал, платформы с новыми креплениями и механизмами для завинчивания шурупов, платформ для новых шпал с тремя порталными кранами и восемью платформ для старых рельсов. Все платформы обоих составов соединены между собой переходными мостиками и рельсовой колеей для передвижения порталных кранов вдоль состава, а по бокам платформ, на полу, имеются роликовые направляющие, по которым перемещаются рельсовые плети. В головной части второго состава находятся оборудование для укладки новых шпал и механизм для подъема старых рельсов, а в хвостовой части первого состава – оборудование для уборки старых шпал и выгрузки новых рельсов. Новые рельсовые плети на участке работ выгружаются предварительно и укладываются на концы шпал. Старые рельсовые плети гидроуправляемыми роликовыми захватами снимаются со шпал, разводятся на расстояние до 3 м и подаются на тяговый механизм второго состава. Шпалы старого пути поднимаются специальным подъемным устройством на хвостовую платформу первого состава, попадают на конвейер и укладываются на платформу для шпал. После уборки старых шпал планируется и уплотняется балласт грейдером. Пакеты новых железобетонных шпал перевозятся на поддонах эстафетным способом тремя

портальными кранами в головную часть второго состава и подаются к укладочному механизму. Далее кран снимает с поддонов по 6 шпал и укладывает их на поворотный круг для разворота на  $90^\circ$ . Затем шпалы автоматически раскладываются по эюре на ленточном транспортере, который подает их на диск шпалокладчика для раскладки на балластную призму. После укладки новых шпал новые рельсовые плети, предварительно разложенные на обочине пути, с помощью роликовых клещей сводятся и укладываются на шпалы. С моторной платформы второго состава выгружаются рельсовые скрепления, которые операторы устанавливают, используя при этом электроприводные двухголовочные гайковерты. По такой технологии можно укладывать 500 м пути в час. [94, 101]. Процесс работы путеукладочных поездов поточным методом представлен на рисунке 1.16.



а – укладка нового пути; б – процесс замены

Рисунок 1.16 – Процесс работы поточным методом

Кроме стран Европы такой способ укладки бесстыкового пути применяется на железных дорогах Австралии, Аргентины, Китая, Индии, Ирана, Танзании и др. [102].

За рубежом кроме поточного метода широко применяется метод поэлементной укладки пути. В 1963 году на железных дорогах США были применены машины на пневмоходу для разгрузки рельсовых плетей с поезда и их укладки на разложенные шпалы [103]. При выгрузке рельсовых плетей с подвижного состава на разложенные на земляном полотне шпалы машина передвигалась по полотну на колесах, охватывающих длину шпалы, рисунок 1.17.

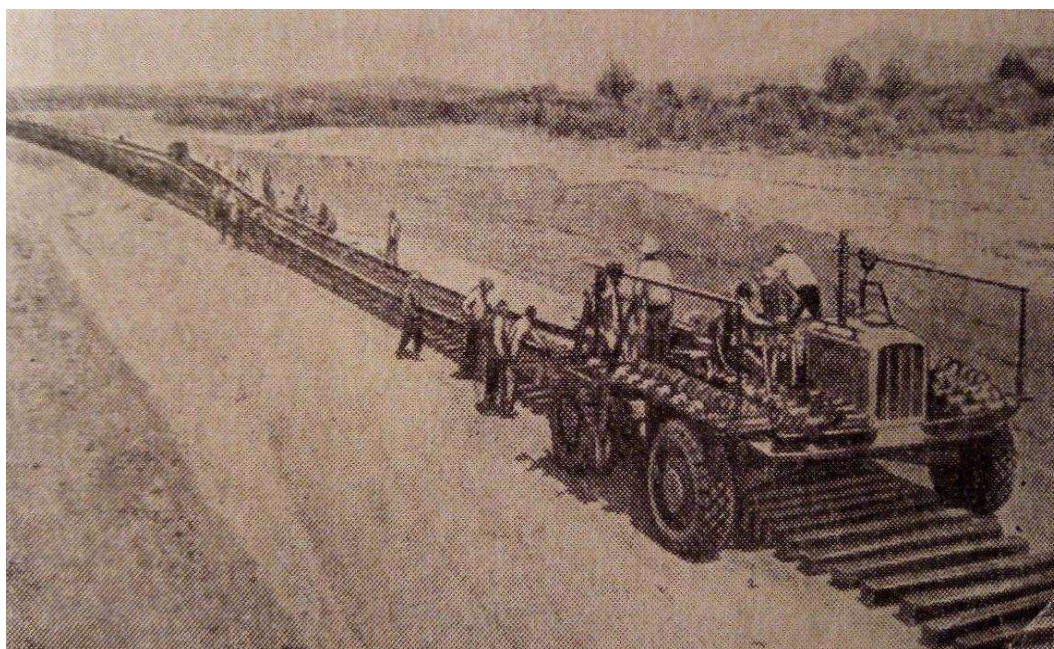


Рисунок 1.17 – Укладка рельсовых плетей машиной на пневмоходу (США)

Ход колес шире длины шпалы. Концы двух рельсовых плетей присоединяют к упряжному устройству машины через болтовые отверстия закладной шпилькой. Оба рельса находятся на взаимном расстоянии, равном ширине колеи. При движении машины вперед, присоединенные к ней рельсовые плети стягиваются с пола платформ поезда. На платформе машины находятся ролики, которые снимают с нее и устанавливают непосредственно на шпалы примерно через 14 м один от другого для передвижения по ним рельсов. Когда одна пара плетей полностью

уложена, их отцепляют от машины, которая после этого возвращается к поезду. Задние концы разгруженных рельсов, поддерживаемые роликами, находятся под платформой машины и стыкуются накладками с ранее уложенным путем. Машина снова движется вперед, подвешивая при этом плети над роликами; это позволяет снять ролики со шпал, а рельсовые плети уложить непосредственно на верхнюю постель шпал [103]. На сегодняшний день такой вид технологии укладки рельсовых плетей широко распространён, но при выполнении работ применяются более современные машины и механизмы, рисунок 1.18 [104, 105].

При поэлементной укладке пути ещё применяются экскаваторы на комбинированном ходу [106, 107]. Сначала экскаваторы, оборудованные траверсами, укладывают шпалы, после чего экскаваторы, оборудованные роликовыми рельсовыми захватами, укладывают рельсовые плети, предварительно выгруженные на обочину, рисунок 1.19. Такой способ укладки пути эффективно использовать на двухпутных участках, когда элементы верхнего строения пути предоставляются на место работ с соседнего пути.

Кроме экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных роликовыми рельсовыми захватами, для поэлементной укладки рельсовых плетей ещё применяются специальные самоходные механизмы производства компании Robel, рисунок 1.20. Специальный самоходный механизм, двигаясь по предварительно выгруженным рельсовым плетям, уложенным за торцы шпал, надвигает их в рабочее положение. Механизм надвижки позволяет работать с шириной колеи от 830 мм до 3530 мм. Механизм надвижки рельсовых плетей управляется одним оператором [108, 109].

На дорогах Японии смена рельсовых плетей производится в период ночного перерыва в движении поездов с использованием специального комплекса машин. В процессе работ меняются одновременно обе рельсовые нити длиной по 1500 м. Процесс смены рельсов выполняется по следующей схеме. Вначале на обочине пути размещают две новые рельсовые нити длиной по 1500 м. Предварительная подготовка рельсовых нитей производится на рельсосварочной базе, где из рельсов стандартной длиной (25 или 50 м) свариваются рельсовые плети длиной 200 м,

которые затем перевозятся на специальных платформах непосредственно на полигон работ. Здесь на обочине пути производится сварка плетей длиной 200 м до установленной длины. После укладки новых плетей в путь их соединяют со смежными секциями пути компенсирующими стыками [110].



Рисунок 1.18 – Укладка плетей с применением машин на гусеничном ходу





а) процесс раскладки шпал; б) процесс укладки рельсовых плетей

Рисунок 1.19 – Укладка бесстыкового пути с применением машин на комбинированном ходу



Рисунок 1.20 – Специальный механизм для укладки рельсовых плетей

Сводная ведомость эффективности технологий укладки рельсовых плетей бесстыкового пути, применяемых на железных дорогах мира, представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сводная ведомость эффективности технологий по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути

| № | Технологии            | Производительность, м/ч | Количество монтеров пути, чел. | Путевые машины и их количество               | Рельсовые плети предварительно выгружены      | В процессе замены убираются инвентарные рельсы |
|---|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| 1 | ПМС-71                | 320                     | 44                             | УК-25 – 2 шт.                                | да  | да   |
| 2 | ПМС-75                | 270                     | 80                             | УК-25 – 1 шт.                                | да  | да   |
| 3 | ПМС-40                | 520                     | 43                             | УК-25 – 1 шт.                                | да  | да   |
| 4 | ОПМС-1                | 530                     | 36                             | УК-25 – 1 шт.                                | да  | да   |
| 5 | ВНИИЖТ                | 1000                    | 60                             | Тепловоз – 1 шт.<br>Плетеукладчик – 1 шт.    | укладка с подвижного состава                  | да   |
| 6 | МИИТ                  | 1170                    | 67                             | УК-25 – 1 шт.<br>МПД – 1 шт.                 | да (возможно укладывать с подвижного состава) | нет  |
| 7 | ТТП №3 (АО «УТЙ»)     | 460                     | 64                             | УК-25 – 1 шт.<br>МПД – 1 шт.                 | да  | да   |
| 8 | Поточный способ       | 550                     | 50                             | Путеукладочный комплекс типа SUZ – 1 шт.     | укладка с подвижного состава                  | да   |
| 9 | По элементная укладка | 500-700                 | –                              | Специальные машины для укладки элементов ВСП | да / укладка с подвижного состава             | –  |

## 1.5 Выводы по главе 1

На основании анализа научных исследований в области укладки бесстыкового пути могут быть сделаны следующие выводы:

1. Технология замены инвентарных рельсов на плети, предусмотренная в ТТП №3, по производительности и продолжительности «окон», в связи с переходом путевого хозяйства АО «УТЙ» на укладку плетей бесстыкового пути повышенной длины, не удовлетворяет требованиям сегодняшнего дня. Это связано с тем, что в ТТП №3 предусматривается выполнение основных работ вручную. Необходима разработка и внедрение современных прогрессивных инновационных технологий с использованием комплексной механизации путевых работ на перегоне.

2. Проблема механизации работ по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути при строительстве новых железных дорог и при выполнении ремонтов железнодорожного пути актуальна и решается на многих зарубежных железных дорогах.

3. Способы и технологии укладки плетей бесстыкового пути на различных дорогах мира имеют недостатки, связанные со спецификой конструкций верхнего строения железнодорожного пути (конструкция промежуточных рельсовых скреплений) и поэтому напрямую не могут быть перенесены для использования на железных дорогах Узбекистана.

4. Большинство зарубежных технологий механизированной укладки плетей бесстыкового пути имеет невысокую производительность. В условиях подготовки путевого хозяйства АО «УТЙ» к укладке конструкции бесстыкового пути с плетями длиной до блок-участка и перегона необходимы технологии укладки плетей, обеспечивающие максимальную производительность в короткие технологические «окна» в графике движения поездов.

5. Исходя из вышеизложенных пунктов, необходимо:

– исследовать напряженно-деформированное состояние рельсовых плетей

в процессе укладки с применением мобильных средств техники, оборудованных навесными оснастками;

– изучить передовой зарубежный опыт с последующей разработкой технических решений оборудования, необходимого для реализации методов комплексной механизации путевых работ на бесстыковом пути;

– выполнить исследование для разработки эффективной технологии проведения работ по замене инвентарных рельсов на плети бесстыкового пути.

## **2 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ НАДВИЖКИ**

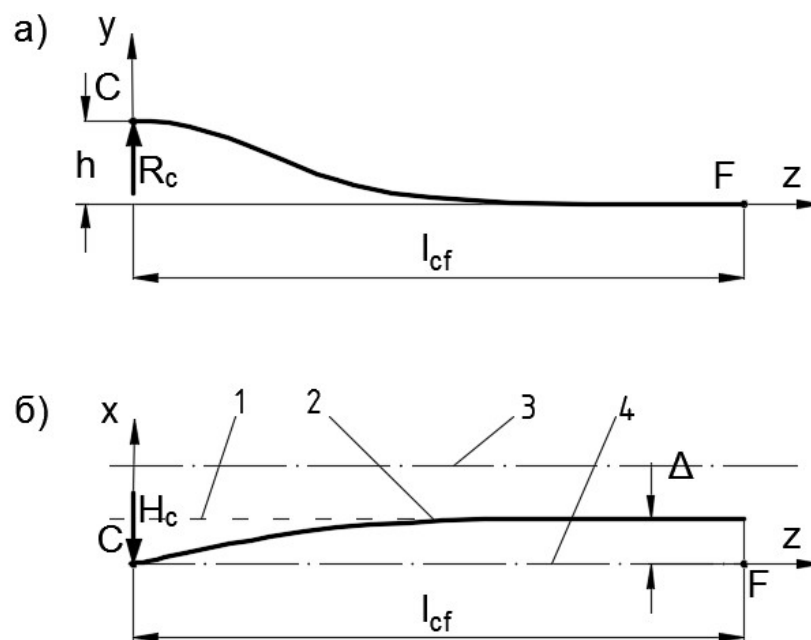
### **2.1 Основные положения**

Навесные оснастки к экскаваторам на комбинированном ходу, описанные в первой главе, ограничивают область применения технологии использования данных средств техники. Конструкция существующих навесных оснасток предусматривает захват рельсов за головку, поэтому невозможно их применить для надвигки рельсовой нити с инвентарными рельсами. Необходимо разработать новое техническое решение конструкции навесных оснасток, обеспечивающее применение их для надвигки рельсовой нити с инвентарными рельсами.

Замена инвентарных рельсов на плети бесстыкового пути по предлагаемой технологии производится с применением экскаватора на комбинированном ходу, оборудованного приспособлением для захвата рельсов. Экскаватор осуществляет подъем рельсовой нити с инвентарными рельсами с использованием вспомогательного захвата. Перед началом движения крана подъем рельсовой нити со вспомогательного захвата переводится на основной захват приспособления. Основной захват производится за подошву рельса, чтобы преодолеть стыковую зону рельсовой нити с инвентарными рельсами. Экскаватор начинает двигаться, при движении крана по фронту работ стрелой назад осуществляется плавное перемещение рельсовой нити с инвентарными рельсами поперек пути с подрельсового основания на плечо балластной призмы. Экскаватор, доехав до конца фронта работ, останавливается и с основного захвата приспособления переходит на вспомогательный. Концевая часть рельсовой нити перемещается вспомогательными захватами. После полного перемещения рельсовой нити с инвентарными рельсами на плечо балластной призмы начинается укладка рельсовой плети на место ранее снятых инвентарных рельсов. При этом экскаватор вспомогательным захватом поднимает рельсовую плеть и перемещает ее на

подрельсовое основание, плеть стыкуется с уравнильным рельсом с постановкой накладок. Устанавливаются болты и закручиваются гайки. После этого подъем рельса со вспомогательного захвата приспособления переводится на основной и экскаватор начинает движение. При движении экскаватора вдоль пути осуществляется последовательный сдвиг рельсовой нити в проектное положение со сдвигом плети на всем ее протяжении. Экскаватор, доехав до конца фронта работ, останавливается, подъем рельса переводится с основного захвата на вспомогательный и работа завершается. Во время производства работ наблюдаются три возможные этапы нагружения рельсовой плети.

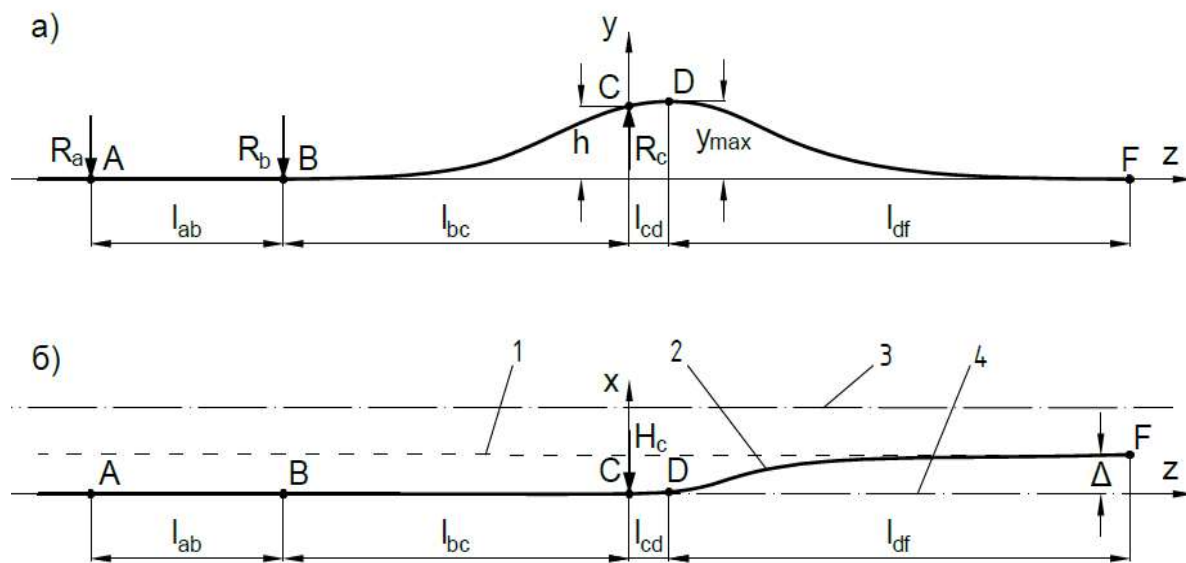
Этап I (этап «зарядки»). На начало рельсовой плети от стрелы экскаватора через приспособление для захвата действуют вертикальная и горизонтальная сила. После действия сил происходит смещение рельсовой плети в вертикальном и горизонтальном направлении. Возможный вариант изгиба рельсовой плети для этапа I представлен на рисунке 2.1.



а – изгиб рельсовой плети в вертикальной плоскости; б – изгиб рельсовой плети в горизонтальной плоскости; 1 – положение рельсовой плети до надвигки; 2 – положение рельсовой плети после надвигки; 3 – ось пути; 4 – ось рельсовой нити

Рисунок 2.1 – Схема для расчета: этап I

Этап II (этап «надвижки»). Наибольшее нагружение рельсовой плети наблюдается во время процесса надвижки. В процессе надвижки на рельсовую плеть действуют: вертикальная и горизонтальная сила от стрелы экскаватора через приспособление для захвата; нагрузка от колесных пар экскаватора в рабочем состоянии. Возможный вариант изгиба рельсовой плети для этапа II представлен на рисунке 2.2.



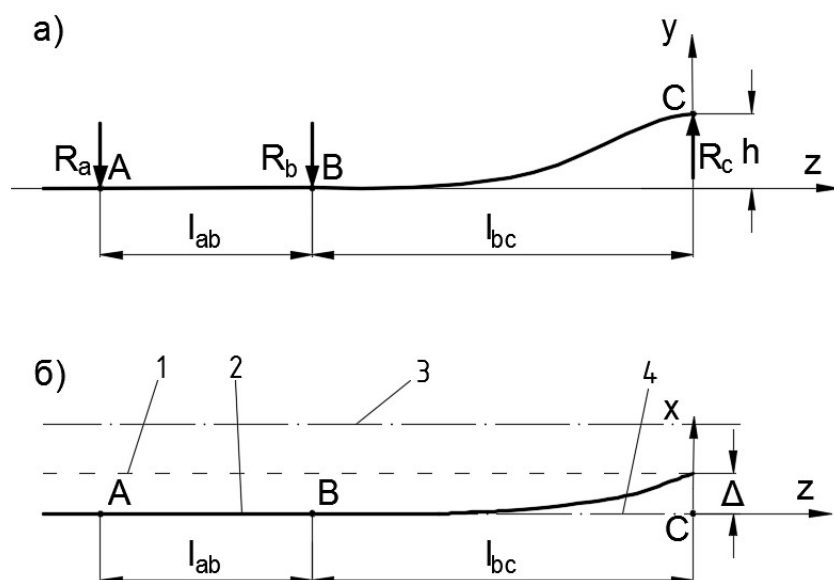
а – изгиб рельсовой плети в вертикальной плоскости; б – изгиб рельсовой плети в горизонтальной плоскости; 1 – положение рельсовой плети до надвижки; 2 – положение рельсовой плети после надвижки; 3 – ось пути; 4 – ось рельсовой нити

Рисунок 2.2 – Схема для расчета: этап II

Этап III (этап «разрядки»). На конец рельсовой плети действуют: вертикальная и горизонтальная сила от стрелы экскаватора через приспособление для захвата; нагрузка от колесных пар экскаватора в рабочем состоянии. Возможный вариант изгиба рельсовой плети для этапа III представлен на рисунке 2.3.

Необходимой задачей является проверка напряженного состояния плетей, определение режимов работы оснастки и разработка технологических схем производства работ.





а – изгиб рельсовой плети в вертикальной плоскости; б – изгиб рельсовой плети в горизонтальной плоскости; 1 – положение рельсовой плети до надвижки; 2 – положение рельсовой плети после надвижки; 3 – ось пути; 4 – ось рельсовой нити

Рисунок 2.3 – Схема для расчета: этап III

## 2.2 Постановка задачи

При замене инвентарных рельсов на рельсовые плети должны исключаться остаточные деформации в рельсовых плетях. Для этого следует создать условия, при которых ни в одном сечении материал рельса не должен быть пластифицирован. Необходимо уточнить какие предельные напряжения должны выдерживать рельсовые плети, чтобы в них возникали только упругие деформации. Расчет изгибающих напряжений и предельных деформаций в рельсовых плетях является технической задачей расчета балки на изгиб. Инженерное решение здесь невозможно, так как положение точки опоры рельсовой плети неизвестно и должно быть найдено через условия контакта, как это применяется для упругой полосы, закрепленной одним концом [111].

Во время производства работ вышеописанной технологией наибольшее нагружение рельсовой плети происходит во время надвижки (этап II). Для оценки

напряженно-деформированного состояния рельсовой плети будем использовать расчетную схему, представленную на рисунке 2.2.

Чтобы создать безопасные условия производства работ по замене рельсовых плетей с применением экскаватора, оборудованного приспособлением для захвата рельсов, необходимо определить нормальные напряжения и силы реакции в точке приложения усилия, возникающие в рельсовой плети при производстве работ.

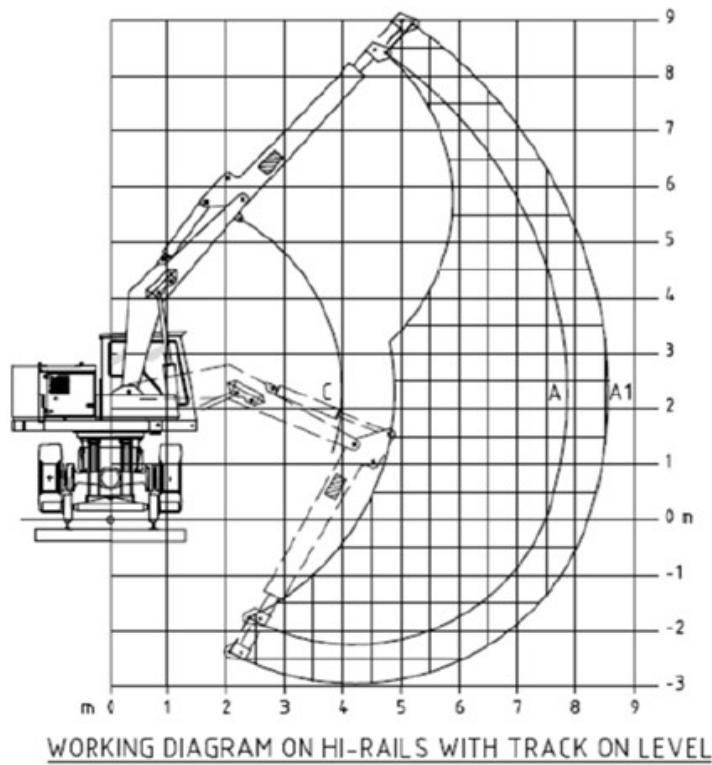
### 2.3 Определение исходных параметров

При замене инвентарных рельсов на рельсовые плети бесстыкового пути в качестве ведущей машины используем экскаватор на комбинированном ходу типа KGT-4RS. В [112] приведены технические характеристики экскаватора. На рисунке 2.4 представлена диаграмма грузоподъемности экскаватора.

Согласно рисунку 2.4, максимальный вылет стрелы экскаватора-погрузчика достигает 8,5 м (кривая A1). При максимальном вылете номинальная грузоподъемность экскаватора составляет 3900 кг в направлении стрелы вдоль железнодорожного пути с учетом навесного оборудования. При вылете 7,8 м (кривая A) номинальная грузоподъемность составляет 4700 кг, а при 3,9 м (кривая C) – 6875 кг.

Согласно данным рисунка 2.4, построен график зависимости грузоподъемности экскаватора от вылета стрелы, рисунок 2.5. На графике проводим вспомогательную линию от точки грузоподъемности при вылете стрелы 3,9 м до точки грузоподъемности при вылете 8,0 м. На вспомогательной линии показываем линию тренда и уравнение к ней, чтобы определить грузоподъемность экскаватора при вылете стрелы 6,5; 7,0; 7,5 и 8,0 м.

