

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ» МГУПС (МИИТ)**

На правах рукописи

ВОРОНИНА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА

**РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ,
ИХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ**

Специальность 07.00.10 – История науки и техники

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – д.и.н., профессор В.Н. Тарасова

Москва 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ КОЛЕЙНЫХ ДОРОГ	13
1.1. Создание деревянных лежней и железных рельсов в период с середины XVI в. по 1788 г.	14
1.2. Совершенствование конструкции рельса в 1789 г. – 1865 г.	20
1.3. Изменение основных