С помощью уравнения, показанного на рисунке 2.5, проводится расчет грузоподъемности экскаватора. Результаты расчета представлены в таблице 2.1.



| PERFORMANCES ON HI-RAILS AT OVERTURN LIMIT<br>( EVERY LOAD MUST BE ADAPTED ACCORDING TO THE COUNTRY REGULATIONS ) |      |      |      |
|---|------|------|------|
| CURVE   | C    | A    | A1   |
| DISTANCE mt.  | 3.9  | 7.8  | 8.5  |
| LOAD IN Kg.<br><small>longitudinally ×</small>  | 6875 | 4700 | 3900 |
| LOAD IN Kg.<br><small>at 90° transverse</small>   | 4050 | 1900 | 1550 |

Рисунок 2.4 – Диаграмма грузоподъемности экскаватора KGT-4RS [101]

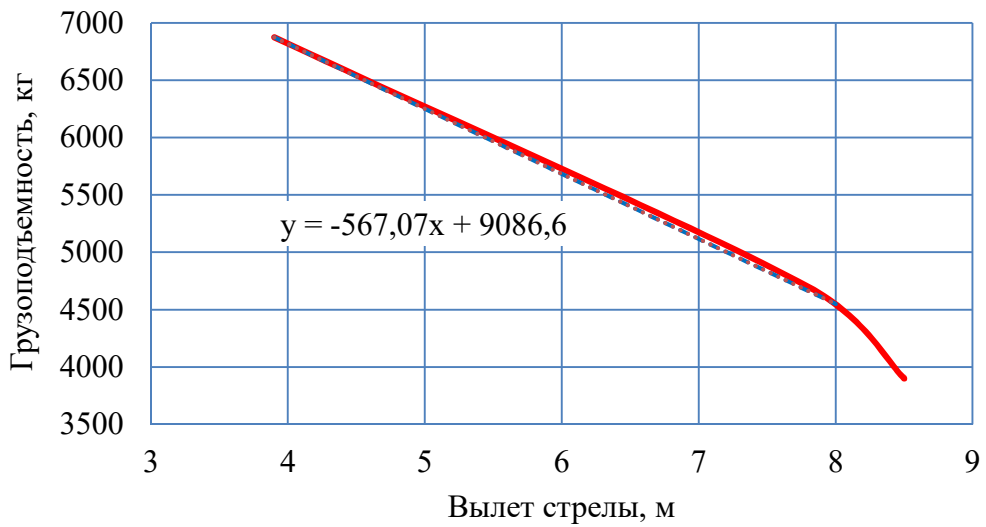


Рисунок 2.5 – График грузоподъемности экскаватора

Таблица 2.1 – Грузоподъемность экскаватора

| № | Вылет стрелы, м | Грузоподъемность, кг |
|---|-----------------|----------------------|
| 1 | 6,5             | 5401                 |
| 2 | 7,0             | 5117                 |
| 3 | 7,5             | 4834                 |
| 4 | 8,0             | 4550                 |

Расстояние ( $l_{ab}$ ) между осями колесных пар экскаватора при движении по железной дороге составляет 3,36 м, рисунок 2.6.

На рисунке 2.7 показаны значения грузоподъемности, соответствующие различным вылетам стрелы. Из рисунка 2.7 определяем расстояния  $l_{bc}$  и расчеты будем производить соответственно для  $l_{bc}$ , равного 5,32; 5,82; 6,32 и 6,82 м.

Согласно п. 1.1 в последние годы на железных дорогах Узбекистана при новом строительстве и капитальных ремонтах в основном используются шпалы типа BF70 (BF70S) со креплениями Pandrol Fastclip. Исходя из этого рассмотрим расположение рельсовой плети на шпалах типа BF70 во время замены, представленное на рисунке 2.8.

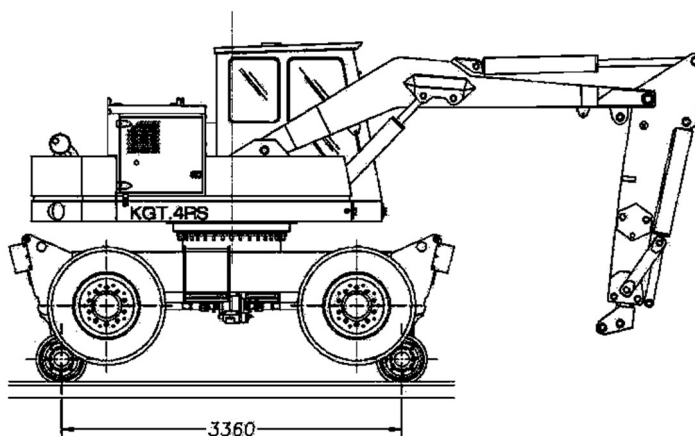


Рисунок 2.6 – Общий вид экскаватора при движении по железной дороге (размеры в мм)

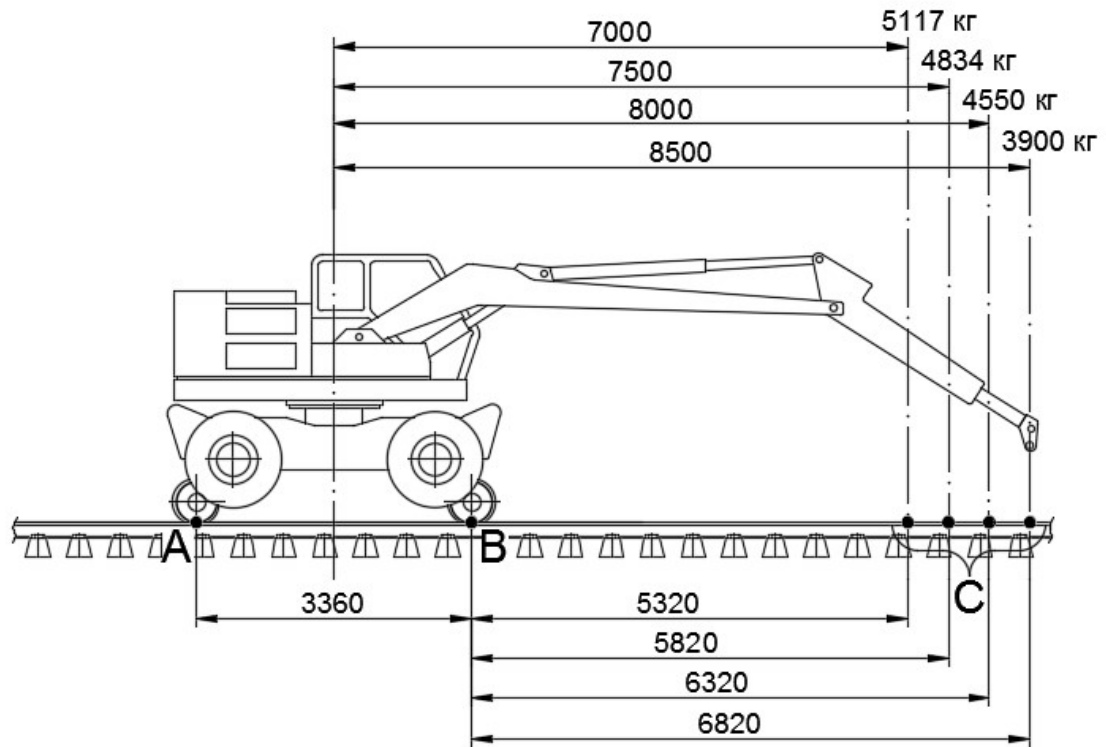
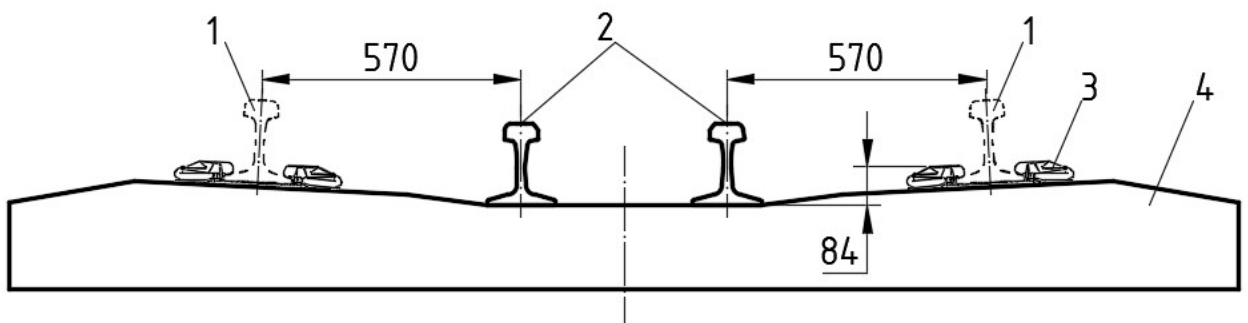


Рисунок 2.7 – Грузоподъемность экскаватора при различных вылетах стрелы (размеры в мм)



1 – рельсовые плети после надвигки; 2 – рельсовые плети до надвигки;  
3 – рельсовое крепление Pandrol Fastclip; 4 – шпала типа BF70;

Рисунок 2.8 – Расположение рельсовой плети на шпале во время замены (размеры в мм)

Из рисунка 2.8 видно, что расстояние от низа подошвы рельсовой плети до верха креплений Pandrol Fastclip до надвигки равно 84 мм, а расстояние между рельсовой плетью до надвигки и после надвигки равно 570 мм. Исходя из этого, в расчетах высоту подъема  $h$  принимаем 0,1; 0,15; 0,2 и 0,25 м, а величину сдвига  $\Delta$  – 0,57 м.

Задачи, связанные с определением напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей при их погрузке и выгрузке, решались В.Я. Шульгой [113], С.П. Першиным [114], В.П. Шраменко [115], В.В. Ершовым [116] и Н.И. Лысенко [75]. Ниже приведены существующие методы расчета напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей бесстыкового пути.

## **2.4 Существующие методы расчета напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей**

Согласно п. 2.1 рельсовая плеть (балка) во время замены лежит на шпалах и при действии экскаватора нагружается, кроме того на балку действует равномерно распределенная нагрузка – собственный вес рельса.

Если балка опирается на ряд близко расположенных упругих опор, то считается, что балка лежит на сплошном упругом основании [117]. Теория расчета балок на упругом основании хорошо разработана в трудах советских и зарубежных авторов [117 – 121].

Для исследования балки, лежащей на упругом основании, обеспечивая достаточную для практических расчетов точность, рассматривается дифференциальное уравнение упругой линии в виде [117]:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = -\frac{q}{EJ}, \quad (2.1)$$

где  $EJ$  – жесткость балки в вертикальной плоскости.

**Решение уравнения изгиба балки на упругом основании с применением метода начальных параметров в матричной форме.** Решение дифференциального уравнения балки на упругом основании с помощью функций Крылова имеет следующий вид [117]:

$$y(x) = y(0)K_1(x) + y'(0)K_2(x) + y''(0)K_3(x) + y'''(0)K_4(x) + K^*(x), \quad (2.2)$$

где

$$\begin{cases} K_1(x) = ch\beta x \cos \beta x, \\ K_2(x) = \frac{1}{2\beta} (ch\beta x \sin \beta x + sh\beta x \cos \beta x), \\ K_3(x) = \frac{1}{2\beta^2} sh\beta x \sin \beta x, \\ K_4(x) = \frac{1}{2\beta^4} (ch\beta x \sin \beta x - ch\beta x \cos \beta x). \end{cases} \quad (2.3)$$

так называемые функции Крылова.

Представим решение (2.2) для прогиба и его производных в матричной форме:

$$\{y(x)\}^T = [K(x)]\{y(0)\} + \{K^*(x)\}, \quad (2.4)$$

где  $\{y(x)\}^T = \{y(x), y'(x), y''(x), y'''(x)\}$  - вектор состояния;

$\{y(0)\}$  - вектор начальных параметров, в каждом конкретном случае начальные параметры можно определить из концевых условий балки;

$\{K^*(x)\}$  - вектор частного решения.

Нормальная фундаментальная матрица имеет следующую структуру:

$$[K(x)] = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ -4\beta^4 K_4 & K_1 & K_2 & K_3 \\ -4\beta^4 K_3 & -4\beta^4 K_4 & K_1 & K_2 \\ -4\beta^4 K_2 & -4\beta^4 K_3 & -4\beta^4 K_4 & K_1 \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

где  $K_i = K_i(x)$  - функция Крылова.

Матричная форма (2.4) удобна для конкретных расчетов, в которых требуется определить не только значение прогибов, но и производных прогибов [118].

Решение (2.4) справедливо, разумеется, для балки на упругом основании произвольной длины, как общее решение уравнения (2.1). Но для длинных балок преимущества функций Крылова теряются, так как с ростом  $\beta z$  функции возрастают и происходит потеря точности (результат оказывается зависящим от малых разностей больших чисел) [118].

**Решение уравнения изгиба балки на упругом основании с применением метода конечных разностей.** В качестве исходного уравнения можно использовать любую из следующих дифференциальных зависимостей при изгибе балок [118]:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EJ}; \quad (2.6a)$$

$$\frac{d^3 y}{dx^3} = -\frac{Q}{EJ}; \quad (2.6б)$$

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = -\frac{q}{EJ}; \quad (2.6в)$$

$$\frac{dQ}{dx} = q; \quad (2.6г)$$

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = q. \quad (2.6д)$$

Каждое из приведенных уравнений может быть сведено к системе конечно-разностных уравнений. Для этого длина балки  $L$  разобьется на  $n$  равных частей длиной  $a$ .

Заменяя производные какой-либо искомой функции  $f$  симметричными конечно-разностными отношениями, получим известные формулы [118]:

$$f'_i = \frac{df_i}{dx} = \frac{1}{2a}(-f_{i-1} + f_{i+1}); \quad (2.7a)$$

$$f''_i = \frac{d^2 f_i}{dx^2} = \frac{1}{a^2}(f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1}); \quad (2.7б)$$

$$f'''_i = \frac{d^3 f_i}{dx^3} = \frac{1}{2a^3}(-f_{i-2} + 2f_{i-1} - 2f_{i+1} + f_{i+2}); \quad (2.7в)$$

$$f^{IV}_i = \frac{d^4 f_i}{dx^4} = \frac{1}{a^4}(f_{i-2} - 4f_{i-1} + 6f_i - 4f_{i+1} + f_{i+2}). \quad (2.7г)$$

Используя формулы (2.7), дифференциальные уравнения (2.6) приближенно можно заменить линейными алгебраическими уравнениями:

$$y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1} = -\frac{a^2}{EJ}M_i; \quad (2.8a)$$



$$-y_{i-2} + 2y_{i-1} - 2y_{i+1} + y_{i+2} = -\frac{2a^2}{EJ}Q_i; \quad (2.8б)$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = -\frac{a^4}{EJ}q_i; \quad (2.8в)$$

$$-Q_{i-1} + Q_{i+1} = 2aq_i; \quad (2.8г)$$

$$M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1} = a^2y_iK_i + a^2g_i. \quad (2.8д)$$

В этих уравнениях под нагрузкой  $q$  подразумевается суммарное воздействие на балку внешней распределенной нагрузки  $g$  и реактивных давлений  $p$ .

Таким образом, в качестве неизвестных можно принимать либо прогибы балки, либо поперечные силы, либо изгибающие моменты, либо реактивные давления основания [118].

Посмотрим, например, решение в моментах. Подставляя в уравнение (2.8д) значения  $q_i$ , и учитывая, что  $p_i = y_iK_i$ , получим

$$M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1} = a^2y_iK_i + a^2g_i. \quad (2.9)$$

В это уравнение входят в качестве неизвестных, помимо моментов, также и прогибы, поэтому последние необходимо выразить через моменты.

Из уравнения (2.9) находим

$$y_i = \frac{1}{a^2K_i}(M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1} - a^2g_i).$$

По аналогии можем записать

$$y_{i+1} = \frac{1}{a^2K_{i+1}}(M_i - 2M_{i+1} + M_{i+2} - a^2g_{i+1}),$$

$$y_{i-1} = \frac{1}{a^2K_{i-1}}(M_{i-2} - 2M_{i-1} + M_i - a^2g_{i-1}),$$

Подставляя найденные выражения для прогибов в уравнение (2.8а), получаем основное уравнение рассматриваемой задачи в виде

$$\begin{aligned} & \frac{M_{i-2}}{K_{i-1}} - 2\left(\frac{1}{K_{i-1}} + \frac{1}{K_i}\right)M_{i-1} + \left(\frac{1}{K_{i-1}} + \frac{4}{K_i} + \frac{1}{K_{i+1}} + \frac{a^4}{EJ}\right)M_i - \\ & - 2\left(\frac{1}{K_i} + \frac{1}{K_{i+1}}\right)M_{i+1} + \frac{M_{i+2}}{K_{i+1}} = a^2\left(\frac{g_{i+1}}{K_{i+1}} - \frac{2g_i}{K_i} + \frac{g_{i-1}}{K_{i-1}}\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

$(i = 0, 1, 2, \dots, n)$

Такие уравнение могут быть составлены для любой точки балки, поэтому для определения неизвестных моментов  $M$  можно получить достаточное количество уравнений [118].

При одинаковом числе участков, на которые делится балка при расчете, метод начальных параметров дает значительно более точное решение, чем метод конечных разностей. Однако при весьма большом количестве участков эта разница сокращается, поэтому в таких задачах оба метода становятся почти равноценными по степени точности конечных результатов расчета [118].

В методе начальных параметров, при некоторых сочетаниях характеристик балки и основания, определитель системы уравнений становится близким к нулю. Это значительно снижает точность решения [119].

Выше представленные методы приемлемы для решения задач только при вертикальном изгибе балки, с учетом изгиба балки в горизонтальной плоскости решение задачи ещё усложняется.

Многие аналитические методы решения задач сводятся к интегрированию исходных данных разрешающей системы дифференциальных уравнений, которая составлена с учетом заданных граничных условий и внешних нагрузок, действующих на исследуемую конструкцию. При этом интегрирование дифференциальных уравнений связано со значительными трудностями вычислительного характера. Результат решения задач при использовании данных методов во многом зависит от того, насколько удачно выбраны координаты функции. Для достаточно точного решения задачи необходимо использовать значительное число координатных функций, в связи с чем резко возрастает трудоемкость всех вычислительных операций. Основной недостаток решений, полученных вариационными методами, заключается в том, что координатные

функции выбираются для всей области. Описать достаточно точно такими функциями область с относительно сложными геометрическими, физическими и граничными условиями практически невозможно. Более широкий круг задач строительной механики и теории упругости позволяет решать численные методы, из которых можно выделить метод конечных элементов, который в последнее время получил широкое развитие и применение в вычислительной математике [122].

## 2.5 Теория метода конечных элементов (МКЭ)

В последнее время широкую известность приобрело одно из направлений численных методов – метод конечных элементов. В методе конечных элементов область, занимаемая телом, разбивается на конечные элементы. Чаще всего это треугольники в плоской задаче и тетраэдры в пространственной. Внутри каждого элемента задаются некоторые функции формы, позволяющие определить перемещения внутри элемента по перемещениям в узлах, т. е. в местах стыков конечных. За координатные функции принимаются функции, тождественно равные нулю всюду, кроме одного конечного элемента, внутри которого они совпадают с функциями формы. В качестве неизвестных коэффициентов МКЭ берутся узловые перемещения. После минимизация функционала энергии получается алгебраическая система уравнений [123].

На развитие МКЭ особый вклад внесли многие ученые [123 – 128]. Основные предпосылки МКЭ для трехмерных задач подробно описаны в работах [129 – 130].

В основе МКЭ лежит универсальный подход, заключающийся в представлении геометрии любого деформируемого тела в виде совокупности элементов простейшей формы: треугольной, четырехугольной и др., рисунок 2.9.

Элементы бывают одномерными, плоскими и пространственными, с прямолинейными или криволинейными сторонами. Вдоль каждой из них может

быть два или более узлов. Во всех узлах задаются обобщенные координаты  $\lambda_i$ , называемые узловыми смещениями, совокупность которых для данного элемента запишем в виде матрицы

$$\{\lambda\} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}^T,$$

где  $N$  – общее число узловых смещений элемента;

$T$  – транспонирование матрицы.

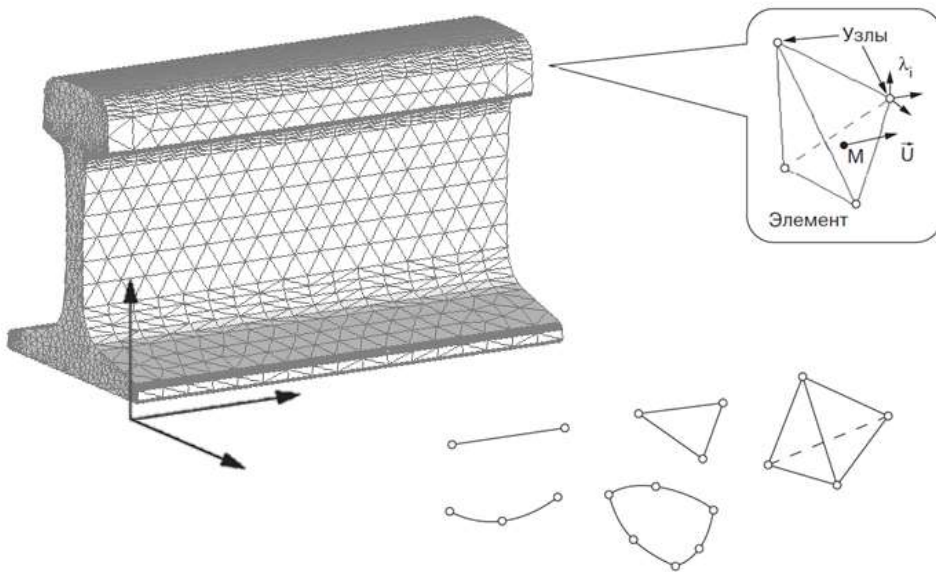


Рисунок 2.9 – Конечно-элементная модель и конечные элементы

Узловые смещения могут представлять собой компоненты вектора перемещения узлов вдоль осей координат, а также углы поворота элемента в узловых точках.

В пределах каждого элемента для компонентов вектора перемещения любой точки  $M$ , рисунок 2.9, задают аппроксимацию через узловые смещения, которые являются неизвестными величинами:

$$u_i(M) = \Phi_{ik}(M)\lambda_k, \quad i = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \dots, N; \quad (2.11)$$

то же в матричной записи  $\{u\} = \{\Phi\}\{\lambda\}$  и векторной форме

$$\vec{u} = \Phi_{ik}\vec{e}_i\lambda_k = \vec{\Phi}_k\lambda_k = \{\vec{\Phi}\}\{\lambda\},$$

где величины  $\Phi_{ik}(M)$  называются функциями формы элемента и выражают связь между узловыми смещениями и вектором перемещения точки  $M$  тела; в качестве функций формы обычно используют полиномы; вне элемента данные функции полагаются равными нулю;  $\vec{\Phi}_k = \Phi_{ik} \vec{e}_i$ ,  $\{\vec{\Phi}\} = \{\vec{\Phi}_1, \vec{\Phi}_2, \dots, \vec{\Phi}_N\}$ ,  $\vec{e}_i$  – единичные орты, рисунок 2.9.

Соотношения (2.11) подставляются в уравнения равновесия тела, из которых и определяются узловые смещения  $\{\lambda\}$  для каждого элемента.

Уравнения равновесия тела при использовании МКЭ удобнее всего получить исходя из принципа возможных перемещений. Пусть  $\vec{u}$  – поле перемещений точек деформируемого тела под действием приложенных к нему внешних нагрузок. Сообщим каждой точке малое смещение, допускаемое наложенными на тело связями (возможное перемещение). В соответствии с указанным принципом приращение работы внутренних сил равно работе внешних сил на возможных перемещениях, то есть

$$\delta U = \delta W. \quad (2.12)$$

Обозначим через  $\vec{q}$  внешнюю нагрузку, распределенную по объему тела  $V$ , а через  $\vec{p}$  – нагрузку, распределенную по его поверхности  $S$ . Тогда

$$\delta W = \int_V \vec{q} \cdot \delta \vec{u} dV + \int_S \vec{p} \cdot \delta \vec{u} dS.$$

Выражение для работы внутренних сил имеет вид

$$\delta U = \int_V \sigma \cdot \delta \varepsilon dV,$$

где  $\sigma = \sigma_{ij} \vec{e}_i \vec{e}_j$  – тензор напряжений;

$\varepsilon = \varepsilon_{ij} \vec{e}_i \vec{e}_j$  – тензор деформаций;

$\vec{e}_i$  – единичные орты,  $i, j = 1, 2, 3$ .

Тогда соотношение (2.12) примет вид

$$\int_V \sigma \cdot \delta \varepsilon dV = \int_V \vec{q} \cdot \delta \vec{u} dV + \int_S \vec{p} \cdot \delta \vec{u} dS. \quad (2.13)$$

В случае малых деформаций тела

$$\varepsilon = \nabla \vec{u}, \quad (2.14)$$

где  $\nabla \vec{u} = \frac{1}{2} \left( \frac{du_i}{dx_j} + \frac{du_j}{dx_i} \right) \vec{e}_i \vec{e}_j$  – тензорный оператор;

$i, j = 1, 2, 3$ ;  $x_1, x_2, x_3$  – координатные оси, направленные вдоль единичных векторов.

Подставляя (2.11) в (2.14), получим выражение для компонентов тензора деформаций через узловые смещения в матричной форме

$$\{\varepsilon\} = \{B\} \{\lambda\}, \quad (2.14')$$

где  $\{B\} = \{\nabla \vec{\Phi}\} = \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{d\Phi_{ik}}{dx_j} + \frac{d\Phi_{jk}}{dx_i} \right) \right\}$  – матрица, связывающая деформации с узловыми смещениями.

Связь между компонентами тензоров напряжений и деформаций для упругого тела выражается законом Гука

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (2.15)$$

где  $D_{ijkl}$  – упругие константы тела,

$$i, j, k, l = 1, 2, 3$$

или в матричной форме  $\{\sigma\} = \{D\} \{\varepsilon\}$ .

Подставив сюда выражение (2.14'), найдем зависимость тензора напряжений от узловых смещений:

$$\{\sigma\} = \{D\} \{B\} \{\lambda\}. \quad (2.15')$$

Подставляя (2.14 – 2.15) в (2.13), получим уравнение равновесия упругого тела, содержащее перемещения его точек:

$$\int_V D \nabla \vec{u} \cdot \delta(\nabla \vec{u}) dV = \int_V \vec{q} \cdot \delta \vec{u} dV + \int_S \vec{p} \cdot \delta \vec{u} dS. \quad (2.16)$$

Применим теперь соотношение (2.16) к конечному элементу с некоторым объемом  $V_e$ , ограниченным поверхностью  $S_e$ . Замечая, что по (2.11)  $\delta \vec{u} = \vec{\Phi}_i \cdot \delta \lambda_i$  и подставляя (2.11) в уравнение (2.16), найдем

$$\delta \lambda_i \left\{ \int_{V_e} \nabla \vec{\Phi}_i \cdot D \nabla \vec{\Phi}_j \cdot \lambda_j dV - \int_{V_e} \vec{q} \cdot \vec{\Phi}_i dV - \int_{S_e} \vec{p} \cdot \vec{\Phi}_i dS \right\} = 0, \quad (2.16')$$

где  $i, j = 1, 2, \dots, N$ .

Поскольку  $\delta\lambda_i$  – произвольные, отличные от нуля величины, то для выполнения последнего равенства необходимо, чтобы все выражения в фигурных скобках обращались в ноль. Из этих условий получаем систему линейных алгебраических уравнений, выражающую условия равновесия конечного элемента

$$\{K\}\{\lambda\} = \{f\}, \quad (2.17)$$

где  $K_{ij} = \int_{V_e} \nabla \vec{\Phi}_i \cdot D \nabla \vec{\Phi}_j dV$  – матрица жесткости элемента, которую с помощью соотношений (2.14') и (2.15') можно также записать в виде

$$\{K\} = \{B\}^T \{D\} \{B\};$$

$$f_i = \int_{V_e} \vec{q} \cdot \vec{\Phi}_i dV + \int_{S_e} \vec{p} \cdot \vec{\Phi}_i dS \text{ – вектор узловых сил элемента,}$$

где  $i, j = 1, 2, \dots, N$ .

Совокупность уравнений (2.17) для всех элементов, дополненная уравнениями связей, наложенных на тело (граничные условия), представляет собой систему уравнений равновесия рассматриваемого тела. Она записывается в виде, аналогичном (2.17):

$$\{\bar{K}\}\{\bar{\lambda}\} = \{\bar{f}\}, \quad (2.18)$$

где  $\{\bar{K}\}$  называется глобальной матрицей жесткости тела;  $\{\bar{\lambda}\}$  и  $\{\bar{f}\}$  – векторы узловых перемещений и сил всего тела.

Уравнения типа (2.18) используются для расчета конструкций на прочность при статическом нагружении. Из их решения определяется вектор узловых смещений, далее по соотношениям (2.11) можно найти перемещения точек тела, а по (2.14 – 2.15) или (2.14' – 2.15') – деформации и напряжения.

Из (2.17) нетрудно получить уравнения движения элемента. Вводя по принципу д'Аламбера объемные силы инерции в интеграл для узловых сил в (2.17)

$$\vec{q}^{in} = -\rho \frac{d^2 \vec{u}}{dt^2} = -\rho \vec{\Phi}_j \cdot \ddot{\lambda}_j,$$

получаем систему уравнений

$$\{M\}\{\ddot{\lambda}\} + \{K\}\{\lambda\} = \{f\}, \quad (2.19)$$

где  $M_{ij} = \int_{V_e} \rho \vec{\Phi}_i \cdot \vec{\Phi}_j dV$  – матрица масс элемента;

$\rho$  – плотность материала;

$\ddot{\lambda}$  – вторая производная по времени от вектора узловых смещений.

При наличии в системе сил вязкого сопротивления, пропорционального скоростям точек, в (2.19) вводят матрицу коэффициентов демпфирования  $\{B\}$ , после чего уравнение движения приобретает вид

$$\{M\}\{\ddot{\lambda}\} + \{B\}\{\dot{\lambda}\} + \{K\}\{\lambda\} = \{f\}. \quad (2.19')$$

Форму, аналогичную (2.19) или (2.19'), принимает и система уравнений движения для всего тела, используемая для расчета динамики конструкций.

При отсутствии внешних сил система уравнений, подобная (2.19), описывает собственные колебания тела. Отыскивая в этом случае узловые смещения в виде

$$\{\lambda\}e^{i\omega t},$$

где  $\omega$  – частота,

$t$  – время,

приходим к уравнению

$$[-\omega^2 \{\bar{M}\} + \{\bar{K}\}]\{\bar{\lambda}\} = 0. \quad (2.20)$$

Из условия наличия нетривиальных решений системы (2.20) – равенства нулю ее определителя – находят собственные частоты  $\omega_1, \omega_2, \dots$  колебаний и далее из системы (2.20) – соответствующие им собственные вектора узловых смещений  $\{\bar{\lambda}\}_i, i = 1, 2, \dots$ , называемые также собственными формами колебаний конструкции.

При исследовании задач упругой устойчивости элементов конструкций уравнения равновесия составляются с учетом изменения геометрии тела в деформированном состоянии. В этом случае также приходят к задаче на собственные значения для уравнений вида

$$[\{\bar{K}\} - \beta\{\bar{K}_d\}]\{\bar{\lambda}\} = 0, \quad (2.21)$$

где с помощью матрицы геометрической жесткости  $\{\bar{K}_d\}$ , называемой дифференциальной, учитывают работу внешних сил, обусловленную изменением геометрии тела;  $\beta$  – параметр нагрузки.

Приравнивая к нулю определитель системы (2.21):  $\det[\{\bar{K}\} - \beta\{\bar{K}_d\}] = 0$ , находят значения параметра нагрузки  $\beta_1, \beta_2, \dots$ , при которых существуют



нетривиальные решения для узловых смещений  $\{\lambda\}$ , то есть появляются новые формы равновесия тела, отличные от исходной. Такие значения  $\beta$ , называемые критическими, показывают, во сколько раз критическая нагрузка  $F^{kp}$ , при которой происходит потеря устойчивости исходной формы равновесия тела, больше текущей нагрузки  $F$ :

$$F_i^{kp} = \beta_i F, \quad i = 1, 2, \dots \quad (2.21')$$

На сегодняшний день с применением МКЭ решаются более сложные задачи, связанные с устойчивостью и прочностью конструкции железнодорожного пути [131 – 137].

Популярность МКЭ, несомненно, объясняется простотой его физической интерпретации и математической формы. Использование ЭВМ позволяет получать решения многих сложных технических задач. Для практического использования МКЭ требуется не только овладение теорией, но и преодоление значительных трудностей программирования. К настоящему времени уже разработано много эффективных быстродействующих программ, таких как ANSYS, Cosmos/M, Femap with NX Nastran, APM Win Machine и др. [138 – 142]. Среди перечисленных программ более распространённой является программа Femap with NX Nastran [140, 141].

Как ни популярен МКЭ в настоящее время, он, разумеется, не является единственным эффективным численным методом. Главным недостатком этого метода, как и любого вариационного метода, является сложность получения априорных оценок. Проверку надёжности метода можно осуществлять пока лишь апробированием каждой программы на точных решениях [123].

В соответствии с вышеизложенным анализом теории МКЭ, в следующем разделе будет разработана конечно-элементная модель рельсовой плети.

## 2.6 Разработка конечно-элементной модели напряженно-деформированного состояния рельсовой плети

Для моделирования напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей в процессе их надвигки, в диссертационной работе выбран пакет конечно-элементного анализа Femap with NX Nastran версия 2021.1.2.30.

При моделировании рельсовой плети выбран тип конечного элемента Beam с геометрическими характеристиками, соответствующими геометрическим характеристикам рельсов по ГОСТ 34222–2017. Длина модели составила 147,4 м. Одна сторона модели жестко закреплена. Модель была разбита на конечные элементы в виде стержня, длина которого составляла 0,05 м. В поперечном сечении модели рельса указаны точки цифрами 1, 2, 3, 4, для которых в результате расчета будут определены значения нормальных напряжений, рисунок 2.10.

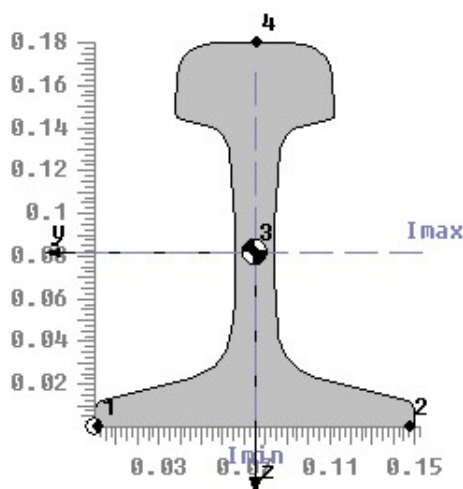
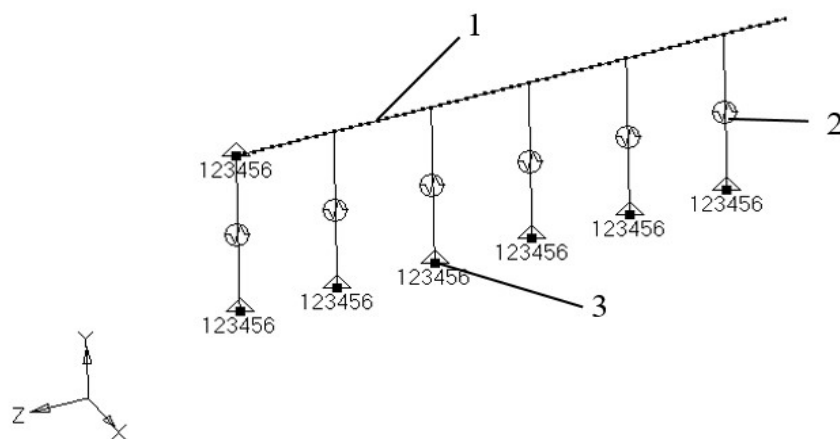


Рисунок 2.10 – Расположение точек в сечении рельса в расчетной модели

В модели контакт между рельсовой плетью и шпалой осуществлялся с помощью элемента Spring/Damper. Расстояния между элементами Spring/Damper составляло 0,55 м, что соответствует эюре шпал 1840 шт./км. Одна сторона элемента жестко закреплена.

На рисунке 2.11 представлен фрагмент конечно-элементной модели рельсовой плети в программном комплексе Femap with NX Nastran.



1 – элемент типа Beam, моделирующий рельс; 2 – элемент типа Spring/Damper, моделирующий контакт между рельсом и шпалой; 3 – закрепление степеней свободы

Рисунок 2.11 – Фрагмент конечно-элементной модели рельсовой плети

Нагрузки передавались к узлам модели в виде сил и виде заданного перемещения.

В расчетах принимались следующие допущения:

1. Часть плети, находившаяся в рабочем положении, и часть плети, находившаяся в середине колеи, лежат на одной горизонтальной плоскости;
2. Кручение части рельсовой плети, находившейся в рабочем положении, обусловленное подуклонкой рельса, не учитывалось.

Для расчета принят метод – нелинейный статический анализ (Nonlinear Static).

## 2.7 Верификация разработанной модели

Для апробации модели, а также для достоверности результатов расчета, разработанная модель рельсовой плети была верифицирована в сравнении с данными ранее полученными исследователями [75, 115] при расчете напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей во время выгрузки их с подвижного состава.

В работе [75] напряжения в рельсовых плетях рассчитывались от заданного изменения траектории изгиба в вертикальной плоскости. На рисунках 2.12 – 2.13 представлены траектории изгиба рельсовых плетей при выгрузке их с подвижного состава, для которых определены напряжения в головке рельса. Напряжения определялись для точек *A*, где находился концевой опорный ролик, который установлен в рельсовозном составе. Максимальное значение напряжения составляет по траектории изгиба, представленной на рисунке 2.12 – 354,7 МПа и по траектории изгиба, представленной на рисунке 2.13 – 382,9 МПа [75].

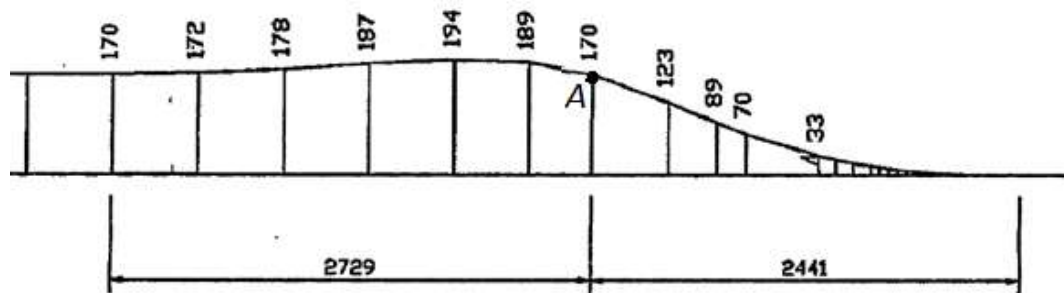


Рисунок 2.12 – Изгиб рельсовой плети во время выгрузки ее с подвижного состава [75]

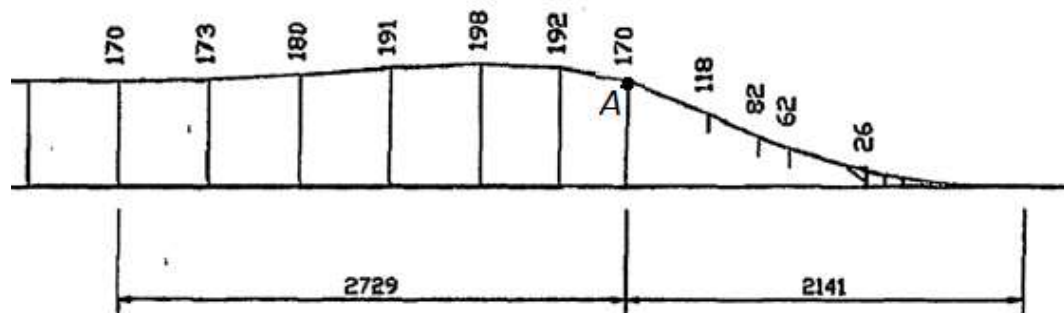


Рисунок 2.13 – Изгиб рельсовой плети во время выгрузки ее с подвижного состава [75]

В работе [115] напряжение на головке рельса во время выгрузки рельсовой плети с подвижного состава определялось по схеме, представленной на рисунке 2.15. Высота опорного ролика была принята 1,4 м. Напряжение определялось для точки *0* и его значение составило 221 МПа [115].

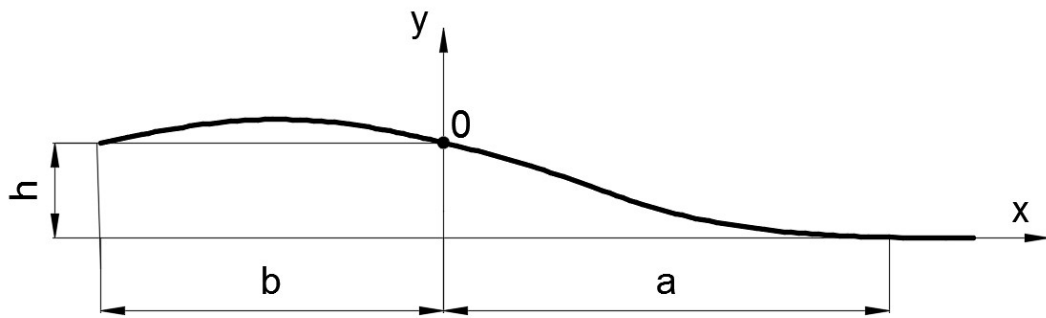


Рисунок 2.14 – Схема для расчета напряженного-деформированного состояния рельсовой плиты по [115]

Для проверки, разработанная модель была нагружена данными, соответствующими представленным на рисунках 2.12 – 2.14. Результаты расчета представлены в графическом виде, рисунки 2.15 – 2.18, сравнительный анализ данных полученный при верификации представлен в таблице 2.2

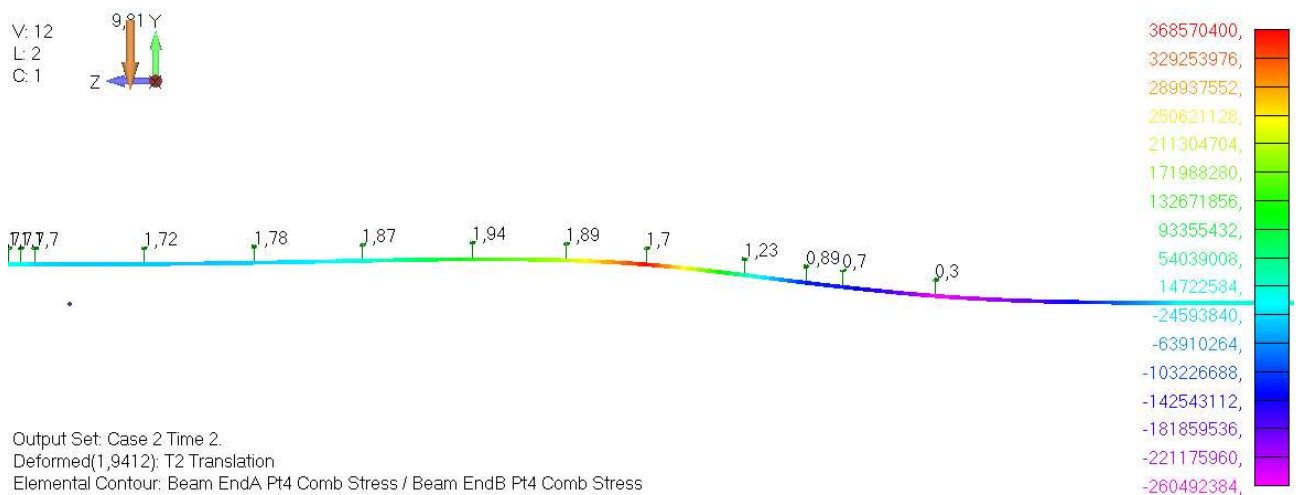


Рисунок 2.15 – Напряженно-деформированное состояние рельсовой плиты согласно траектории на рисунке 2.12

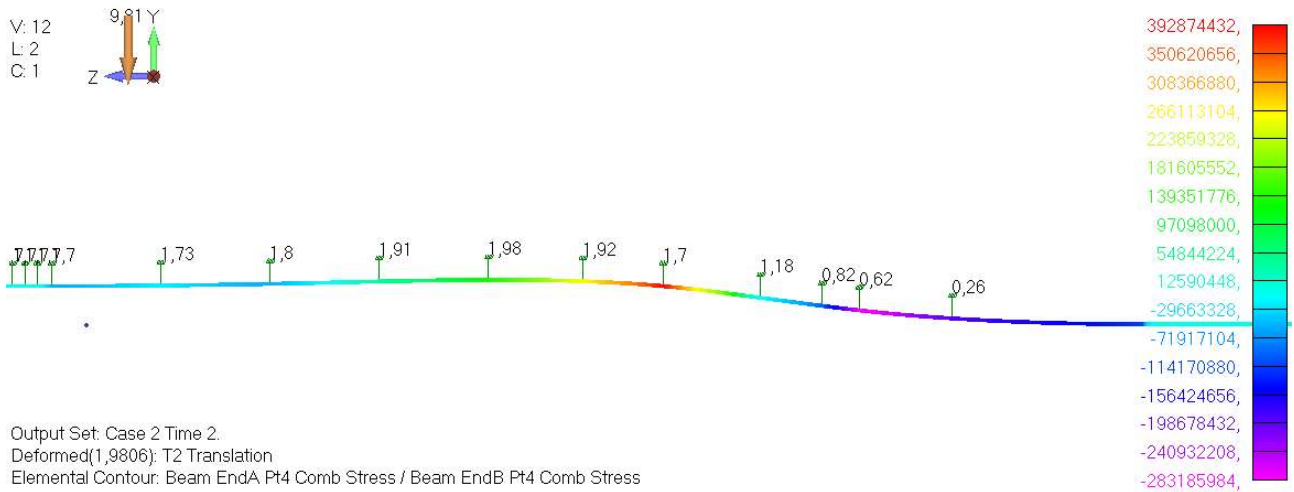


Рисунок 2.16 – Напряженно-деформированное состояния рельсовой плиты согласно траектории на рисунке 2.13

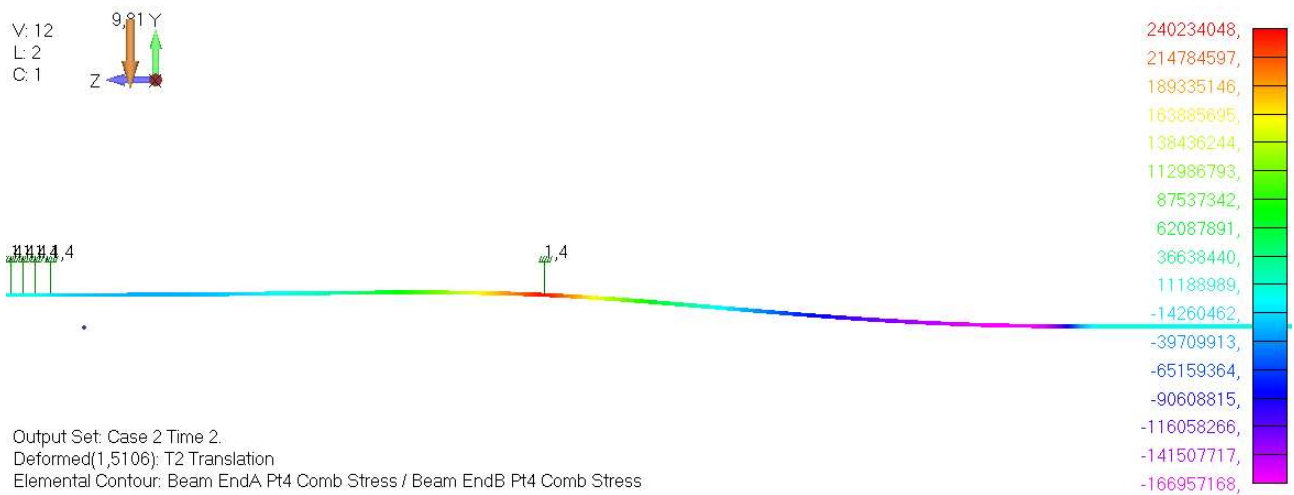


Рисунок 2.17 – Напряженно-деформированное состояния рельсовой плиты согласно траектории на рисунке 2.14

Таблица 2.2 – Сравнение результатов расчета

| № | Этапы нагружения* | Нормальные напряжения, МПа |           | Разница, % |
|---|-------------------|----------------------------|-----------|------------|
|   |                   | ранее полученные           | расчетные |            |
| 1 | 2.12              | 354,7                      | 368,1     | 3,8        |
| 2 | 2.13              | 382,9                      | 392,5     | 2,5        |
| 3 | 2.14              | 221                        | 240       | 8,6        |

Примечание: этапы нагружения соответствуют траекториям изгиба, представленным на рисунках 2.12 – 2.14

Сравнение значений погрешностей, полученных при верификации разработанной модели и приведенных в таблице 2.2, показывает, что значения

нормальных напряжений по [75, 115] и расчетные значения сопоставимы друг с другом. Максимальное отклонение между значениями напряжений не превышает 8,6%. На основании полученных значений относительной погрешности сделан вывод о корректности разработанной модели.

## 2.8 Расчет напряженно-деформированного состояния рельсовой плети

Результаты расчета представлены в графическом и текстовом виде.

На рисунках 2.18 и 2.19 показаны деформации рельсовой плети в горизонтальной и вертикальной плоскостях при подъеме на 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м. Из рисунка 2.19 видно, что при подъеме рельсовой плети на высоту 0,25 м максимальное значение изгиба достигает 0,281 м и это значение находится на расстоянии 2,75 м от точки приложения нагрузки, таблица 2.7.

На рисунках 2.20 – 2.23 показано напряженно-деформированное состояние рельсовой плети при подъеме ее на 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м.

В таблицы 2.3 – 2.6 сведены значения нормальных напряжений, полученные в результате расчета.

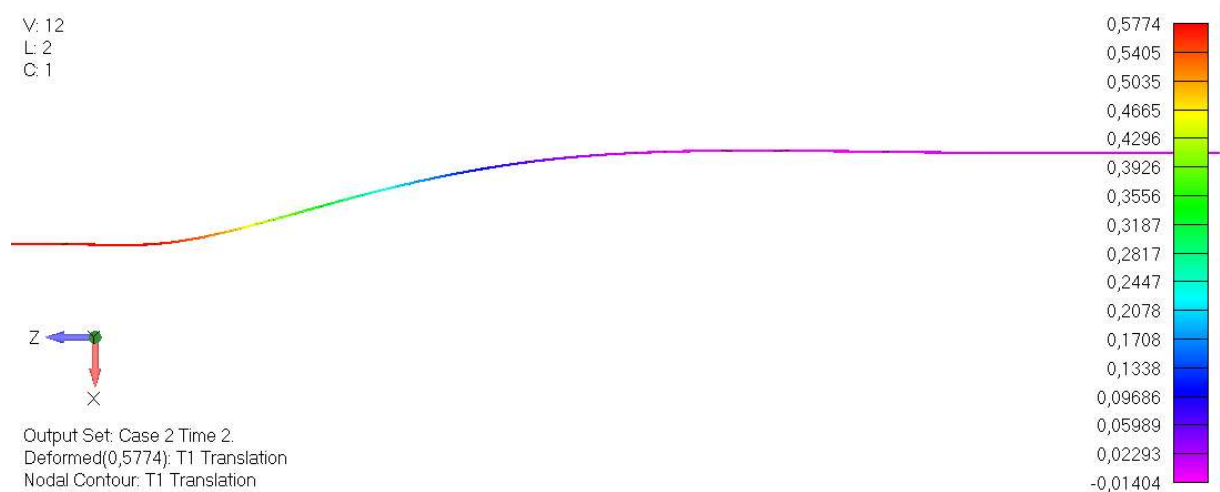


Рисунок 2.18 – Деформация рельсовой плети в горизонтальной плоскости (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)

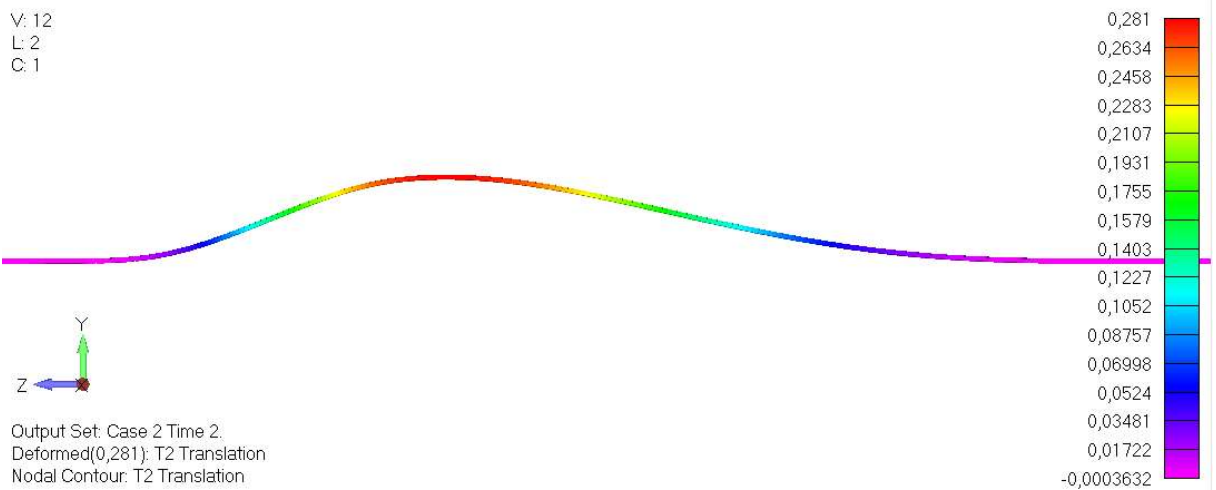


Рисунок 2.19 – Деформация рельсовой плети в вертикальной плоскости (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)

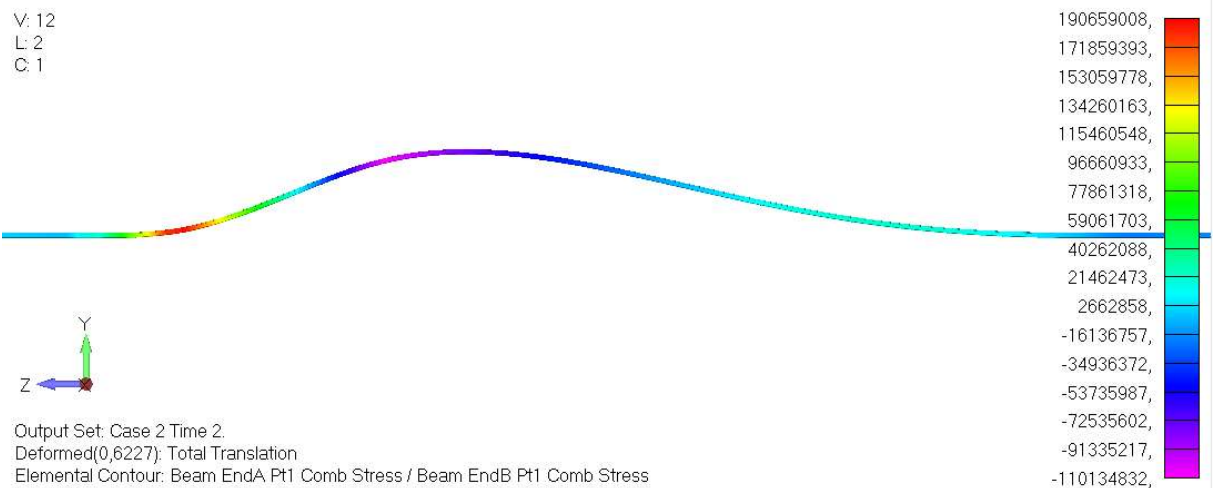


Рисунок 2.20 – Напряженно-деформированное состояние рельсовой плети (значения нормальных напряжений в точке 1 (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)

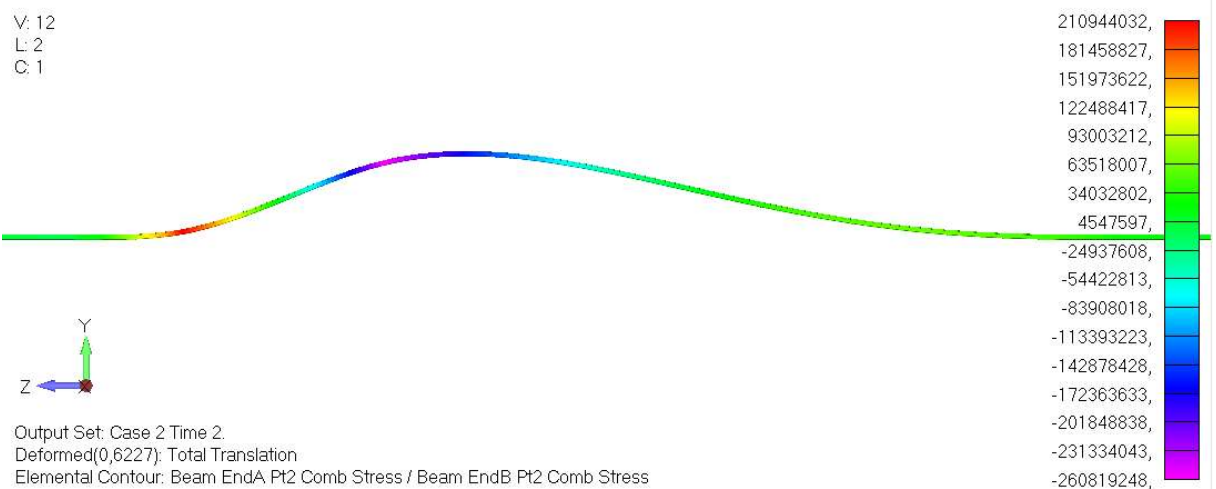


Рисунок 2.21 – Напряженно-деформированное состояние рельсовой плети (значения нормальных напряжений в точке 2 (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)



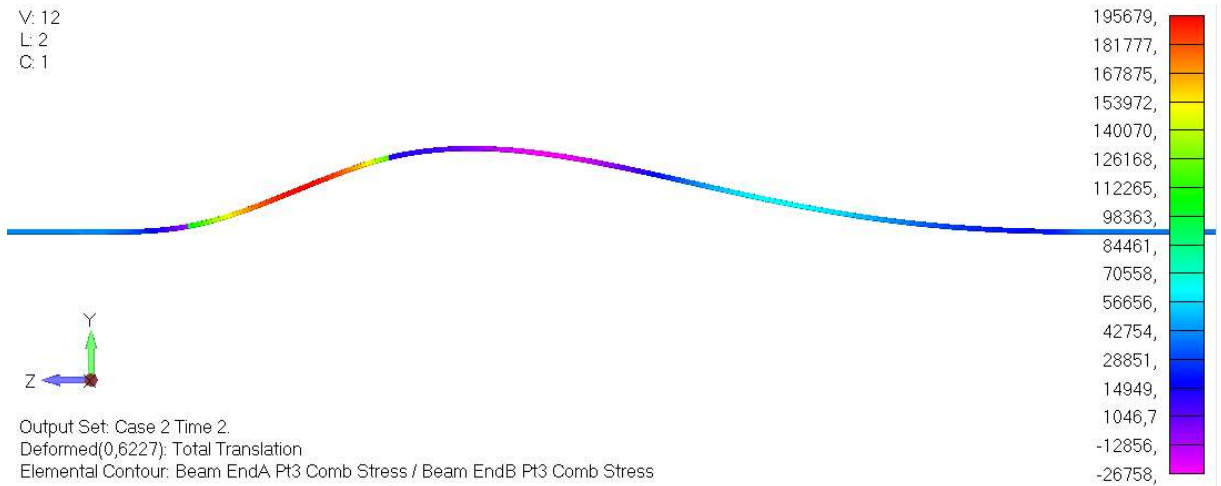


Рисунок 2.22 – Напряженно-деформированное состояние рельсовой плети (значения нормальных напряжений в точке 3 (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)



Рисунок 2.23 – Напряженно-деформированное состояние рельсовой плети (значения нормальных напряжений в точке 4 (высота подъема 0,25 м при вылете стрелы 6,82 м)

Из рисунка 2.20 видно, что максимальное значение нормальных напряжений в кромке подошвы рельсовой плети (точка 1), при высоте подъема 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м, возникает под колесом экскаватора и это значения равно 191 МПа.

Анализ рисунка 2.21 показывает, что максимальное значение нормальных напряжений в кромке подошвы рельсовой плети (точка 2), при высоте подъема 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м, возникает в точке приложения нагрузки и это значение равно 261 МПа.

Максимальное значение нормальных напряжений в шейке рельсовой плети (точка 3) при высоте подъема 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м возникает в зоне вылета стрелы экскаватора-погрузчика и это значение равно 0,2 МПа (в связи с незначительностью значений в точке 3, в дальнейшем они не рассматриваются), рисунок 2.22.

Анализ рисунка 2.23 показывает, что максимальное значение нормальных напряжений на головке рельсовой плети (точка 4), при высоте подъема 0,25 м и при вылете стрелы 6,82 м, возникает под колесом экскаватора и это значение равно 243 МПа.

Таблица 2.3 – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при высоте подъема 0,1 м

| Вылет стрелы, м | Характерные точки по длине рельсовой плети | Нормальные напряжения, МПа |      |        |       |
|-----------------|--|----------------------------|------|--------|-------|
|                 |  | 1                          | 2    | 3      | 4     |
| 5,32            | A  | 15                         | 12   | 0,023  | -16   |
|                 | B  | 126                        | 160  | 0,01   | -173  |
|                 | C  | -55                        | -196 | -0,15  | 151   |
|                 | D  | -33                        | -128 | -0,197 | 97    |
|                 | F  | -5                         | 36   | -0,176 | -19   |
|                 | E  | 3                          | -3   | 0,012  | 0,013 |
| 5,82            | A  | 15                         | 12   | 0,023  | -17   |
|                 | B  | 119                        | 153  | 0,042  | -165  |
|                 | C  | -51                        | -190 | 0,035  | 145   |
|                 | D  | -30                        | -127 | 0,056  | 95    |
|                 | F  | -7                         | 36   | -0,024 | -17   |
|                 | E  | 3                          | -3   | 0,012  | 0,011 |
| 6,32            | A  | 16                         | 13   | 0,023  | -17   |
|                 | B  | 112                        | 143  | 0,035  | -154  |
|                 | C  | -48                        | -183 | 0,028  | 139   |
|                 | D  | -30                        | -127 | 0,048  | 94    |
|                 | F  | -9                         | 35   | 0,048  | -15   |
|                 | E  | 3                          | -3   | 0,012  | 0,01  |
| 6,82            | A  | 16                         | 13   | 0,023  | -18   |
|                 | B  | 104                        | 135  | 0,033  | -145  |
|                 | C  | -45                        | -178 | 0,039  | 134   |
|                 | D  | -29                        | -130 | 0,054  | 95    |
|                 | F  | -6                         | 36   | -0,088 | -18   |
|                 | E  | 3                          | -3   | 0,012  | 0,008 |

Таблица 2.4 – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при высоте подъема 0,15 м

| Вылет стрелы, м | Характерные точки по длине рельсовой плети | Нормальные напряжения, МПа |      |        |       |
|-----------------|--|----------------------------|------|--------|-------|
|                 |  | 1                          | 2    | 3      | 4     |
| 5,32            | A  | 15                         | 13   | 0,029  | -17   |
|                 | B  | 157                        | 187  | 0,008  | -209  |
|                 | C  | -82                        | -228 | -0,16  | 186   |
|                 | D  | -52                        | -140 | -0,086 | 115   |
|                 | F  | -62                        | 38   | -0,057 | -19   |
|                 | E  | 3                          | -3   | 0,015  | 0,01  |
| 5,82            | A  | 14                         | 11   | 0,028  | -15   |
|                 | B  | 153                        | 182  | 0,052  | -203  |
|                 | C  | -79                        | -220 | 0,03   | 180   |
|                 | D  | -51                        | -140 | -0,005 | 115   |
|                 | F  | -9                         | 36   | -0,001 | -16   |
|                 | E  | 3                          | -4   | 0,015  | 0,009 |
| 6,32            | A  | 14                         | 11   | 0,027  | -15   |
|                 | B  | 147                        | 176  | 0,053  | -195  |
|                 | C  | -75                        | -214 | 0,039  | 174   |
|                 | D  | -48                        | -139 | 0,16   | 113   |
|                 | F  | -4                         | 38   | -0,044 | -20   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,015  | 0,007 |
| 6,82            | A  | 15                         | 12   | 0,027  | -16   |
|                 | B  | 142                        | 166  | 0,046  | -186  |
|                 | C  | -73                        | -207 | 0,025  | 168   |
|                 | D  | -43                        | -140 | 0,044  | 113   |
|                 | F  | -9                         | 36   | 0,034  | -16   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,015  | 0,006 |

Таблица 2.5 – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при высоте подъема 0,20 м

| Вылет стрелы,<br>м | Характерные точки по<br>длине рельсовой плети | Нормальные напряжения, МПа |      |        |       |
|--------------------|---|----------------------------|------|--------|-------|
|                    |   | 1                          | 2    | 3      | 4     |
| 5,32               | A   | 32                         | 28   | 0,036  | -37   |
|                    | B   | 176                        | 209  | 0,075  | -233  |
|                    | C   | -105                       | -255 | -0,065 | 218   |
|                    | D   | -70                        | -154 | -0,028 | 135   |
|                    | F   | -3                         | 39   | 0,047  | -21   |
|                    | E   | 4                          | -4   | 0,019  | 0,008 |
| 5,82               | A   | 21                         | 18   | 0,035  | -24   |
|                    | B   | 175                        | 206  | 0,104  | -230  |
|                    | C   | -97                        | -251 | 0,034  | 210   |
|                    | D   | -66                        | -153 | -0,048 | 132   |
|                    | F   | -7                         | 37   | 0,058  | -18   |
|                    | E   | 4                          | -4   | 0,019  | 0,006 |
| 6,32               | A   | 15                         | 12   | 0,034  | -17   |
|                    | B   | 173                        | 199  | 0,057  | -225  |
|                    | C   | -97                        | -242 | -0,043 | 204   |
|                    | D   | -65                        | -151 | 0,03   | 131   |
|                    | F   | -6                         | 38   | 0      | -19   |
|                    | E   | 4                          | -4   | 0,018  | 0,006 |
| 6,82               | A   | 14                         | 11   | 0,033  | -15   |
|                    | B   | 168                        | 191  | 0,069  | -217  |
|                    | C   | -94                        | -234 | 0,022  | 198   |
|                    | D   | -64                        | -151 | 0,108  | 130   |
|                    | F   | -9                         | 35   | 0,01   | -16   |
|                    | E   | 4                          | -4   | 0,018  | 0,005 |

Таблица 2.6 – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при высоте подъема 0,25 м

| Вылет стрелы, м | Характерные точки по длине рельсовой плети | Нормальные напряжения, МПа |      |        |       |
|-----------------|--|----------------------------|------|--------|-------|
|                 |  | 1                          | 2    | 3      | 4     |
| 5,32            | A  | 67                         | 60   | 0,042  | -76   |
|                 | B  | 191                        | 228  | 0,15   | -253  |
|                 | C  | -117                       | -287 | -0,045 | 244   |
|                 | D  | -81                        | -167 | -0,035 | 149   |
|                 | F  | -2                         | 39   | 0,048  | -22   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,023  | 0,01  |
| 5,82            | A  | 38                         | 34   | 0,044  | -44   |
|                 | B  | 192                        | 227  | 0,155  | -253  |
|                 | C  | -110                       | -282 | 0,074  | 236   |
|                 | D  | -76                        | -166 | 0,104  | 147   |
|                 | F  | -7                         | 35   | 0,051  | -16   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,023  | 0,007 |
| 6,32            | A  | 27                         | 24   | 0,042  | -31   |
|                 | B  | 192                        | 218  | 0,111  | -248  |
|                 | C  | -112                       | -270 | -0,095 | 230   |
|                 | D  | -78                        | -164 | 0,123  | 146   |
|                 | F  | -5                         | 36   | -0,145 | -19   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,022  | 0,006 |
| 6,82            | A  | 17                         | 15   | 0,041  | -20   |
|                 | B  | 191                        | 211  | 0,1    | -243  |
|                 | C  | -110                       | -261 | 0,011  | 224   |
|                 | D  | -76                        | -164 | -0,006 | 145   |
|                 | F  | -8                         | 35   | 0,039  | -16   |
|                 | E  | 4                          | -4   | 0,022  | 0,004 |

Анализ таблиц 2.3 – 2.6 показывает, что с увеличением высоты подъема значения нормальных напряжений увеличиваются, а с увеличением вылета стрелы наоборот уменьшаются. Во всех расчетных случаях максимальное значение нормальных напряжений возникает:

- в кромке подошвы рельсовой плети (точка 1) под колесом экскаватора;
- в кромке подошвы рельсовой плети (точка 2) в точке приложения нагрузки;
- на головке рельсовой плети (точка 4) под колесом экскаватора.

По данным таблиц 2.3 – 2.6 построен график, представленный на рисунке 2.26.

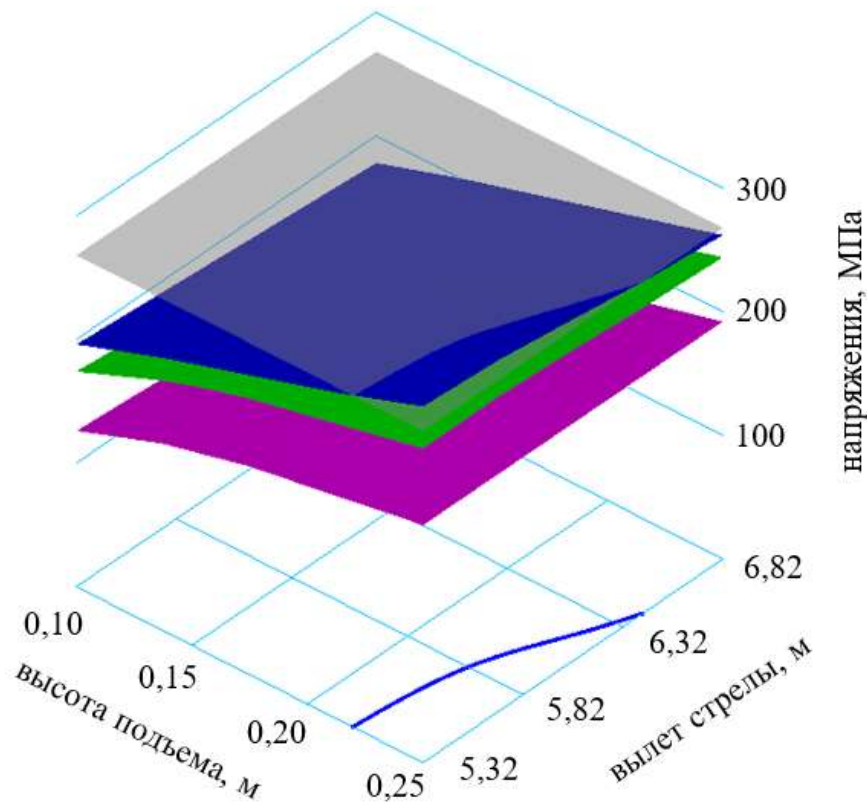


Рисунок 2.24– График нормальных напряжений в рельсовой плети (фиолетовая – точка 1; зеленая – точка 4; синяя – точка 2; прозрачная – предельно допустимая)

На рисунке 2.24 представлены нормальные напряжения в рельсовой плети и предел нормальных напряжений. По [34] предельно допустимые значения нормальных напряжений в рельсовых плетях во время ремонтных работ не должны

превышать 400 МПа. В данной работе предел нормальных напряжений был принят 267 МПа с учетом коэффициента запаса 1,5. Из графика видно, что значения нормальных напряжений в точках 1 и 4 допустимые во всех расчетных конфигурациях, а значения нормальных напряжений в точке 2 при вылете стрелы 5,32, 5,82 и 6,32 м с увеличением высоты подъема более 0,2 м превышают предел допустимого. На основании графика спроецирована линия пересечения двух поверхностей.

В таблицах 2.7 – 2.11 представлены значения параметров соответственно  $y_{max}$ ,  $l_{cd}$ ,  $l_{df}$ ,  $R_c$  и  $H_c$ , полученные в результате расчета.

Таблица 2.7 – Значения параметра  $y_{max}$

| Вылет стрелы, м | Значения параметра $y_{max}$ при высоте подъема, м |       |       |       |
|-----------------|--|-------|-------|-------|
|                 | 0,10   | 0,15  | 0,20  | 0,25  |
| 5,32            | 0,114  | 0,174 | 0,234 | 0,295 |
| 5,82            | 0,112  | 0,171 | 0,230 | 0,290 |
| 6,32            | 0,110  | 0,168 | 0,226 | 0,285 |
| 6,82            | 0,108  | 0,165 | 0,223 | 0,281 |

Таблица 2.8 – Значения параметра  $l_{cd}$

| Вылет стрелы, м | Значения параметра $l_{cd}$ при высоте подъема, м |      |      |      |
|-----------------|---|------|------|------|
|                 | 0,10  | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| 5,32            | 2,30  | 2,75 | 2,95 | 3,20 |
| 5,82            | 2,15  | 2,55 | 2,85 | 3,10 |
| 6,32            | 1,95  | 2,40 | 2,70 | 2,90 |
| 6,82            | 1,70  | 2,20 | 2,50 | 2,75 |

Анализируя значения таблиц 2.7 и 2.8, можно сказать, что максимальное значение изгиба рельсовой плети в вертикальной плоскости ( $y_{max}$ ) при подъеме на высоту  $h$  при увеличении высоты подъема увеличивается, а при увеличении вылета стрелы наоборот уменьшается. Такая же картина наблюдается и с расстояниями ( $l_{cd}$ ) от точки приложения нагрузки до точки, где возникает максимальный изгиб.



При этом значения максимального изгиба на 8-18% превышают величину исходной высоты подъема, а расстояния от точки приложения нагрузки до точки, где возникает максимальный изгиб, находятся в пределах 1,7-3,2 м.

Таблица 2.9 – Значения параметра  $l_{df}$

| Вылет стрелы, м | Значения параметра $l_{df}$ при высоте подъема, м |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
|                 | 0,10  | 0,15  | 0,20  | 0,25  |
| 5,32            | 15,55   | 18,00 | 19,20 | 20,65 |
| 5,82            | 15,70   | 18,15 | 19,55 | 20,95 |
| 6,32            | 15,95   | 17,65 | 19,25 | 20,70 |
| 6,82            | 15,60   | 17,95 | 19,60 | 20,90 |

Своеобразный характер имеют значения расстояний от точки, где возникает максимальный изгиб рельсовой плети, до точек касания ( $l_{df}$ ) (таблица 2.9). С увеличением высоты подъема, расстояния  $l_{df}$  увеличиваются, а при увеличении вылета стрелы изменяются по полиномиальному закону. При этом среднее значение расстояний  $l_{df}$  равно 18,5 м.

Таблица 2.10 – Значения параметра  $R_c$

| Вылет стрелы, м | Силы реакции $R_c$ при высоте подъема, кгс |      |      |      |
|-----------------|--|------|------|------|
|                 | 0,10                                       | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| 5,32            | 3280                                       | 3859 | 4324 | 4711 |
| 5,82            | 2992                                       | 3552 | 3988 | 4362 |
| 6,32            | 2744                                       | 3287 | 3713 | 4061 |
| 6,82            | 2549                                       | 3052 | 3457 | 3798 |

Особый интерес представляют значения параметра  $R_c$  (сила реакции в вертикальной плоскости в точке приложения нагрузки), таблица 2.10. Значения сил реакции в вертикальной плоскости в точке приложения нагрузки при увеличении высоты подъема увеличивается, а при увеличении вылета стрелы наоборот уменьшается. Для оценки грузоподъемности экскаватора, по данным таблицы 2.10 построен график, представленный на рисунке 2.25.

Таблица 2.11 – Значения параметра  $H_c$ 

| Вылет стрелы, м | Силы реакции $H_c$ при высоте подъема, кгс |      |      |      |
|-----------------|--|------|------|------|
|                 | 0,10                                       | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| 5,32            | 503  | 515  | 526  | 496  |
| 5,82            | 473  | 489  | 484  | 466  |
| 6,32            | 448  | 468  | 470  | 465  |
| 6,82            | 426  | 445  | 455  | 450  |

Из таблицы 2.11 видно, что значения сил реакции в горизонтальной плоскости ( $H_c$ ) при увеличении высоты подъема от 0,1 до 0,2 м увеличиваются, с увеличения высоты подъема более 0,2 м уменьшаются, а при увеличении вылета стрелы при всех значениях подъема уменьшаются. При этом значения сил реакции находятся в пределах 426 - 526 кгс.

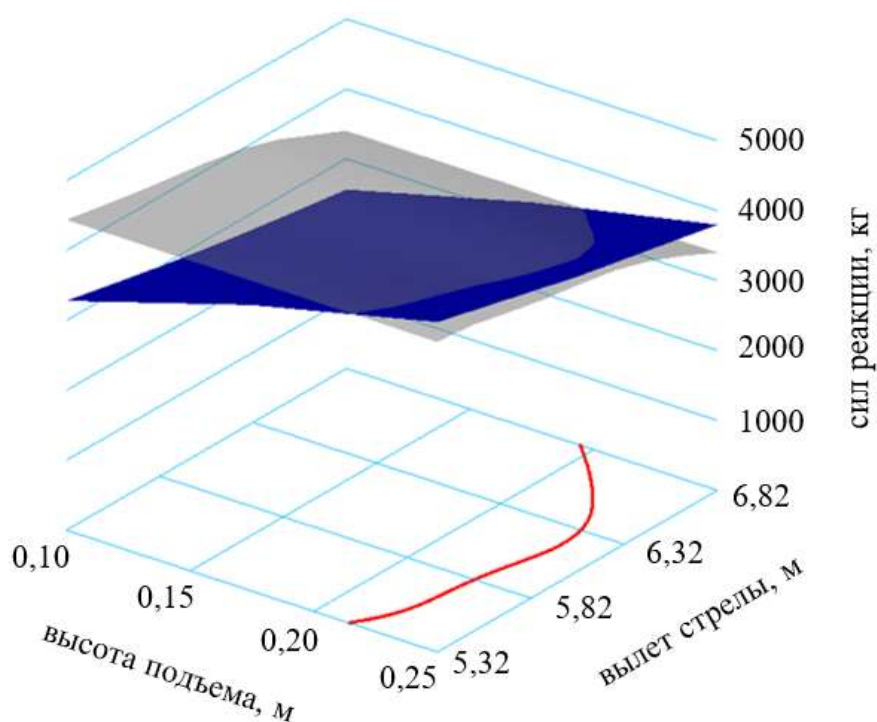


Рисунок 2.25 – График сил реакции в точке приложения нагрузки (синяя – силы реакции, прозрачная – грузоподъемность)

На рисунке 2.25 представлены силы реакции в точке приложения нагрузки и грузоподъемность экскаватора с учетом коэффициента запаса 1,15. Из графика видно, что при вылете стрелы 5,32; 5,82 и 6,32 м и увеличении высоты подъема

более 0,2 м, а также при вылете 6,82 м и при высоте подъема 0,2 м значения сил реакции превышают грузоподъемность экскаватора-погрузчика. На основании графика спроецирована линия пересечения двух поверхностей.

На рисунке 2.26 представлены пределы по напряжениям и по грузоподъемности. График дает возможность определить номинальные значения высоты подъема и вылета стрелы, все возможные конфигурации (высота подъема – вылет стрелы), находящиеся на заштрихованной области, обеспечивают безопасное производство работ по замене рельсовых плетей. Из графика видно, что наибольший запас по грузоподъемности при высоте подъема 0,20 м наблюдается при вылете стрелы 6,20 м. Исходя из этого, номинальные значения высоты подъема и вылета стрелы принимаем соответственно 0,20 и 6,20 м.

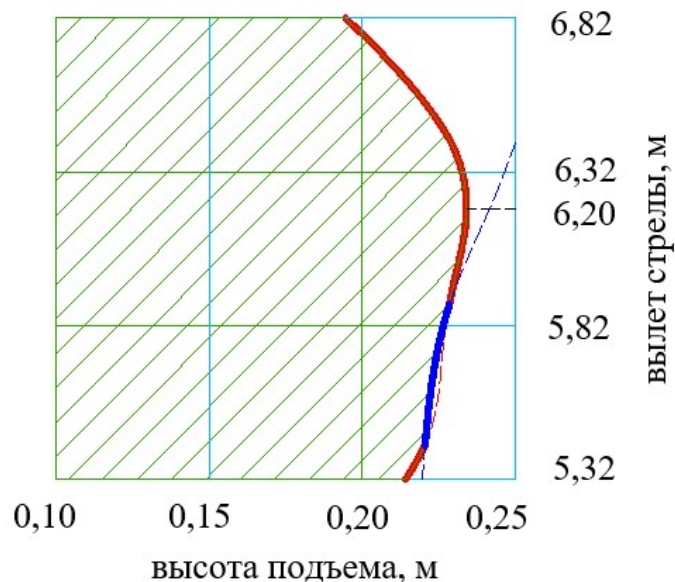


Рисунок 2.26 – График для определения номинальных значений высоты подъема и вылета стрелы (красная – предел по грузоподъемности экскаватора-погрузчика, синяя – предел по напряжениям)

Зная номинальные значения высоты подъема, определены грузоподъемность и масса навесной оснастки. Из графика, представленного на рисунке 2.28, видно, что при высоте подъема 0,2 м наименьший запас по грузоподъемности наблюдается при вылете стрелы 5,32 м. Соответственно при этой конфигурации сила реакции равна 4324 кгс, таблица 2.10. С учетом коэффициента надежности, равного 1,34 [143], для грузоподъемных механизмов грузоподъемность навесной оснастки

должна быть не менее 5794 кг. С учетом требований [144] номинальное значение грузоподъемности навесной оснастки принимаем 6300 кг. Для этой же конфигурации разница между силами реакции и грузоподъемностью экскаватора, таблица 2.1, с учетом коэффициента запаса 1,15 составляет 130 кг, исходя из этого масса навесной оснастки не должна превышать 130 кг.

## 2.9 Выводы по главе 2

1. Разработаны основные решения по замене рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных навесными оснастками. Сформулирована задача для необходимости создания безопасных условий производства работ с применением данной технологии.

2. Выполнен анализ существующих методов по определению напряженно-деформированного состояния рельсовых плетей от заданных нагрузок, описана сущность метода конечных элементов, как универсального инструмента расчета напряженно-деформированного состояния конструкций.

3. В среде конечно-элементного моделирования разработана модель рельсовой плети и выполнен ряд расчетов по напряженно-деформированному состоянию рельсовой плети.

4. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных в среде конечно-элементного моделирования. Выявлена высокая сходимость результатов, что говорит о достаточной адекватности разработанной модели и возможности расширения сферы ее применения.

5. С помощью разработанной модели выполнен расчет напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при одновременном действии сил в двух направлениях. На основании выполненных расчетов были установлены

номинальные значения высоты подъема и вылета стрелы для безопасного производства работ по замене рельсовых плетей.

6. Установлены технические требования к конструкции навесной оснастки. Грузоподъемность навесной оснастки принята 6300 кг, а масса оснастки не должна превышать 130 кг. При разработке конструкции навесной оснастки должны учитываться горизонтальные нагрузки не менее 550 кгс, действующие на навесную оснастку.

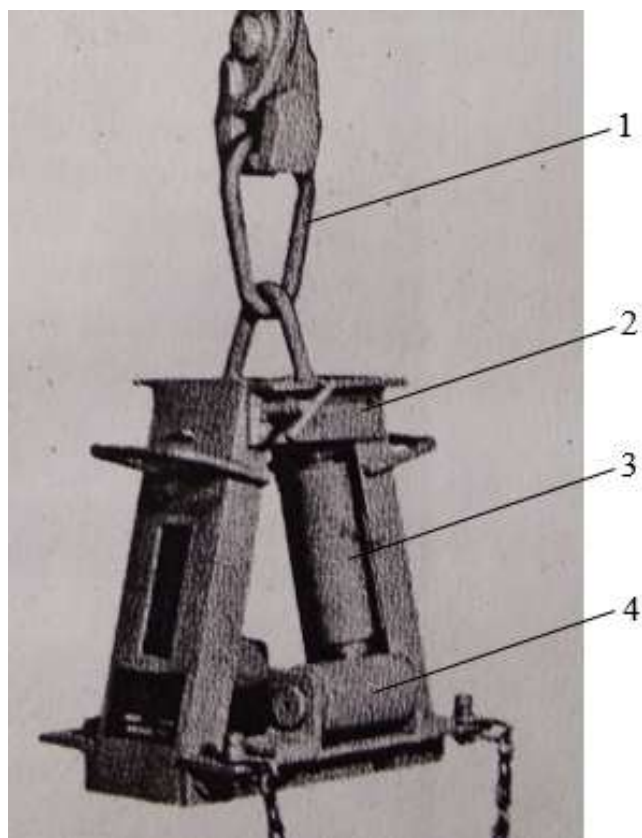
### **3 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ЗАМЕНЕ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

#### **3.1 Анализ существующих конструкций навесных оборудований и рельсовых захватов**

Роликовые рельсовые захваты впервые были применены на железных дорогах США в середине XX-го века при укладке рельсовых плетей бесстыкового пути [145]. Конструкция роликового рельсового захвата, применяемого на железных дорогах США, представляет собой жесткую раму в виде трапеции. На основании и боковых стенках рамы установлены опорные и противокантовочные ролики. Для подвески на крюк грузоподъемного механизма захват оснащен узлом крепления, рисунок 3.1 [145].

Для установки захвата на рельсовую плеть требуется поднять рельсовую плеть на определенную высоту и с торца рельса подвести захват к рельсу, прилегая к опорным роликам захвата подошву рельса. Этот процесс в начале и конце работ требует определенного времени и в итоге влияет на производительность работ.

Со временем конструкции роликовых рельсовых захватов были усовершенствованы. На сегодняшний день основными производителями роликовых рельсовых захватов в мире являются крупные производители железнодорожной техники: французская компания Geismar и немецкая компания Robel. Кроме того, существует конструкция роликового рельсового захвата производства механического завода Яблонского (Белоруссия).



1 – серьга; 2 – рама; 3 – противокантовочные ролики; 4 – опорные ролики

Рисунок 3.1 – Роликовый рельсовый захват (США) [145]

Роликовые рельсовые захваты имеют узел для крепления к стреле (манипулятору) грузоподъемного механизма (железнодорожной дрезины, экскаватора на совмещенном ходу и пр.). Для фиксации рельса у захвата имеются две пары роликов, удерживающих рельс за нижнюю часть головки поднимаемого рельса. Сжатие или разведение роликов в зависимости от исполнения захвата может осуществляться либо вручную, либо с использованием гидроцилиндров, управляемых оператором (механиком) грузоподъемного механизма, рисунки 3.2, 3.3 и 3.4 [146 - 149].

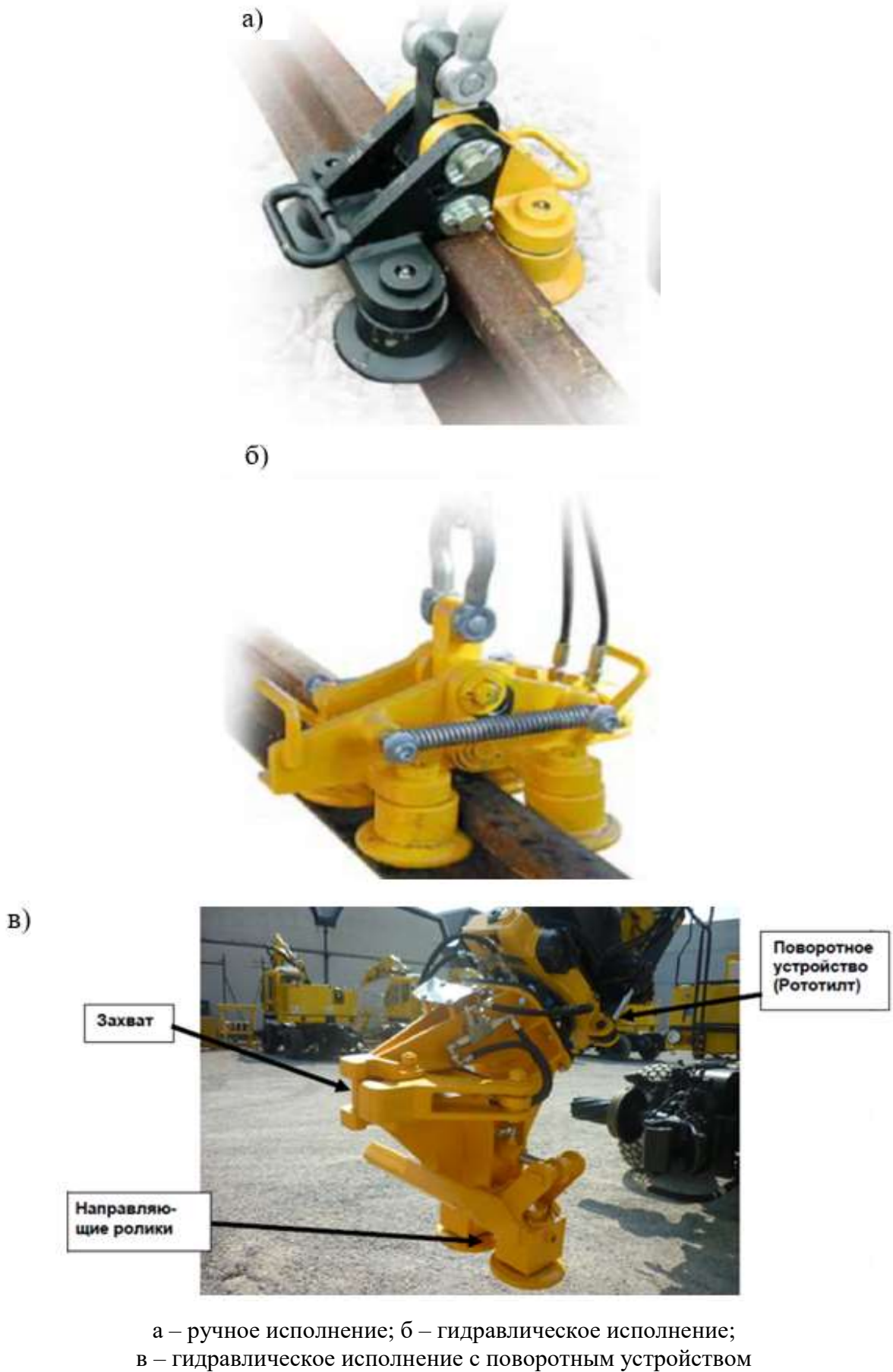


Рисунок 3.2 – Роликовые рельсовые захваты производства компании Geismar [146, 147]





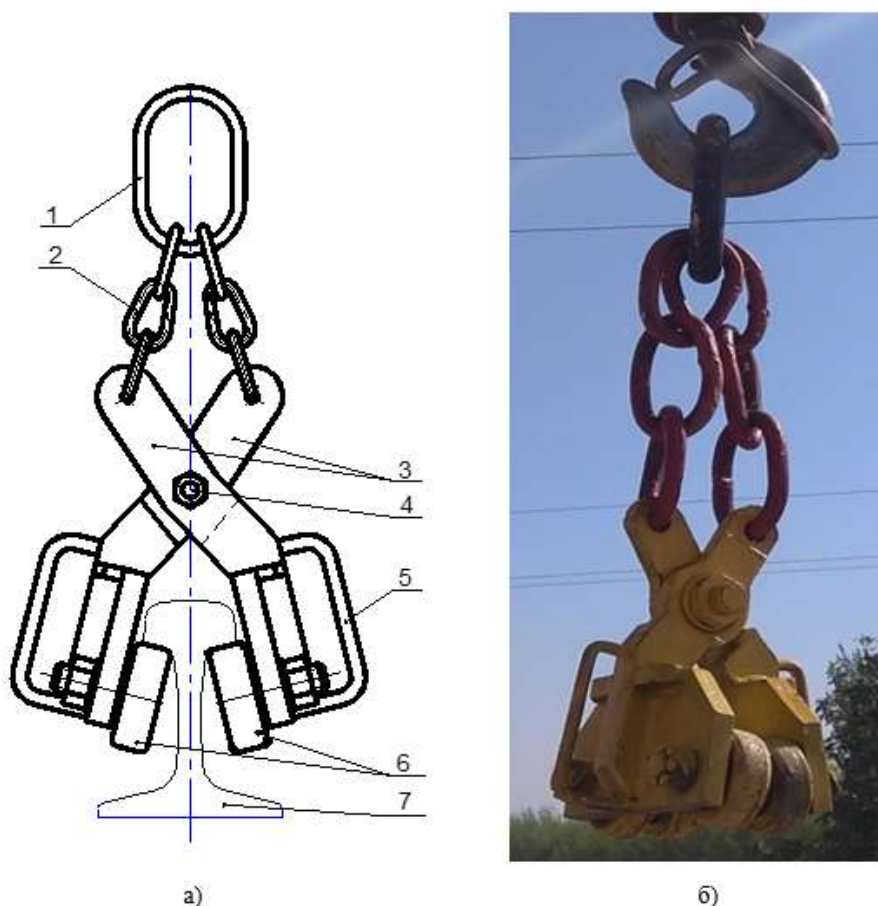
Рисунок 3.3 – Роликовый рельсовый захват производства компании Robel (ручное исполнение) [148]



Рисунок 3.4 – Роликовый рельсовый захват производства механического завода Яблонского (ручное исполнение) [149]

На основе выше представленных конструкций роликовых рельсовых захватов ручного исполнения, специалистами ТашИИТа была разработана новая конструкция роликового рельсового захвата ручного исполнения [90]. Конструкция захвата показана на рисунке 3.5. Захват представляет собой две опоры

3, соединенные между собой горизонтальной осью 4. В опорах установлены две пары роликов 6. Для подвешивания захвата на крюк грузоподъемного механизма имеется кольцо 1, которое соединено с опорами 3 с помощью звена 2. Для перемещения захвата имеются рукояти 5.



а – основной вид; б – опытный образец;  
1 – кольцо на крюк, 2 – звено; 3 – опора; 4 – ось; 5 – рукояти; 6 – ролики; 7 – рельс

Рисунок 3.5 – Роликовый рельсовый захват (конструкция ТашИИТа)

Роликовый рельсовый захват работает следующим образом.

Захват с помощью кольца 1 закрепляется на стреле (манипуляторе) грузоподъемного механизма. Грузоподъемный механизм размещает захват над головкой поднимаемого рельса 7. При этом рельс 7 должен располагаться между роликами 6. Захват опускается до уровня подошвы рельса 7, при поднятии рельсового роликового захвата ролики 6 зацепляются за подошву рельса 7. Грузоподъемный механизм поднимает захват с рельсом. Захват готов к

выполнению своих технологических функций: с помощью грузоподъемного механизма производится сдвигка поднятого рельса поперек пути. При движении грузоподъемного механизма вдоль пути осуществляется последовательный сдвиг рельсовой нити в проектное положение со сдвигом плети на всем ее протяжении.

По роликовому рельсовому захвату разработан пакет конструкторской документации, по которой изготовлены опытные образцы захвата.

Представленные конструкции роликовых рельсовых захватов могут эффективно и высокопроизводительно использоваться при выполнении работ на плетях бесстыкового пути без расположения по их длине стыковых накладок. Недостатком этих конструкций захватов является невозможность непрерывного перемещения роликов вдоль рельсовой плети при наличии на ней стыковых накладок. Для преодоления зоны стыковых накладок рельс с захватом должны быть опущены в крайнее нижнее положение и захват вручную должен быть переставлен вдоль рельса за пределы стыковой накладки. Это снижает производительность комплекса работ и будет приводить к увеличению продолжительности «окон» при производстве путевых работ.

Для устранения этих недостатков предложена конструкция двойного роликового рельсового захвата [150].

### **3.2 Конструкция двойного роликового рельсового захвата**

Предлагаемый двойной роликовый рельсовый захват предназначен для подъема и удержания рельса в поднятом состоянии для последующего перемещения поднятого рельса поперек железнодорожного пути с использованием грузоподъемного механизма, на стреле (манипуляторе) которого размещен рельсовый захват. При продольном перемещении грузоподъемного механизма с рельсом, поднятым захватом, вдоль рельсового пути происходит перемещение

рельса поперек пути в необходимое положение, предусмотренное технологией производства путевых работ.

Задачей предлагаемого технического решения является значительное расширение технологических возможностей захвата при комплексной механизации работ по замене рельсов, в том числе со стыковыми накладками, без демонтажа стыковых накладок с одновременным повышением ресурса основных изнашиваемых элементов захвата.

Указанная задача решается за счет того, что в предлагаемом техническом решении рельсового захвата имеется две системы фиксации рельса:

первая система фиксации предназначена для удержания рельса за головку;

вторая, дополнительная, система фиксации рельса предназначена для удержания рельса за его подошву.

При этом для возможности обеспечения подведения роликов второй системы фиксации рельса под подошву рельса, лежащего на шпалах, необходимо приподнять рельс на достаточную высоту, при которой ролики могут быть беспрепятственно помещены под подошву рельса. Для первичного подъема рельсов применяется механизм захвата и удержания рельса за его головку. Расположенные под подошвой рельса ролики имеют зону опирания значительно больше, чем при захвате за головку рельса, вследствие чего напряжения в зоне контакта ролика и рельса снижаются и обеспечивается повышение сроков службы роликов.

Конструкция предлагаемого двойного роликового рельсового захвата поясняется рисунками 3.6; 3.7; 3.8 и 3.9.

Двойной роликовый рельсовый захват содержит вертлюг 1 для закрепления захвата на стреле (манипуляторе) грузоподъемного механизма. Вертлюг 1 сочленен с жесткой продольной основной осью 2 захвата, на которой шарнирно размещены первая система фиксации поднимаемого рельса 3 и П-образные скобы 4 второй системы захвата рельсов. В нижней части П-образных скоб 4 установлены оси 5 для шарнирного крепления второй системы фиксации рельса 3. Первая система фиксации предназначена для удержания рельса за его головку и имеет два рычага

6 с выступами в нижней их части для размещения выступов под нижней частью головки рельса и гидроцилиндр 10; вторая система фиксации рельса, предназначенная для удержания рельса в поднятом состоянии за счет фиксации рельса за его подошву, имеет два рычага 7, на которых находится по два опорных ролика 8 для удержания рельса в поднятом состоянии за подошву. Кроме того, вторая система фиксации рельсов имеет группу противокантовочных роликов 9 для предотвращения раскантировки рельса (поворота рельса вокруг его продольной оси). Для перевода первой и второй систем фиксации рельса из нерабочего положения в рабочее и обратно на рычагах 6 и 7 установлены гидроцилиндры 10 и 11 (в случае применения грузоподъемных механизмов с пневматической системой рабочих органов гидроцилиндры заменяют на пневмоцилиндры). Для работы гидроцилиндров 10 и 11 (пневмоцилиндров) захват с помощью шлангов 12 и 13 подключается к гидросистеме (пневмосистеме) грузоподъемного механизма.

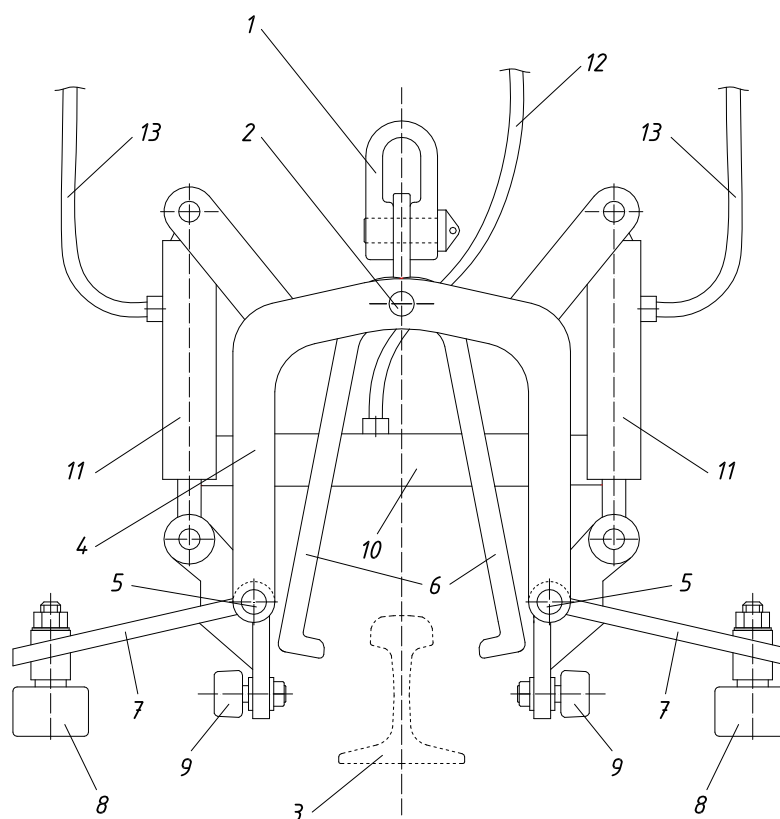


Рисунок 3.6 – Главный вид двойного роликового рельсового захвата в транспортном положении

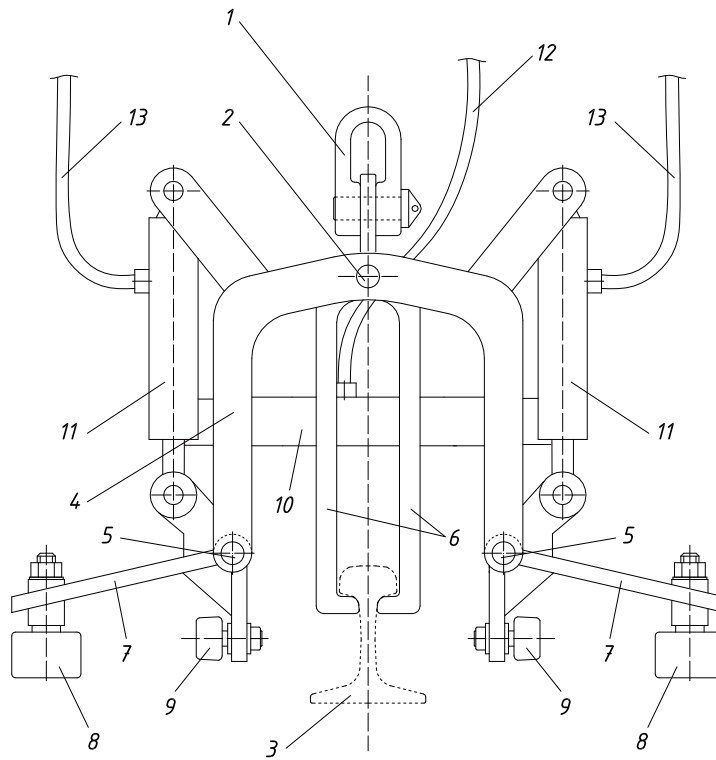


Рисунок 3.7 – Главный вид двойного роликового рельсового захвата при фиксации рельса за головку первой системой фиксации

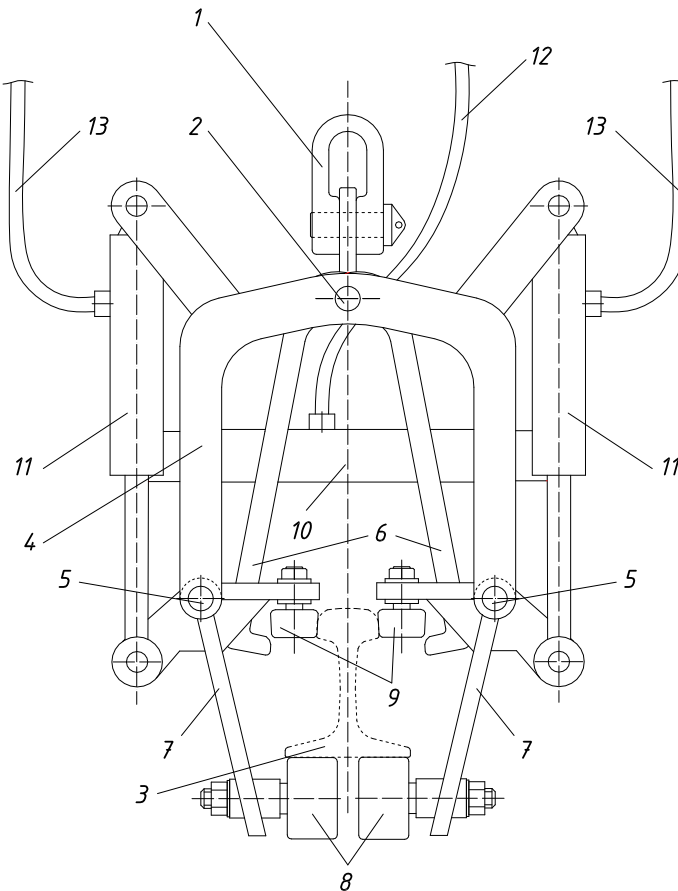


Рисунок 3.8 – Главный вид двойного роликового рельсового захвата при фиксации рельса за подошву второй системой фиксации

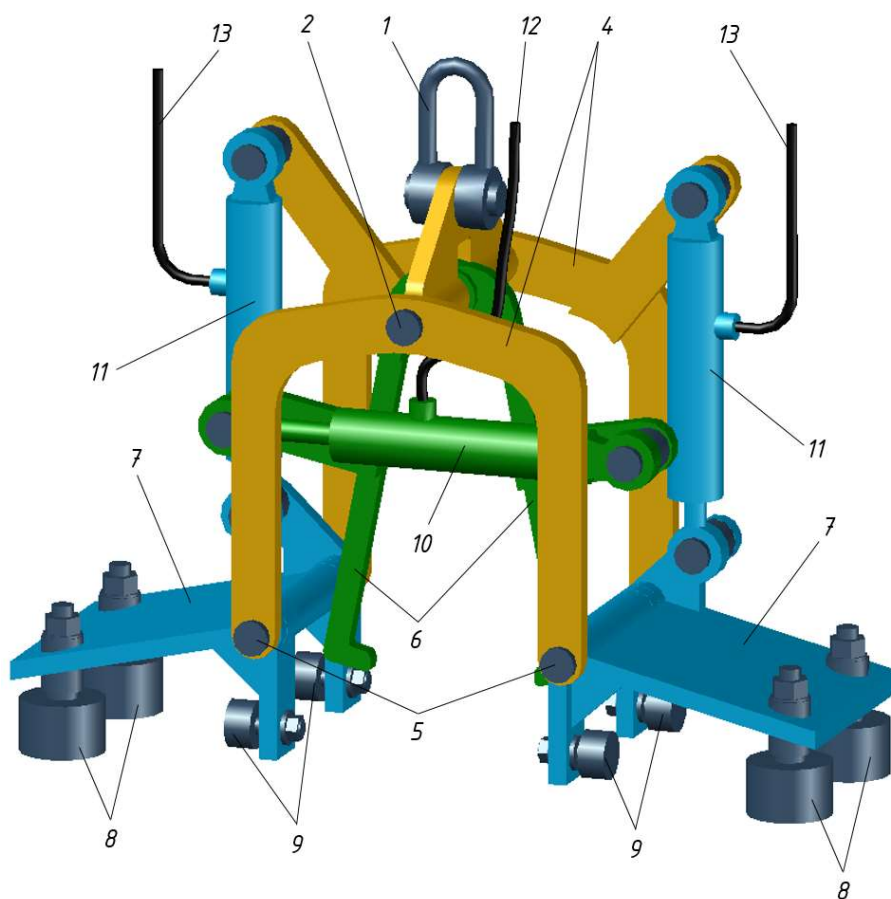


Рисунок 3.9 – 3D вид двойного роликового рельсового захвата

Двойной роликовый рельсовый захват работает следующим образом.

Захват с помощью вертлюга 1 закрепляется на стреле (манипуляторе) грузоподъемного механизма, производится подключение шлангов 12, 13 к гидросистеме грузоподъемного механизма. Грузоподъемный механизм размещает захват в нерабочем положении, рисунок 3.7, над головкой поднимаемого рельса 3. При этом рельс 3 должен располагаться между П-образными скобами 4. Захват опускается до уровня, при котором выступы рычагов 6 находятся ниже головки рельса 3. С помощью гидроцилиндра 10 рычаги 6 фиксируют головку рельса, рисунок 3.8. Грузоподъемный механизм поднимает захват с рельсом на высоту, достаточную для подведения роликов 8 под подошву рельса 3. С помощью гидроцилиндров 11 рычаги 7 подводят ролики 8 под подошву рельса. После подведения роликов 8 под подошву рельса 3 с помощью гидроцилиндра 10 рычаги 6 первой системы фиксации рельса переводятся в нерабочее положение, освобождая головку рельса 3, рисунок 3.9. Рельс удерживается в поднятом

состоянии только второй системой фиксации с опиранием рельса 3 подошвой на ролики 8. Захват готов к выполнению своих технологических функций: с помощью грузоподъемного механизма производится сдвижка поднятого рельса поперек пути. При движении грузоподъемного механизма вдоль пути осуществляется последовательный сдвиг рельсовой нити в проектное положение со сдвигом плети на всем ее протяжении.

### 3.3 Выводы по главе 3

1. Основные тенденции совершенствования технологии укладки плетей бесстыкового пути на зарубежных железных дорогах связаны с использованием различных по конструкции рельсовых захватов, установленных на манипуляторах путевых дрезин или на стрелах экскаваторов (кранов) на совмещенном ходу.

2. Конструкции роликовых рельсовых захватов не являются универсальными и не могут применяться для снятия инвентарных рельсов со стыковыми накладками и для укладки в путь плетей бесстыкового пути.

3. Для устранения недостатков конструкции роликовых рельсовых захватов предложена конструкция двойного роликового захвата. Двойной рельсовый роликовый захват обеспечивает максимальные удобства при производстве путевых работ и не требует применения ручного труда для установки в рабочее положение или для снятия захвата с рельсов.

4. Предложенное техническое решение двойного роликового рельсового захвата состоит из деталей несложных в изготовлении или хорошо освоенных промышленностью. Захват просто монтируется на грузоподъемном механизме и прост в эксплуатации. Применение захвата обеспечит повышение производительности труда при значительном сокращении доли ручного труда при выполнении путевых работ по замене и укладке рельсовых плетей.



## 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО УКЛАДКЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВОЙНОГО РОЛИКОВОГО РЕЛЬСОВОГО ЗАХВАТА

### 4.1 Общие положения

Работы по укладке рельсовых плетей по технологии, описанной в п. 2.1, можно производить с применением одного, двух и четырех экскаваторов. Максимальный эффект достигается при применении четырех экскаваторов. При этом первый и третий экскаваторы, двигаясь стрелой назад, убирают правые и левые рельсовые нити с инвентарными рельсами, а второй и четвертый экскаваторы, двигаясь стрелой вперед, надвигают рельсовые плети в их рабочее положение. Расчетная схема для определения продолжительности работ с применением четырех экскаваторов-погрузчиков представлена на рисунке 4.1.

Работы по замене производятся при вылете стрелы 6,2 м и высоте подъема не менее 0,1 м и не более 0,2 м.

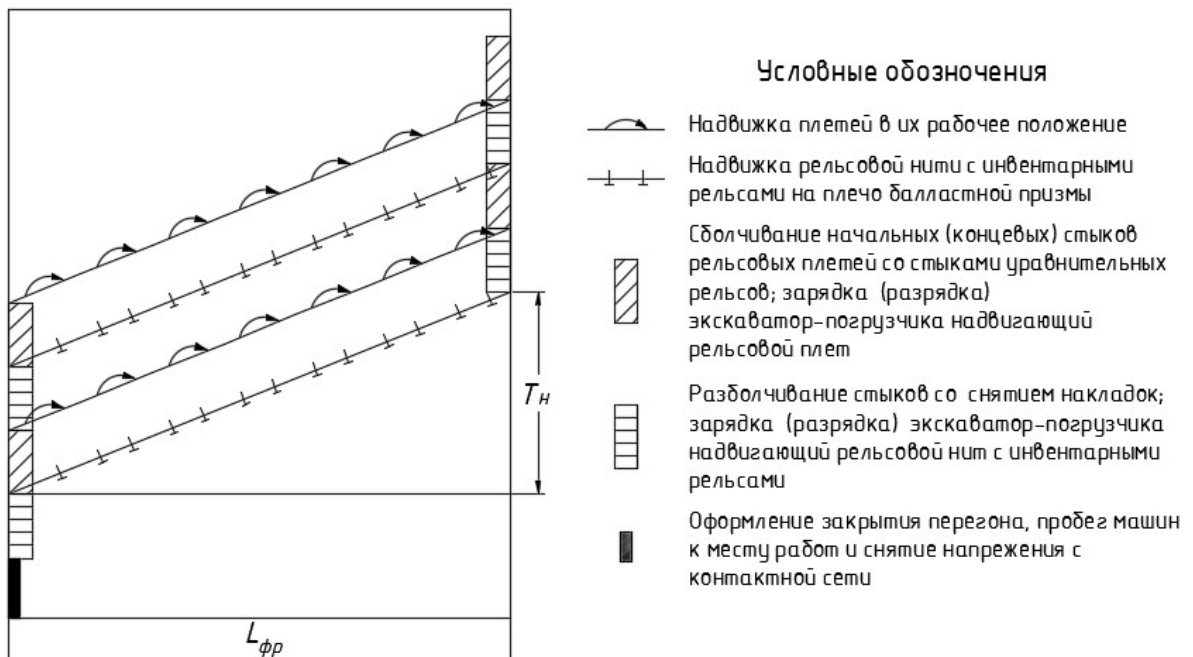


Рисунок 4.1 – Расчетная схема для определения продолжительности работ

Из рисунка 4.1 видно, что продолжительность работ по замене инвентарных рельсов на рельсовые плети зависят от скорости движения, времени зарядки и разрядки экскаватора.

По предлагаемой технологии продолжительность работ по надвижке одной рельсовой плети (или рельсовой нити с инвентарными рельсами)  $T_H$  определяется по следующей формуле:

$$T_H = \frac{L_{фр}}{V} \cdot \alpha, \quad (4.1)$$

где  $L_{фр}$  – протяженность фронта работ;

$V$  – скорость движения экскаватора-погрузчика;

$\alpha$  – коэффициент потери времени, при неизвестных условиях участка производства работ принимаем  $\alpha = 1,15$ .

#### **4.2 Апробация технологии надвижки и определение технологических параметров**

Для определения скорости движения при надвижке рельсовых плетей, времени зарядки (разрядки) навесной оснастки, а также для подтверждения работоспособности опытного образца роликового рельсового захвата, изготовленного в ПДМе Бухара, были проведены испытания на действующих путях АО «УТЙ». Опыты производились на перегоне Назарбек-Далагузар с применением дрезины МПТ-4, рисунки 4.2 и 4.3, и на станции Рахимова с применением экскаватора на комбинированном ходу, рисунок 4.4 [151].



Рисунок 4.2 – Процесс надвигки рельсовой плиты на перегоне Назарбек-Далагузар



Рисунок 4.4 – Процесс надвигки рельсовой плети на станции Рахимова

Результаты испытаний опытного образца роликового рельсового захвата показали:

- ✓ рельсовый роликовый захват с ручным приводом надежно фиксирует рельсовую нить в поднятом состоянии;
- ✓ ролики рельсового захвата обеспечивают свободное перемещение захвата вдоль поднятой рельсовой плети;
- ✓ при производстве работ по надвигке плетей скорость движения машин составила 4 -5 км/ч, время зарядки (разрядки) навесной оснастки 2 - 3 мин.
- ✓ технологических сложностей в использовании роликового рельсового захвата не выявлено;
- ✓ захват прост в применении и не требует специального обучения персонала;
- ✓ рельсовый захват показал высокую эффективность при выполнении работ по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути.

Стоимость изготовления захвата в ПДМ Бухара составил 1,722 млн. сум (12120 руб.).

По состоянию на 20 ноября 2018 года изготовлено 5 комплектов захватов. С их помощью выполнены работы по укладке рельсовых плетей бесстыкового пути на нескольких объектах АО «УТЙ» [90].

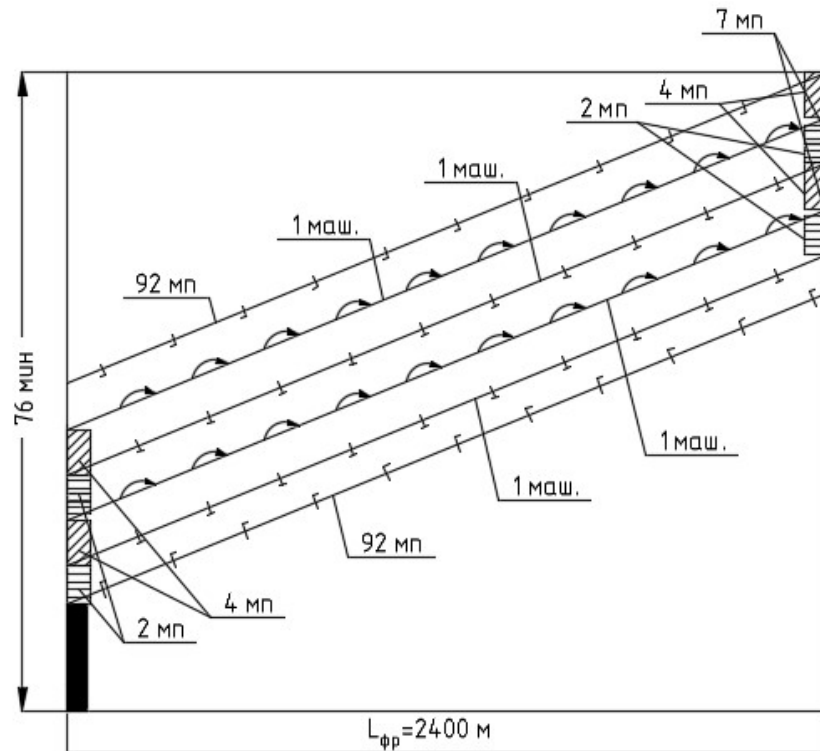
#### **4.3 Технологический процесс производства работ по замене инвентарных рельсов рельсовыми плетями с применением экскаватора-погрузчика, оборудованного двойным роликовым рельсовым захватом**

Параметры технологического процесса:

- Фронт работ – 2400 м;
- Конструкция пути:
  - до замены – звеньевой, шпалы типа ВФ70, крепления Pandrol Fastclip, эпюра шпал 1840 шт./км;
  - после замены – бесстыковой с рельсовыми плетями длиной 2400 м;
- Сварка плетей бесстыкового пути производится в стационарных условиях на рельсосварочном поезде до длины 800 м;
- Рельсовые плети бесстыкового пути к месту укладки перевозятся специальным составом, оборудованным устройствами для перетяжки и выгрузки плетей;
- Сварка рельсовых плетей до длины 2400 м осуществляется сварочными путевыми машинами после их выгрузки.

В день проведения основных работ, до закрытия перегона, 50% клемм крепления Pandrol Fastclip устанавливается из рабочего положения в положение «ожидание». Оставшиеся 50% клемм креплений в положение «ожидание» устанавливается после закрытия перегона. Закрепление клемм креплений после замены осуществляется в такой же последовательности, до открытия перегона устанавливаются 50% клемм креплений, оставшиеся 50% устанавливаются в рабочее положение после открытия перегона [18].

Число монтеров пути, участвующих при производстве путевых работ, и продолжительность работ определяем в соответствии с [18, 152]. График основных работ в «окно» по замене инвентарных рельсов рельсовыми плетями с применением четырех экскаваторов-погрузчиков, оборудованных двойными роликовыми рельсовыми захватами, представлен на рисунке 4.5, а ведомость затрат труда по техническим нормам представлена в таблице 4.1.



#### Условные обозначения









- 
 Установка клемм скрепления PF из положения "ожидание" в рабочее положение (50%)
- 
 Надвижка плетей в их рабочее положение
- 
 Надвижка рельсовой нити с инвентарными рельсами на плечо балластной призмы
- 
 Заготовка и укладка рельсовых рубок в конце участка
- 
 Сболчивание начальных (концевых) стыков рельсовых плетей со стыками уравнительных рельсов; зарядка (разрядка) экскаватор-погрузчика надвигающий рельсовый плет
- 
 Разболчивание стыков со снятием накладок; зарядка (разрядка) экскаватор- погрузчика надвигающий рельсовый плет с инвентарными рельсами
- 
 Установка клемм скрепления PF из рабочего положения в положения "ожидание" (50%)
- 
 Оформление закрытия перегона, пробег машин к месту работ и снятие напряжения с контактной сети

Рисунок 4.5 – График производства работ в «окно»

Таблица 4.1 – Ведомость затрат труда по техническим нормам

| № | Наименование работ   | Измеритель            | Количество | Техническая норма затрат труда на измеритель, чел. мин. | Техническая норма времени работы машин на измеритель, маш. мин. | Затраты труда, чел. мин. |                                   | Число монтеров пути, чел. | Продолжительность работы, мин. | Продолжительность работы машин, мин. |
|---|--|-----------------------|------------|---|---|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
|   |  |                       |            |   |   | на работу                | на работу с учетом потерь времени |                           |                                |                                      |
| 1 | 2  | 3                     | 4          | 5   | 6   | 7                        | 8                                 | 9                         | 10                             | 11                                   |
| 1 | Оформление закрытия перегона, пробег машин к месту работ и снятие напряжения с контактной сети     | мин                   | 14         | -   | -   | -                        | -                                 | -                         | -                              | -                                    |
| 2 | Установка клемм скрепления РП из рабочего положения в положение "ожидание" (50 %)                  | клемма                | 8832       | 0,3   | -   | 2650                     | 3047                              | 74                        | 41                             | -                                    |
| 3 | Разболчивание стыков со снятием накладок правой нити   | болт                  | 4          | 1,13  | -   | 5                        | 5                                 | 2                         | 3                              | -                                    |
| 4 | Зарядка экскаватора №1   | мин                   | 2          | -   | -   | -                        | -                                 | -                         | -                              | -                                    |
| 5 | Надвижка правой рельсовой нити с инвентарными рельсами на плечо балластной призмы экскаватором №1  | пог. м рельсовой нити | 2400       | -   | -   | -                        | -                                 | -                         | -                              | 41                                   |
| 6 | Сболчивание начальных стыков сварных рельсовых плетей со стыками уравнительных рельсов правой нити | стык рельсовой нити   | 1          | 12,7  | -   | 13                       | 15                                | 4                         | 4                              | -                                    |
| 7 | Зарядка экскаватора №2   | мин                   | 2          | -   | -   | -                        | -                                 | -                         | -                              | -                                    |
| 8 | Надвижка рельсовой плети правой нити в ее рабочее положение с экскаватором №2                      | пог. м рельсовой нити | 2400       | -   | -   | -                        | -                                 | -                         | -                              | 41                                   |

Продолжение таблицы 4.1

| 1  | 2  | 3                     | 4    | 5     | 6 | 7    | 8    | 9  | 10 | 11 |
|----|--|-----------------------|------|-------|---|------|------|----|----|----|
| 9  | Разболчивание стыков со снятием накладок левой нити  | болт                  | 4    | 1,13  | - | 5    | 5    | 2  | 3  | -  |
| 10 | Зарядка экскаватора №3   | мин                   | 2    | -     | - | -    | -    | -  | -  | -  |
| 11 | Надвижка левой рельсовой нити с инвентарными рельсами на плечо балластной призмы экскаватором №3 | пог. м рельсовой нити | 2400 | -     | - | -    | -    | -  | -  | 41 |
| 12 | Сболчивание начальных стыков сварных рельсовых плетей со стыками уравнильных рельсов левой нити  | стык рельсовой нити   | 1    | 12,7  | - | 13   | 15   | 4  | 4  | -  |
| 13 | Зарядка экскаватора №4   | мин                   | 3    | -     | - | -    | -    | -  | -  | -  |
| 14 | Надвижка рельсовой плети левой нити в ее рабочее положение с экскаватором №4                     | пог. м рельсовой нити | 2400 | -     | - | -    | -    | -  | -  | 41 |
| 15 | Установка клемм скрепления РР в рабочее положение из положения "ожидание" (50 %)                 | клемма                | 8832 | 0,3   | - | 2650 | 3047 | 74 | 41 | -  |
| 16 | Разболчивание стыков со снятием накладок в конце участка правой нити                             | болт                  | 4    | 1,13  | - | 5    | 5    | 2  | 3  | -  |
| 17 | Разрядка экскаватора №1  | мин                   | 2    | -     | - | -    | -    | -  | -  | -  |
| 18 | Заготовка и укладка рельсовых рубок в конце участка правой нити                                  | рубка                 | 1    | 38,33 | - | 38   | 44   | 7  | 6  | -  |
| 19 | Разрядка экскаватора №2  | мин                   | 2    | -     | - | -    | -    | -  | -  | -  |
| 20 | Сболчивание концевых стыков рельсовой плети со стыками уравнильных рельсов правой нити           | стык рельсовой нити   | 1    | 12,7  | - | 13   | 15   | 4  | 4  | -  |



Продолжение таблицы 4.1

| 1  | 2   | 3                         | 4 | 5     | 6 | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 |
|----|---|---------------------------|---|-------|---|----|----|---|----|----|
| 21 | Разболчивание стыков со снятием накладок в конце участка левой нити                   | болт                      | 4 | 1,13  | - | 5  | 5  | 2 | 3  | -  |
| 22 | Разрядка экскаватора №3   | мин                       | 2 | -     | - | -  | -  | - | -  | -  |
| 23 | Заготовка и укладка рельсовых рубок в конце участка левой нити                        | рубка                     | 1 | 38,33 | - | 38 | 44 | 7 | 6  | -  |
| 24 | Разрядка экскаватора №4   | мин                       | 2 | -     | - | -  | -  | - | -  | -  |
| 25 | Сболчивание концевых стыков рельсовой плети со стыками уравнильных рельсов левой нити | стык<br>рельсовой<br>нити | 1 | 12,7  | - | 13 | 15 | 4 | 4  | -  |

Как мы видим из графика производства работ, продолжительность «окна» равна 76 мин. для фронта работ 2400 м. При этом в работах, связанных с заменой, участвуют 4 машиниста и 8 монтеров пути. Общее число монтеров пути, участвующих в работах в «окно» – 195 чел. Большая часть монтеров пути вовлечены на работы, связанные со снятием и установкой клемм креплений Pandrol Fastclip. Это число можно сократить до минимума внедрением механизированных комплексов по снятию и установке клемм креплений [153].

Важнейшим условием, определяющим надежность и безопасность эксплуатации бесстыкового пути, является обеспечение закрепления плети при оптимальной температуре. Выполнение этого условия особенно важно для путевого хозяйства АО «УТЙ» при решении задачи планового перехода на конструкцию пути с плетями повышенной длины (до длины блок-участка или перегона). Это связано с тем, что продолжительность комплексов работ по закреплению плетей бесстыкового пути повышенной длины занимает значительно больше времени, чем при работе с короткими плетями длиной до 800 м.

Необходимо обеспечить чтобы весь комплекс работ был начат и завершен в строго определенное время суток, в течение которого на участке производства работ температура рельсов соответствует оптимальной температуре закрепления плетей. Для всех дистанций пути АО «УТЙ» оптимальная температура закрепления рельсовых плетей составляет  $+40^{\circ}\text{C}$ , кроме Каракалпакской дистанции, на которой оптимальная температура закрепления  $+35^{\circ}\text{C}$ . При этом закрепление плетей должно быть осуществлено в диапазоне температур от  $+35^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$  (от  $+30^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  соответственно для Каракалпакии) [17].

Для обоснования способов и технологии производства работ по закреплению плетей бесстыкового пути при оптимальной температуре в различные месяцы года, для обоснования времени начала, конца и продолжительности выполнения работ на плетях повышенной длины, для выявления наиболее рациональных периодов года для выполнения этих работ специалистами НИЛ «ППХ» ТашИИТа были проведены исследования изменения температур рельсов по дистанциям пути АО «УТЙ» [157]. Исследования [154] базировались на материалах измерений

температур рельсов, выполняемых работниками дистанций пути АО «УТЙ». На основе выполненных измерений были установлены оптимальные временные рамки выполнения работ по закреплению плетей бесстыкового пути по дистанциям. На рисунке 4.6 представлен график среднемесячных температур рельсов по Каршинской дистанции пути (ПЧ-12).

Анализ рисунка 4.6 показывает, что летом в самое жаркое время года продолжительность благоприятного периода выполнения путевых работ составляет 2,5 - 3,0 часа, в которые необходимо уложиться при выполнении работ.

Внедрение предлагаемой технологии замены рельсовых плетей с применением четырех экскаваторов-погрузчиков на АО «УТЙ» обеспечивает закреплению рельсовых плетей в оптимальной температуре без привлечения дополнительных ресурсов, связанных с вводом их в оптимальную температуру закреплению.

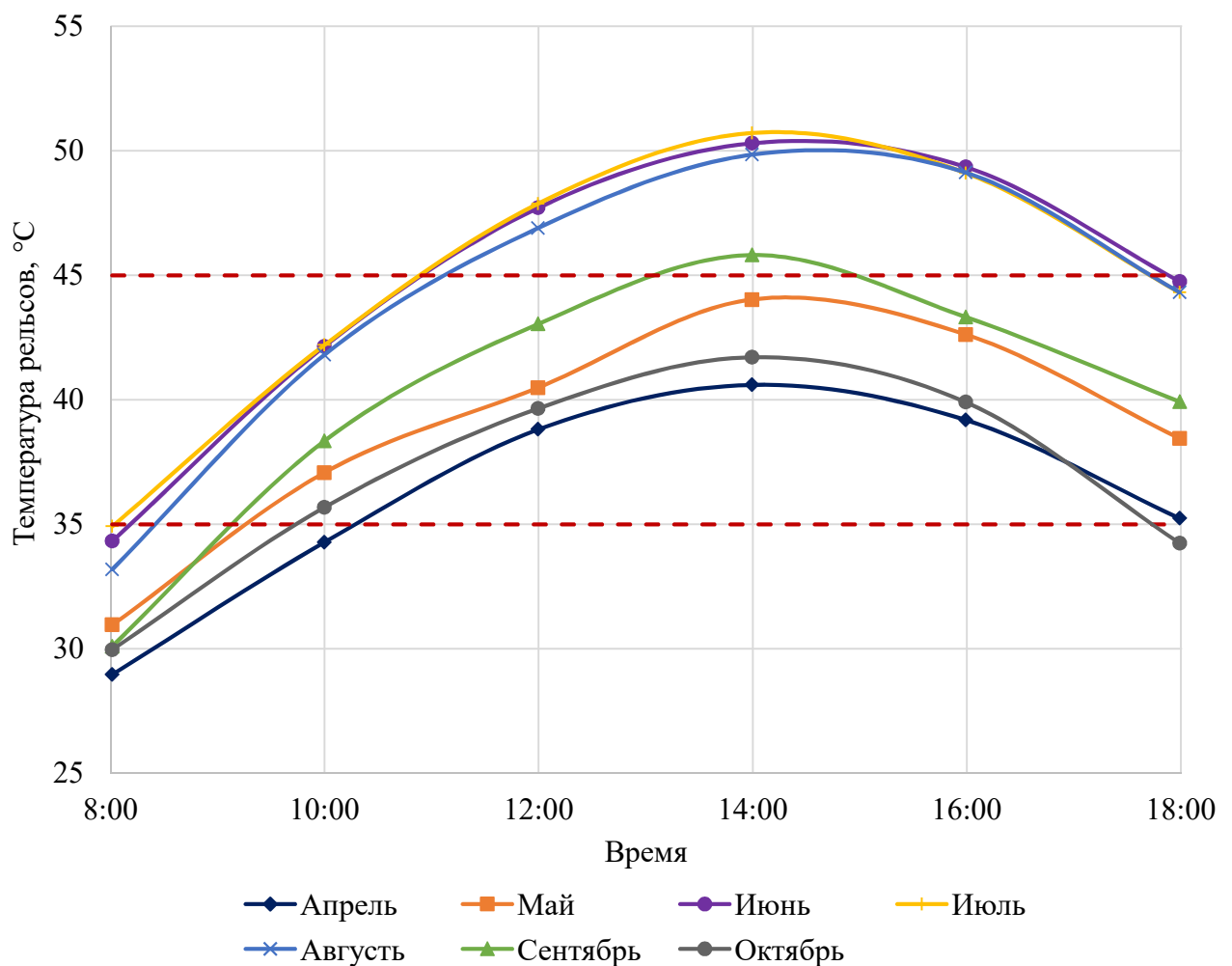


Рисунок 4.6 – График среднемесячных температур рельсов по ПЧ-12 [154]

#### 4.4 Расчеты экономической эффективности применения новой технологии

Обеспечение рентабельной работы железных дорог предполагает, прежде всего, снижение расходов на производство продукции всех его линейных предприятий, которое может дать внедрение как прогрессивных технологий, так и современной техники, потребных ресурсов, а также прочих расходов.

Одними из главных в решении этой задачи являются вопросы укрепления связей науки с производством, создания высокопроизводительных машин и технологических процессов. В связи с этим, по результатам выполненных в настоящей работе исследований, представляется возможным определить технико-экономическую эффективность способа замены инвентарных рельсов рельсовыми плетями с применением экскаватора-погрузчика, оборудованного двойным роликовым рельсовым захватом, при внедрении его на железных дорогах АО «УТЙ».

Существуют разные подходы определения эффективности внедрения новой технологии [155 - 159]. Эффективность внедрения новой технологии рекомендуется определять на основе сравнения эксплуатационных затрат в конкретной эксплуатационной ситуации при использовании новой и конкурентоспособной технологии [160]. Показателем сравнительной эффективности затрат являются приведенные эксплуатационные расходы ( $\mathcal{E}_{np}$ ) [161].

Приведенные эксплуатационные расходы ( $\mathcal{E}_{np}$ ) используются как показатель сравнения вариантов, имеющих одинаковые результаты:

$$\mathcal{E}_{np} = C_t + C_{нб} + C_{зн} + C_{мн} + C_p, \quad (4.2)$$

где  $C_t$  – себестоимость машины за единицы работы;

$C_{нб}$  – затраты на перебазировку машины;

$C_{зн}$  – затраты на задержки поездов;

$C_{мн}$  – затраты на заработную плату монтеров пути;

$C_p$  – затраты на разрядку рельсовых плетей.

Экономически наиболее эффективным считается вариант, имеющий минимальные значения приведенных эксплуатационных расходов.

Себестоимость машины за единицу работы, учитывая рекомендации [162], определяем согласно [163] по формуле:

$$C_t = \frac{\mathcal{E}}{H_в} + \frac{Г}{T_{ч.н.} \cdot H_в}, \quad (4.3)$$

где  $\mathcal{E}$  – текущие эксплуатационные затраты, руб.;

$H_в$  – норма выработки, ед./маш.-ч.;

$Г$  – годовые затраты, руб.;

$T_{ч.н.}$  – производительное время работы машины в течение года (время нахождения машины в работе), маш.-ч/год.

Каждый из перечисленных в первой главе способов имеет свои преимущества и недостатки. Широко распространенным последние годы на железных дорогах ОАО «РЖД» является способ замены инвентарных рельсов на сварные рельсовые плети с применением тележек конструкции МИИТа и ПТКБ. В качестве конкурентоспособной технологии для проведения расчетов по экономической эффективности принимаем технологию замены инвентарных рельсов на сварные рельсовые плети с использованием пары тележек. Технологический процесс производства работ по замене с применением тележек представлен в работе [75]. В качестве тягового усилия для передвижения тележек и для зарядки-разрядки тележек принимаем экскаватор-погрузчик. Скорость движения экскаватора-погрузчика при замене с применением тележек принимаем 3 км/ч [89], остальные технико-экономические показатели конкурентоспособной технологии принимаем согласно [75]. Основные технико-экономические показатели конкурентоспособной и предлагаемой технологии представлены в таблице 4.2.

Затраты, связанные с перебазировкой машин, будем определять в соответствии с [163], а затраты, связанные с закрытием перегона на время «окна» для выполнения путевых работ, используя справочно-нормативные данные в части задержки поездов от размера движения, приведенные в [164]. Кроме того, для

проведения расчетов по оценке экономической эффективности приняты следующие исходные данные:

- годовой объем укладки бесстыкового пути – 280 км;
- средняя дальность перемещения техники к месту выполнения работ – 10 км;
- количество грузовых поездов, обращающихся по участку – 40 пар поездов в сутки;
- количество пассажирских поездов, обращающихся по участку – 30 пар поездов в сутки;
- затраты на производство работ по вводу рельсовых плетей в оптимальную температуру – 206650 руб./км [165].

Таблица 4.2 – Техничко-экономические показатели сравниваемых технологий

| № | Основные параметры                       | Единица измерения | Количество     |                 |
|---|--|-------------------|----------------|-----------------|
|   |  |                   | T <sup>1</sup> | НО <sup>2</sup> |
| 1 | Скорость движения при производстве работ | км/ч              | 3              | 5               |
| 2 | Время зарядки-разрядки                   | мин.              | 15             | 3               |
| 3 | Число рабочих:                           |                   |                |                 |
|   | монтеры пути                             | чел.              | 6              | 4               |
|   | машинист                                 | чел.              | 1              | 4               |
| 4 | Экскаватор-погрузчик                     | шт.               | 1              | 4               |
| 5 | Тележки для надвигки рельсовых нитей     | комплект          | 1              | –               |
| 6 | Двойной роликовый рельсовый захват       | шт.               | –              | 4               |

*Примечание: 1 – технология с применением тележек; 2 – технология с применением навесной оснастки*

Результаты расчетов сравнительной экономической эффективности представлены в таблице 4.3. По данным таблицы построен график зависимости

эксплуатационных расходов и продолжительности работ по замене рельсовых плетей от объема выполняемых работ, рисунок 4.7.

Таблица 4.3 – Приведенные эксплуатационные расходы

| Фронт работ, км | Количество «окон» в год, шт. | Продолжительность работ в час. |      | Приведенные эксплуатационные расходы, тыс. руб. в год |      |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|------|---|------|
|                 |                              | Т                              | НО   | Т   | НО   |
| 1               | 2                            | 3                              | 4    | 5   | 6    |
| 1               | 280,0                        | 0,88                           | 0,73 | 1551  | 2875 |
| 2               | 140,0                        | 1,27                           | 0,96 | 1138  | 1679 |
| 3               | 93,3                         | 1,65                           | 1,19 | 1053  | 1299 |
| 4               | 70,0                         | 2,03                           | 1,42 | 1050  | 1123 |
| 5               | 56,0                         | 2,42                           | 1,65 | 1079  | 1029 |
| 6               | 46,7                         | 2,80                           | 1,88 | 1126  | 976  |
| 7               | 40,0                         | 3,18                           | 2,11 | 1388  | 946  |
| 8               | 35,0                         | 3,57                           | 2,34 | 1656  | 930  |
| 9               | 31,1                         | 3,95                           | 2,57 | 1928  | 925  |
| 10              | 28,0                         | 4,33                           | 2,8  | 2202  | 926  |
| 11              | 25,5                         | 4,72                           | 3,03 | 2479  | 1139 |
| 12              | 23,3                         | 5,10                           | 3,26 | 2757  | 1355 |
| 13              | 21,5                         | 5,48                           | 3,49 | 3036  | 1574 |
| 14              | 20,0                         | 5,87                           | 3,72 | 3317  | 1796 |
| 15              | 18,7                         | 6,25                           | 3,95 | 3598  | 2019 |

Анализ результатов расчета показывает, что в условиях жаркого климата Узбекистана при внедрении технологии замены рельсовых плетей с применением пары тележек высокая эффективность достигается при фронте работ 4 км. При этом эксплуатационные расходы на заданный объем работ составляют 1050 тыс. руб. С увеличением фронта работ более 4 км наблюдается увеличение эксплуатационных расходов, обусловленное ростом затрат на задержки поездов, а с увеличением

фронта работ более 6 км рост эксплуатационных расходов увеличивается значительно. Это связано с тем, что при увеличении фронта работ более 6 км продолжительность «окон» увеличивается более трех часов и потребуются дополнительные ресурсы, связанные с разрядкой рельсовых плетей.

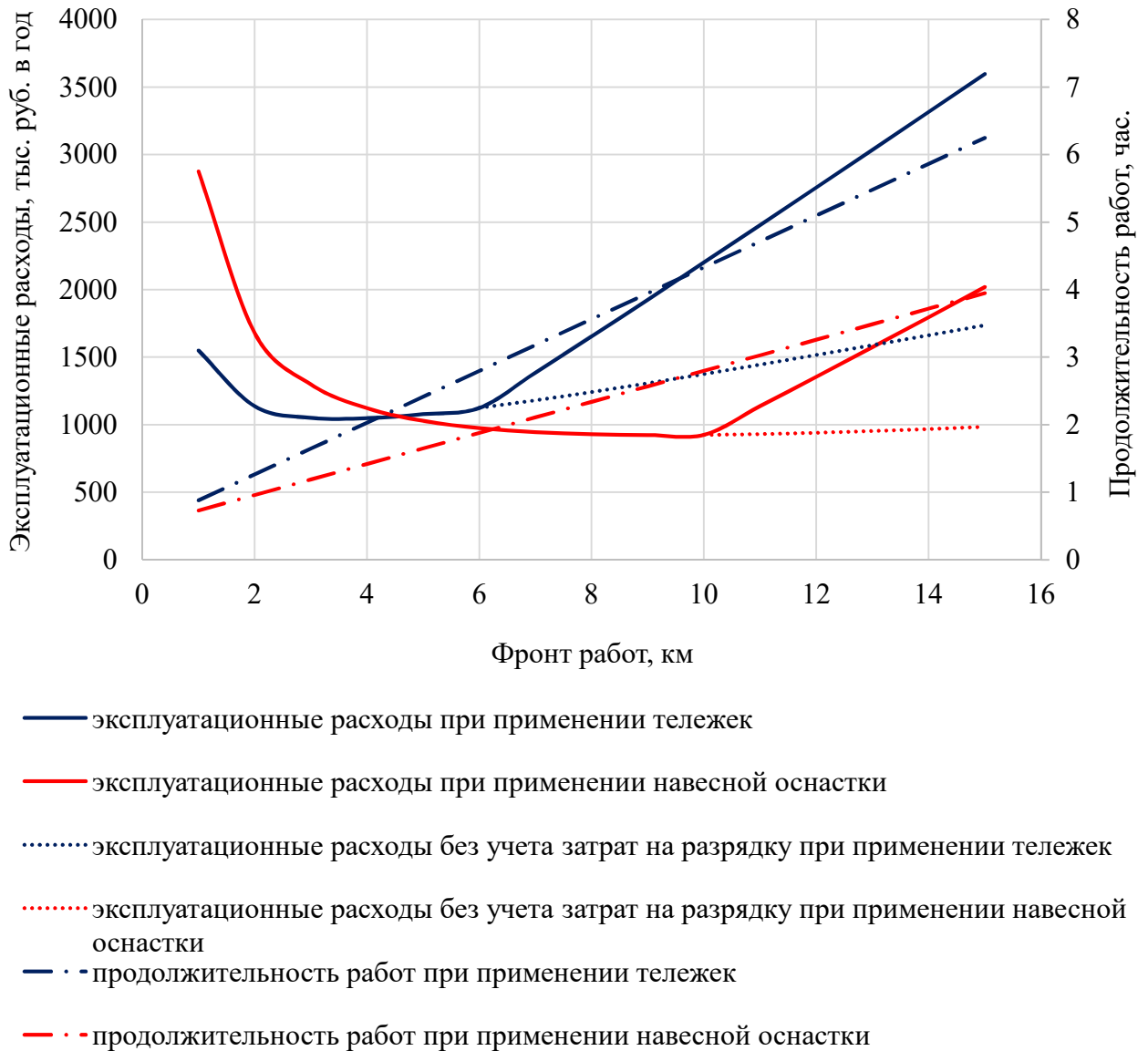


Рисунок 4.7 – Зависимость эксплуатационных расходов и продолжительности работ по замене рельсовых плетей от объема выполняемых работ

Из графика на рисунке 4.7 видно, что эксплуатационные расходы при использовании технологии с применением навесной оснастки с увеличением объема работ в «окно» уменьшаются. Это связано с сокращением количества «окон» при заданном годовом объеме, что приводит к уменьшению затрат на



перебазировку путевых машин на место производства работ. Максимальный экономический эффект при использовании технологии с применением навесной оснастки достигается при фронте работ 10 км. При этом для выполнения заданного объема работ по такой технологии потребуется 926 тыс. руб. С увеличением фронта работ более 10 км продолжительность «окон» превышает трехчасовую отметку и начинается рост затрат, связанных с разрядкой рельсовых плетей.

Сравнивая результаты двух технологий, можно сказать, что при трехчасовом «окне» объем выполняемых работ по технологии с применением навесной оснастки в 1,7 раза превышает объем работ, выполняемых по технологии с применением тележек. При этом эксплуатационные расходы при использовании технологии с применением навесной оснастки меньше эксплуатационных расходов при использовании технологии с применением тележек на 200 тыс. руб.

#### **4.5 Выводы по главе 4**

1. Разработаны технологические приемы замены рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных двойным роликовым рельсовым захватом.

2. Выполнен сравнительный анализ экономической целесообразности применения новой технологии в условиях Узбекистана. На основе выполненных расчетов получена зависимость эксплуатационных расходов по замене рельсовых плетей с применением новой технологии от фронта работ.

3. Сравнительный анализ результатов двух технологий показал, что при трехчасовом «окне» объем выполняемых работ по технологии с применением навесной оснастки в 1,7 раза превышает объем, выполняемый по технологии с применением тележек. При этом эксплуатационные расходы при использовании технологии с применением навесной оснастки меньше эксплуатационных расходов при использовании технологии с применением тележек на 200 тыс. руб.

4. Экономические расчеты показали, что при замене рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных навесной оснасткой, фронт выполняемых работ в «окно» должен быть более 4 км, при этом максимальная экономическая эффективность достигается при фронте работ 10 км.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведен анализ существующих технологий и оборудования по замене рельсовых плетей.

2. Создана конечно-элементная модель рельсовой плети. С помощью разработанной модели выполнен расчет напряженно-деформированного состояния рельсовой плети при одновременном действии сил в двух направлениях. Установлены номинальные значения высоты подъема и вылета стрелы для безопасного производства работ по замене рельсовых плетей.

3. Установлены технические требования к конструкции навесной оснастки. Грузоподъемность навесной оснастки принята 6300 кг, а масса оснастки не должна превышать 130 кг. При разработке конструкции навесной оснастки должны учитываться горизонтальные нагрузки, величиной не менее 550 кгс.

4. Предложена конструкция двойного роликового рельсового захвата, обеспечивающего расширение сфер применения технологии замены рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу.

5. Разработаны и апробированы в эксплуатации технологические приемы производства работ по замене рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных двойным роликовым рельсовым захватом. Дополнительно к существующим технологиям разработана технология замены рельсовых плетей с применением четырех экскаваторов, обеспечивающая:

- сокращение затрат труда и продолжительности выполнения работ, в том числе продолжительности «окон» на выполнение путевых работ;
- улучшение условий производства путевых работ за счет значительного уменьшения доли ручного труда, что особенно важно в условиях жаркого климата Узбекистана;
- исключение поломки анкеров промежуточного скрепления Pandrol Fastclip, в результате чего в настоящее время приходится полностью заменять железобетонную шпалу типа BF70;

– укладку бесстыкового пути с рельсами длиной до блок-участка или перегона.

6. Выполнен сравнительный анализ экономической эффективности внедрения предлагаемой технологии в условиях Узбекистана. Результаты расчетов показали, что при трехчасовом «окне» объем работ, выполняемых по технологии с применением навесной оснастки, в 1,7 раза превышает объем работ, выполняемых по технологии с применением тележек. При этом эксплуатационные расходы при использовании технологии с применением навесной оснастки меньше эксплуатационных расходов при использовании технологии с применением тележек на 200 тыс. руб.

7. Рекомендованы рациональные длины фронта выполняемых работ в «окно» по замене рельсовых плетей с применением экскаваторов на комбинированном ходу, оборудованных навесной оснасткой, который составляют 4 - 10 км.

8. Перспективой дальнейшей разработки темы является создание на основе применённых в работе методик и подходов технологических оснасток и технологий укладки навесным оборудованием для путевых машин тяжелого типа – УК, ЕДК, а также доработка технологических оснасток и технологий с применением прицепных тележек.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- ТашИИТ – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
ИрГУПС – Иркутский государственный университет путей сообщения  
ВНИИЖТ – Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
- АО – Акционерное общество  
АТР – Азиатско-Тихоокеанский регион  
ДВГУПС – Дальневосточный государственный университет путей сообщения
- ВАК – Высшая аттестационная комиссия  
УТЙ – Узбекистан темир йуллари  
НПК – непрерывная поверхность катания  
СП – стыки проекта  
НКМК – Новокузнецкий металлургический комбинат  
НТМК – Нижнетагильский металлургический комбинат  
АРБЗ – Актюбинский рельсобалочный завод  
КБ – клеммно-болтовое  
ПЧ – Дистанция пути  
ОПМС – Опытная путевая машинная станция  
ПМС – Путевая машинная станция  
ПДМ – Путевая дорожная мастерская  
РСП – Рельсосварочная поезд  
УПХ – Управление путевого хозяйства  
ЭВМ – Электронно-вычислительная машина  
НИЛ – Научно-исследовательская лаборатория  
ППХ – Путь и путевое хозяйство  
СЖД – Строительство железных дорог  
ПРСМ – Путевая рельсосварочная самоходная машина

СНГ – Содружества независимых государств

АРС – Анкерное рельсовое скрепление

МИИТ – Московский институт инженеров транспорта

ТПП – Типовой технологический процесс

ПТКБ – Проектно технологическо конструкторское бюро

ОАО – Открытое акционерное общество

РЖД – Российские железные дороги

МКЭ – Метод конечных элементов

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Новакович, В.И. Перспективы совершенствования конструкции верхнего строения железнодорожного пути [Текст] / В.И. Новакович // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4. – С. 65-69.
2. «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах». Собрание законодательства Республики Узбекистан №6(766) от 13.02. 2017 г. Статья 70.
3. Стратегия развития АО «Узбекистон темир йуллари» на период 2015-2019 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.railway.uz/ru/gazhk/strategiya\\_razvitiya/](https://www.railway.uz/ru/gazhk/strategiya_razvitiya/) (дата обращения: 18.02.2022).
4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 6.08.1993 г. №394 «О вопросах реконструкции и строительства новой железнодорожной линии Навои – Учкудук – Султануиздаг – Нукус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lex.uz/docs/893037> (дата обращения: 18.02.2022).
5. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 24.01.2003 г. № 43 «Об ускорении строительства новой железнодорожной линии Ташгузар – Бойсун – Кумкурган» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lex.uz/uz/docs/730701> (дата обращения: 18.02.2022).
6. Постановление Президента Республики Узбекистан от 18.03.2009 г. № ПП-1074 «О комплексной программе развития и модернизации железнодорожной отрасли на 2009 – 2013 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lex.uz/docs/1506046> (дата обращения: 18.02.2022).
7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 18.06.2013 г. №ПП-1985 «О мерах по организации строительства электрифицированной железнодорожной линии «Ангрен – Пап» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lex.uz/acts/2756024> (дата обращения: 18.02.2022).

8. Бизнес – план Акционерного общества «Узбекистон темир йуллари» на 2019 год. Ташкент, 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://railway.uz/upload/iblock/15c/oy8cvz3j2wlo0kpmglpe2qghxvhz1cca.pdf> (дата обращения: 18.02.2022).
9. Казахстан и Узбекистан построят автомобильную дорогу за \$172 млн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spot.uz/ru/2021/12/23/road/> (дата обращения: 20.02.2022).
10. Бизнес – план АО «УТЙ» на 2020 год. Ташкент, 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.railway.uz/upload/iblock/b3b/ayw42un6kx9n46oi6bzup3yodflwqy2r.pdf> (дата обращения: 18.02.2022).
11. Овчинников, А.Н. Шпалы ВF70 с упругими креплениями на дорогах Узбекистана [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 35-36.
12. Овчинников, А.Н. Экспериментальные исследования работы рельсовых креплений Pandrol Fastclip [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2013. Т. 6. № 6 (6). – С. 16-18.
13. Овчинников, А.Н. Вопросы укладки шпал ВF70S со креплениями Pandrol Fastclip в кривых малого радиуса [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2014. Т. 7. №7 (7). – С. 23-28.
14. Овчинников, А.Н. Исследование работы шпал ВF70S в кривых малого радиуса [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 21- 22.
15. Овчинников, А.Н. Оптимизация укладки и эксплуатации шпал ВF70S в кривых малого радиуса [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 10. – С. 29-30.
16. Эргашев, У.Э. Способ обеспечения отвода уширение ширины колеи в кривых радиусом менее 350 м [Текст] / У.Э. Эргашев, Н.И. Бегматов // Известия Транссиба. – 2017. – № 1(29). – С. 112-118.



17. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. – Ташкент, 2017. – 112 с.
18. Типовой технологический процесс №3 по замене инвентарных рельсов длиной 25 м на плети бесстыкового пути на шпалах типа BF70 со скреплением Pandrol Fastclip / введенный в действие с приказом АО «УТЙ» №359-Н от 29.12.2005 г., Ташкент, 2005. – 16 с.
19. Приказ Председателя АО «УТЙ» «О командирование сотрудников» №НОК-181 от 18.07.2018 г. – Т., 2018. – 1 с.
20. Wegner A., Hofmann M., Radmann P., Zhang R., Dubbins F. Management of longitudinal rail forces by non-destructive SFT monitoring in cw tracks / Available at: [https://www.elektro-thermit.de/fileadmin/et/user\\_upload/PDF/Publikationen/paper-ihhc-2011-wegner.PDF](https://www.elektro-thermit.de/fileadmin/et/user_upload/PDF/Publikationen/paper-ihhc-2011-wegner.PDF) (дата обращения 18.02.2022).
21. Wegner A. Stress-Free temperature monitoring using different measuring technologies – experiences and assessment / Proceedings of 10<sup>th</sup> International Heavy Haul Association Conference, New Delhi, India February 2013. PP. 160-168. Available at: [https://www.elektro-thermit.de/fileadmin/et/user\\_upload/PDF/Publikationen/Paper\\_IHHC\\_2013\\_SFT\\_Wegner.pdf](https://www.elektro-thermit.de/fileadmin/et/user_upload/PDF/Publikationen/Paper_IHHC_2013_SFT_Wegner.pdf) (дата обращения 18.02.2022).
22. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями [Текст]: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.И. Новакович. – М.: Маршрут, 2005. – 144 с.
23. Бесстыковой путь. Ч. 1. Как устроен и работает бесстыковой путь [Текст]: Учебное пособие / З.Л. Крейнис, Н.Е. Селезнева. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 84 с.
24. Андреевский М.Г. Влияние продольной упругости рельсового основания на угон пути [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.00.00 / Андреевский Михаил Гервальевич. – Ташкент, 1962. – 193 с.
25. Виноградова Л.А. Исследование работы плети бесстыкового пути в условиях жаркого климата [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Виноградова Людмила Алексеевна. – Ташкент, 1981. – 186 с.

26. Виноградов В.А. Повышение стабильности железнодорожного пути применением железобетонных шпал с увеличенными размерами и массой [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Виноградов Владимир Александрович. – Ташкент, 1987. – 195 с.
27. Клинов С.И. Повышение работоспособности и расширение сфер применение бесстыкового пути: [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Клинов Семен Иосифович. – М., 1989. – 614 с.
28. Виногоров Н.П. Исследование способов закрепления и границ укладки бесстыкового пути на металлических мостах с деревянными поперечинами: [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Виногоров Николай Павлович. – М., 1981. – 207 с.
29. Кузнецов, И.И. Новая технология погрузки плетей [Текст] / И.И. Кузнецов // Путь и путевое хозяйство. – 1998. – № 10. – С. 23.
30. Программа и методика определения погонного сопротивления продольному перемещению рельсов (первый этап испытаний). Утв. ГМ-ГИ АО «УТЙ». – Ташкент, 2018. – 25 с.
31. Патент IAP 05742, МПК E01B 35/00 (2006.01). Устройство для измерения силы прижатия клеммы скрепления к рельсу / Мамадалиев А.Ю., Досметов С.К., Эргашев У.Э., Бегматов Н.И., Хальфин Г.Р.; заявитель и патентообладатель Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. № IAP20160168; заявл. 10.05.2016; опубл. 31.01.2019. Бюл. №1. – С. 77.
32. Боченков М.С. Исследования угона железнодорожного пути при современных конструкциях подвижного состава и верхнего строения пути [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Боченков Михаил Степанович. – М., 1969. – 275 с.
33. Альбрехт В.Г. Угон железнодорожного пути и борьба с ним [Текст] / В. Г. Альбрехт. – М.: Трансжелдориздат, 1958. - 143 с.
34. Бесстыковой путь [Текст] / В.А. Альбрехт, Н.П. Виноградов, Н.Б. Зверев и др.; Под ред. В.А. Альбрехта, А.Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
35. Бромберг Е.М. Бесстыковый путь [Текст] / Е. М. Бромберг; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1960. - 52 с.

36. Бромберг Е.М. Устойчивость бесстыкового пути [Текст] / Е. М. Бромберг. – М.: Транспорт, 1966. – 67 с.
37. Мищенко К.Н. Бесстыковый рельсовый путь [Текст] / К.Н. Мищенко. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 88 с.
38. Коган А.Я. Продольные силы в железнодорожном пути [Текст] / А.Я. Коган // Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1967. – Вып. 332. – 168 с.
39. Морозов С.И. Устойчивость температурно-напряженного железнодорожного пути [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Морозов Станислав Иванович. – Архангельск, 1983. – 396 с.
40. Новакович В.И. Основы реологии бесстыкового пути и его приложения [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Новакович Василий Иванович. – Б.М., 1984. – 199 с.
41. Грищенко В.А. Обеспечение надежности и эффективности бесстыкового пути в сложных условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Грищенко Валерий Александрович. – М., 1993. – 555 с.
42. Надежность бесстыкового пути [Текст]: учебное пособие для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / В.С. Лысюк, Н.Б. Зверев, Л.В. Башкатова. – М.: УМК МПС, 1999. – 431 с.
43. Управление надежностью бесстыкового пути [Текст] / Л.В. Башкатова, В.М. Ермаков, Н.Б. Зверев и др.. – М.: Транспорт, 1999. – 375 с.
44. Ершов В.В. Устойчивость бесстыкового пути с учетом воздействия поездов и разработка технологий по ее обеспечению [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Ершов Валентин Васильевич. – Самара, 2003. – 288 с.
45. Суслов О.А. Функциональная безопасность эксплуатации бесстыкового пути [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.22.06 / Суслов Олег Александрович. – М., 2017. – 241 с.
46. Амман, О. Теория устойчивости и предложения по повышению устойчивости бесстыкового пути / О. Амман, К. Грюневальдт // Organ. 1934. № 5. С. 101 - 102.

47. Игнятич, Д.В. Определение критической силы, деформирующей бесстыковой путь [Текст] / Д. В. Игнятич // Вестник ВНИИЖТа. – 1965. – №8. – с.7-11.
48. Meier H. Experiment entail Oberbahnforschung. - Eisenbahninginier, 1957, № 7.
49. Нгуен Ван Туен. Определение допускаемой температурной продольной силы на прямых участках бесстыкового пути (на основе теории случайных функций) [Текст]: Автореферат кандидатской диссертации. М.: МИИТ, 1970. 18 с.
50. Nemesdi E. A Vaganiok kivetodesbiz tonsaganak szamitasa // Mozgony vesetok zsedkonive, 1958.
51. Numata M. Buckling strength of railway track // Journal By engineering Research, №9, 1957.
52. Леви Р. Влияние поперечной жесткости пути на возможность деформации, вызванной продольными силами / Перевод ЦНТБ МПС П-8368. 13 л.
53. Боченков, М.С., Грищенко В.А. Технология укладки рельсовых плетей с расчетными напряжениями [Текст] / М.С. Боченков , В.А. Грищенко // Бесстыковой путь и длинные рельсы в условиях Сибири. – Новосибирск, 1979. Вып. 198/11. – С. 35 - 47.
54. Новакович В.И. Исследование изменений напряженного состояния бесстыкового пути при ремонтных работах [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Новакович Василий Иванович. – Харьков, 1966. – 173 с.
55. Авторское свидетельство №768869, М. Кл. E01b 29/17. Способ монтажа рельсовых плетей бесстыкового пути / Новакович В.И., Жулев Г.Г.; заявитель Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта. №2659563/29-11; заявл. 08.08.1978; опубли. 07.10.1980. Бюллетень №37. – 2 с.
56. Клинов С.И. Исследование способов восстановления бесстыковых рельсовых плетей после изломов в условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Клинов Семен Иосифович. – М., 1967. – 236 с.

57. Крейнис З.Л. Исследование вопросов устройства бесстыкового пути на станциях [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.00.00 / Крейнис Зосим Лейбович. – М., 1964. – 269 с.

58. Авторское свидетельство №197659, МПК E01b. Способ смены инвентарных рельсов и старых рельсовых плетей бесстыкового / Бромберг Е.М., Гойхман М.М.; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта.

59. Зверев Н.Б. Исследование способов соединения рельсовых плетей бесстыкового пути [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Зверев Николай Борисович. – М., 1968. – 192 с.

60. Свистунов В.Н. Исследование некоторых технологических приемов и способов ремонта и укладки бесстыкового пути [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Свистунов Валентин Николаевич. – Харьков, 1973. – 200 с.

61. Грищенко В.А. Особенности укладки и эксплуатации бесстыкового пути с рельсовыми плетями, равными длине блок-участок [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Грищенко Валерий Александрович. – Новосибирск, 1980. – 244 с.

62. Авторское свидетельство №SU 1698338 A1, МПК E01b 29/44. Способ создания расчетных напряжений в рельсовых плетях бесстыкового пути / Грищенко В.А.; заявитель Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта. №4777551/11; заявл. 03.01.1990; опубл. 15.12.1991. Бюллетень №46. – 3 с.

63. Виногоров Н.П. Перекладка плетей с заменой рабочего канта в кривых [Текст] / Н.П. Виногоров // Путь и путевое хозяйство. – 1974. – №11. – С. 11-12.

64. Патент RU 2732635 C1, МПК E01B 29/17. Способ укладки плетей бесстыкового пути с удлинением их, сваркой и вводом в оптимальную температуру закрепления / Виногоров Н.П., Новиков А.А., Перегудова М.В.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта». №2019127950; заявл. 05.09.2019; опубл. 21.09.2020. Бюл. №27. – 7 с.

65. Сушков В.Ф. Исследование особенностей технологии и напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути в процессе сварочных работ

[Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Сушков Валентин Федорович. – Харьков, 1981. – 215 с.

66. Шраменко В.П. Определение расчетных параметров для процесса замены рельсовых плетей без их предварительной выгрузки [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Шраменко Владимир Павлович. – Харьков, 1986. – 187 с.

67. Бондаренко А.А. Напряженно-деформированное состояние и особенности технологии монтажа бесстыкового пути с рельсовыми плетями сверхнормативной длины [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Бондаренко Алексей Алексеевич. – Куйбышев, 1986. – 238 с.

68. Авторское свидетельство №SU 1133323 А, МПК E01b 29/16. Способ монтажа рельсовой плети бесстыкового пути / Ершов В.В.; заявитель Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта. №3578734/29-11; заявл. 13.04.1983; опубл. 07.01.1985. Бюллетень №1. – 3 с.

69. Авторское свидетельство №SU 1346717 А1, МПК E01b 29/05; 29/17; 29/20. Способ монтажа рельсовых плетей бесстыкового пути / Ершов В.В., Жулев Г.Г.; заявитель Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта. №3752849/29-11; заявл. 14.06.1984; опубл. 23.10.1987. Бюллетень №39. – 3 с.

70. Авторское свидетельство №SU 1379395 А1, МПК E01b 29/02. Способ укладки рельсовых плетей бесстыкового пути в кривых участках / Ершов В.В., Жулев Г.Г.; заявитель Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта. №4133543/27-11; заявл. 23.06.1986; опубл. 07.03.1988. Бюллетень №9. – 3 с.

71. Жулев Г.Г. Совершенствование технологий сварочных работ и изменение напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути при сварке [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Жулев Георгий Григорьевич. – Ленинград, 1988. – 185 с.

72. Авторское свидетельство №SU 1451197 А1, МПК E01b 29/02. Способ укладки железнодорожного пути / Жулев Г.Г., Новакович В.И., Сосевич З.Н.;

заявитель Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта. №3843865/29-11; заявл. 02.01.1985; опубл. 15.01.1989. Бюллетень №2. – 4 с.

73. Патент RU 2068469 С1, МПК E01В 29/05. Способ укладки рельсовых плетей бесстыкового пути в криволинейных участках / Жулев Г.Г.; заявитель и патентообладатель Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта им. М.Т. Елизарова. № 5026880/11; заявл. 11.02.1992; опубл. 27.10.1996. – 4 с.

74. Патент RU 2281354 С1, МПК E01В 29/05. Способ перекладки рельсовых плетей бесстыкового пути в криволинейных участках / Жулев Г.Г.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Самарский государственная академия путей сообщения» (СамГАПС). №2004136376/11; заявл. 14.12.2004; опубл. 14.12.2004. Бюл. №22. – 5 с.

75. Лысенко Н.Н. Ресурсосберегающие технологии и средства их реализации по транспортировке, замене и укладке рельсовых плетей бесстыкового пути на бесподкладочных скреплениях [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Лысенко Николай Николаевич. – М., 2004. – 294 с.

76. Карпачевский Г.В. Особенности укладки, содержания и ремонта бесстыкового пути со сверхдлинными рельсовыми плетями и с их учетом разработка технологических решений [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Карпачевский Геннадий Владимирович. – Ростов-на-Дону, 2004. – 186 с.

77. Дутаев Х.Х. Особенности устройства, укладки, содержания и ремонта бесстыкового пути на концевых участках рельсовых плетей и с их учетом разработка технических решений [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.06 / Дутаев Хаважи Хамзатович. – Ростов-на-Дону, 2006. – 120 с.

78. Лайко, Н.В., Ламин Ф.Г. Укладка и содержание бесстыкового пути [Текст] / Н.В. Лайко, Ф.Г. Ламин. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 35 с.

79. Арутюнян К.Г. Механизированная укладка рельсовых плетей [Текст] / К.Г. Арутюнян. – М.: Трансжелдориздат, 1983. – 78 с.

80. Наличаев, В.Н. Без резки плетей [Текст] / В.Н. Наличаев // Путь и путевое хозяйство. – 1976. – № 5. – С. 9-11.

81. А.с. 197660 (СССР). Плетеукладчик. Бромберг Е.М., Гойхман М.М. –

опубл. в Б.И., 1967. №13.

82. А.с. 205051 (СССР). Промежуточное рельсовое скрепление. Бромберг Е.М., Гойхман М.М. – опубл. в Б.И., 1967. №23.

83. А.с. 458691 (СССР). Рабочий орган разборщика временных рельсовых скреплений. Козлов С.М., Семенов Я.М., Бромберг Е.М. – опубл. в Б.И., 1975. №4.

84. SMD 80: укладка пути поточным методом в Казахстане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plassertheurer.com/ru/header/predpriятие/о-фирме-plasser-toirer/istorija#> (дата обращения: 19.02.2022).

85. Воробьев, Э.В. Перекладка рельсовых плетей [Текст] / Э.В. Воробьев, А.З. Анохин, Н.Н. Лысенко // Путь и путевое хозяйство. – 1998. - № 8. – С. 12-14.

86. Хайтин, С.Л. Укладка пути: сегодня и завтра [Текст] / С.Л. Хайтин, Н.А. Папков, Ю.К. Клецкий, Е.В. Плоткин // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 10-13.

87. Корсаков, А.А. Реализация прогрессивных технологий в путевом хозяйстве – наша задача [Текст] / А.А. Корсаков // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 5-9.

88. Раенок, Д.Л. Переустройство пути с колеи 1067 на 1520 мм на Сахалине [Текст] / Д.Л. Раенок // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 9. – С. 4-6.

89. Корсаков, А.А. Применение экскаватора-погрузчика KGT-4RS при замене инвентарных рельсов плетями [Текст] / А.А. Корсаков, Д.С. Федасов, Н.Г. Гринчар, М.Ю. Чалова // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – №3. – С. 32-34.

90. Расулев, А.Ф., Кузнецов И.И., Эргашев У.Э. Рельсовый роликовый захват для укладки плетей бесстыкового пути [Текст] / А.Ф. Расулев, И.И. Кузнецов, У.Э. Эргашев // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. – Ташкент. – 2018. – С. 127-130.

91. Суслов, О.А. Применение экскаваторов на комбинированном ходу при укладке плетей бесстыкового пути [Текст] / О.А. Суслов, У.Э. Эргашев // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск: ИрГУПС, 2019. – Т.1. – С. 390-394.

92. Михайлова М. Экскаватор в помощь [Электронный ресурс]. Режим



доступа: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1493596> (дата обращения: 19.02.2022).

93. Патент СССР №388416, М. Кл. E01b 29/00. Способ укладки бесстыкового рельсового пути / Франц Плассер, Иозеф Тойрер (Австрия); заявитель Франц Плассер Банбаумашинен (Австрия). №1295002/27-11; заявл. 27.12.1968; опубл. 22.06.1973. Бюллетень №28. – 1 с.

94. Гуленко, Н.Н., Фомин В.В. Механизация и автоматизация путевых работ за рубежом [Текст] / Н.Н. Гуленко, В.В. Фомин. – М.: Транспорт, 1975. – 232 с.

95. Венти Р. Современные методы скоростной замены и укладки железнодорожного пути // Тезисы докладов международной выставки «Железнодорожный транспорт – 77». – М., 1977. – С. 5-12.

96. Patent DE2237159 (B2), Int. Cl. E01B29/16; (IPC1-7): E01B29/16. Unit for exchanging rails on railway track - has undercarriage with rail pick up on boom and guide and adjustable laying shoe / KNAPE, FRITZ, DIPL.-ING., 8000 MUENCHEN; assignee KNAPE, FRITZ, DIPL.-ING., 8000 MUENCHEN; FRANZ PLASSER BAHNBAUMASCHINEN- INDUSTRIEGESELLSCHAFT MBH, WIEN. - №DE19722237159 19720728; Filed 08.01.1976.

97. Patent CN1098460 (A), Int. Cl. E01B29/02; E01B29/05; E01B29/06; E01B29/16; (IPC1-7): E01B29/05. Mechanism for renewing and laying rails / JOSEF THEURER [AT]; MANFRED BRUNNINGER [AT]; assignee PLASSER BAHNBAUMASCH FRANZ [AT]. - № CN19931008401 19930724; Filed 08.02.1995.

98. Patent CN1187558 (A), Int. Cl. B65G67/12; E01B29/05; E01B29/16; E01B29/17; (IPC1-7): E01B29/16. Wagon for drawing off long-welded rails stored on transport wagons / THEURER JOSEF [AT]; BRUNNINGER MANFRED [AT]; assignee PLASSER BAHNBAUMASCH FRANZ [AT]. - № CN19981003909 19980109; Filed 15.07.1998.

99. Gleisverlegung vom Fließband [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gleisbau-welt.de/lexikon/gleisbau-und-instandhaltung/maschineller-gleisbau/gleisumbau/gleisverlegung-vom-fliessband/>. (дата обращения: 15.02.2022).

100. Rainer Wenty. Gleisbaumaschinen für Großbaustellen // Der

Eisenbahningenieur / Ausgabe 08/2002. – S. 36-39.

101. Rudolf Schilder, Walter Schumergruber. Schnellumbauzug SUZ 500 für Gleisumbau und Neubau bei den ÖBB // Eisenbahntechnische Rundschau / Ausgabe 03/2004. S. 150-157.

102. Plasser&Theurer / История [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plassertheurer.com/ru/header/predpriyatje/o-firme-plasser-toirer/istorija#> (дата обращения: 19.02.2022).

103. Чижев, А.Т. Механизация укладки пути [Текст] / А.Т. Чижев, А.Р. Костюкович. – М.: Транспорт, 1966. – 136 с.

104. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс [Текст]: учеб. Пособие: в 2 т. / И.П. Киселёв и др.; под ред. И.П. Киселёва. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т. 1. – 308 с.

105. Final phase of Borders Railway track-laying gets underway [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/news/22642/final-phase-borders-railway-track-laying-gets-underway/>. (дата обращения: 15.02.2022).

106. Rail track maintenance machinery – Innovations in the UK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/31629/rail-track-maintenance-machinery-innovations-uk/>. (дата обращения: 15.02.2022).

107. Hans-Christian Roßmann, Thomas Wenzel, Michael König, Werner Fahrnberger. Feste Fahrbahn im Winter // Der Eisenbahningenieur / Ausgabe 09/2018. – S. 116-119.

108. Peter Grim. Mobile Instandhaltungseinheit (MIE) 6 9.50 Einzelfehlerbehebung unter Werkstattbedingungen // Der Eisenbahn Ingenieur Kompendium / Ausgabe 01/2010. – S. 46-49.

109. Fahrbare Schienen-Umsetzmaschine [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.robel.com/de/maschinen-werkzeuge/heben-laden-befoerdern/produkt/fahrbare-schienen-umsetzmaschine/> (дата обращения: 15.02.2022).

110. Скоростные железные дороги Японии: Синкансен [Текст]. Пер. с япон. / Татэмацу Тосихико, Кума Сатоси, Исихара Есио и др.; Под ред. д-ра техн. Наук

В.Г. Альбрехта. – М.: Транспорт, 1984. – 199 с.

111. Разгрузка рельсовых плетей [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. – №4. – С. 69-72.

112. KGT-4RS экскаватор-погрузчик на комбинированном ходу / Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. 2012. – 203 с.

113. Шульга, В.Я., Напряженное состояние рельсовых плетей при их погрузке методом зацепления [Текст] / В.Я. Шульга, А.А. Кондратьев // Сб. науч. тр. под ред. Г.М. Шахунянца. – М., 1962. вып. 147. С. 98-106.

114. Першин, С.П. Напряжения в рельсовой плети при выгрузке её с платформ [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1971. – № 11. – С. 30-31.

115. Шраменко, В.П. Напряженно-деформированное состояние рельсовых плетей при вертикальном изгибе в процессе выгрузки их с подвижного состава [Текст] / В.П. Шраменко, Г.С. Хвостик // Повышение эффективности бесстыкового пути. – М.: Транспорт, 1983. – С. 69-76.

116. Ершов, В.В. Напряженно-деформированное состояние рельсовых плетей при их погрузке-выгрузке на перегоне [Текст] / В.В. Ершов, Л.А. Шабанов, Г.П. Беляев // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 1. – С. 15-19.

117. Сопротивление материалов [Текст]: учебное пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.

118. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / С.Н. Клепиков. – К.: Будивельник, 1967. – 183 с.

119. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности [Текст]: Учебник для студентов, обучающихся по направлению 653500 “Строительство” / В.А. Икрин. – М.: Изд. АСВ, 2004. – 424 с.

120. Крылов, А.Н. О расчете балок, лежащих на упругом основании [Текст] / А.Н. Крылов. – Л.: Академия наук. – 1931. – 155 с.

121. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. Том 2. Более сложные вопросы теории и задачи [Текст]. 2-е изд. / Пер. с англ./ С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

122. Горбачев, К.П. Метод конечных элементов в расчетах прочности [Текст] / К.П. Горбачев. – Л.: Судостроение, 1985. – 156 с.
123. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст]. Пер. с англ. / О. Зенкевич. – М.: Мир, – 1975. – 543 с.
124. Рикардс, Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин [Текст] / Р.Б. Рикардс. – Рига.: Зннатне, – 1988. – 284 с.
125. Трушин, С.И. Метод конечных элементов. Теория и задачи [Текст] / С.И. Трушин. – М.: АСВ, – 2008. – 257 с.
126. Метод конечных элементов [Текст]: Учеб. пособие для вузов / П.М. Варвак. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, – 1981. – 176 с.
127. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы [Текст]. Пер. с англ. / Р. Галлагер. – М.: Мир, – 1984. – 428 с.
128. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов [Текст]. Пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, – 1979. – 393 с.
129. Оценка жесткости фиксации аппаратов внешней фиксации при повреждении Монтеджиа с помощью моделирования напряженно-деформированного состояния [Текст] / И.Н. Михайлов, Г.В. Сидорова, М.Э. Пусева, А.С. Бубнов // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2011. – № 4. – 1(80). – С. 266-273.
130. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows [Текст] / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, – 2003. – 448 с.
131. Расчеты железнодорожного пути с использованием конечно-элементных моделей [Текст]: учебно-методическое пособие / Э.П. Исаенко, Ш.Н. Шайдуллин, С.Ю. Иванов, С.П. Васильев, М.В. Безруков. – Нижний Новгород: Нижегородский печатник, – 2002. – 200 с.
132. Суслов О.А. Расширение сферы применения бесстыкового пути в сложных эксплуатационных и природно-климатических условиях [Текст]: дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Суслов Олег Александрович. – Иркутск, 2004. – 184 с.

133. Овчинников Д.В. Определение запаса устойчивости бесстыкового пути с учетом его фактического текущего состояния условиях [Текст]: дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Овчинников Дмитрий Владиславович. – Самара, 2014. – 144 с.

134. Портнов А.В. Температурная работа плетей бесстыкового пути на мостах с металлическими пролетными строениями с ездой на балласте [Текст]: дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Портнов Алексей Владимирович. – М., 2016. – 158 с.

135. Безруков М.В. Соединение рельсовых плетей бесстыкового пути со стрелочными переводами [Текст]: дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Безруков Михаил Владимирович. – М., 1999. – 131 с.

136. Карпов И.Г. Обеспечение устойчивости бесстыкового пути в сложных условиях эксплуатации [Текст]: автореферат дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Карпов Иван Геннадьевич. – Иркутск, 2012. – 23 с.

137. Антонов Н.И. Совершенствование деталей рельсовых скреплений на основе анализа их напряженно-деформированного состояния [Текст]: автореферат дис. канд. тех. наук: 05.22.06 / Антонов Николай Иванович. – Новосибирск, 1997. – 25 с.

138. Жидков, А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования [Текст] / А.В. Жидков. – Нижний Новгород, – 2006. – 115 с.

139. Cosmos/M [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.albea.ru/products/cad/soft/SRAC/Cosmos\\_M.html](http://www.albea.ru/products/cad/soft/SRAC/Cosmos_M.html) (дата обращения: 15.02.2022).

140. Шимкович Д.Г. Femap&Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 700 с.

141. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran [Текст]: [для Windows XP/Vista/7] / С.П. Рычков. – Москва: ДМК пресс, 2013. – 783 с.

142. APM Win Machine [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apm.ru/apm-winmachine> (дата обращения: 15.02.2022).

143. ГОСТ 32579.1-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования

расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения.

144. ГОСТ 1575-87 Краны грузоподъемные Ряды основных параметров.
145. Путь и путевое хозяйство железных дорог США. Справочник: Пер. с англ./ Под ред. С.И. Финицкого, И.А. Недорезова, М.: Транспорт, 1987, – 2016 с.
146. Строительство и содержание железнодорожных путей: Каталог фирмы Geismar. Издание RU 02-07/2012. – 100 с.
147. Каталог навесного оборудования для экскаваторов KGT [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://geismar.ru/d/1786467/d/katalog\\_navesnogo\\_oborudovaniya\\_dlya\\_kgt.pdf](http://geismar.ru/d/1786467/d/katalog_navesnogo_oborudovaniya_dlya_kgt.pdf) (дата обращения: 25.02.2022).
148. Rail Carrying Roller Tongs [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.robel.com/en/machinery-tools/information/rail-carrying-roller-tongs/> (дата обращения: 25.02.2022).
149. Роликовый захват для рельсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zmj.pl/ru/oferta/dla-kolei/chwytak-rolkowy-do-szyn/> (дата обращения: 25.02.2022).
150. Эргашев У.Э. Двойной роликовый рельсовый захват [Текст] / У.Э. Эргашев // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 3. – С. 37-39.
151. Совершенствование технологии укладки бесстыкового пути на участках скоростного и высокоскоростного движения поездов. Отчет о НИР (промежуточ.) / Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ); Руководитель А.Ф. Расулев. – Т., 2018. – 159 с.
152. Технологические процессы ремонта бесстыкового пути на железобетонных шпалах. Утв. ГУП МПС. – М.: Транспорт, - 1973. – 320 с.
153. 800 meters of track distressed in 2,5 hours [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pandrol.com/ru/800-meters-of-track-distressed/> (дата обращения: 23.02.2022).
154. Исследование работы бесстыкового пути в условиях АО «УТЙ». Отчет о НИР (промежуточ.) / Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ); Руководитель К.С. Лесов. – Т., 2017. – 194 с.
155. Экономика путевого хозяйства [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. трансп.

/ В.Я. Шульга, В.И. Ангелейко, А.А. Комаров и др. Под ред. В.Я. Шульги. – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.

156. Методические рекомендации по определению экономического эффекта в путевом хозяйстве при внедрении ресурсосберегающие технологии содержания и ремонта пути / Утв. МПС №А-105у от 03.02.1995 г. // Путь и путевое хозяйство. – 1995. - №6. – С. 6-10.

157. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005634> (дата обращения: 23.02.2022).

158. Гогричиани, Г.В. Объективное определение по результатам сравнений (испытаний) перспективного объекта при неограниченном множестве рассматриваемых противоречивых критериев [Текст] / Г.В. Гогричиани // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2006. – № 6. – С. 14-15.

159. Измайкова, А.В. Экономическая оценка перспективных инновационных проектов в сфере железнодорожного транспорта [Текст] / А.В. Измайкова // Экономика железных дорог. – 2015. – № 12. – С. 44-54.

160. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001719> (дата обращения: 23.02.2022).

161. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте [Текст]: Учебное пособие / Б.А. Волков и др.. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 152 с.

162. Ильиных, А.С. Оценка эффективности применения инновационной путевой техники при ремонте и содержании железнодорожного пути [Текст] / А.С. Ильиных, Г.Г. Ядрошникова, М.С. Галай // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3(42). – С. 19-25.

163. Расчеты экономической эффективности применения машин в строительстве [Текст] / Под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. С.Е. Канторера. –

Москва: Стройиздат, 1972. – 487 с.

164. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – Минск: Полымя, 1979. – 144 с.

165. Мальцев, А.П. Разрядка температурных напряжений в плетях с применением устройства УГ70/400 [Текст] / А.П. Мальцев // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 10. – С. 20-23.





"O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI" AJ  
YO'L XO'JALIGI BOSHQARMASI

100000, Toshkent, T. Nisoviyonlik ko'chasi 7-uy  
Tel: +998 71 238 87 87, Fax: +998 71 237 98 05



20 22 y. 29 09

№ 2143-П

### Справка

Об использовании результатов диссертационной работы Эргашева Улугбека Эркинжон угли на тему «Особенности укладки сварных рельсовых плетей бесстыкового пути с применением технологической оснастки навесного типа» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.2 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Результаты, полученные в ходе работы над диссертацией по теме «Особенности укладки сварных рельсовых плетей бесстыкового пути с применением технологической оснастки навесного типа» У.Э. Эргашевым представляют практический интерес для путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари».

Разработанные в диссертационном исследовании У.Э. Эргашева, научно обоснованные технические и технологические решения в области укладки бесстыкового пути можно использовать для решения одной из важнейших задач путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари» при переходе на рельсовые плети повышенной длины.

Заместитель начальника  
Управления путевого хозяйства  
АО «Узбекистон темир йуллари»  
по вопросам инновационного и  
технического развития



Ортикбоев М.А.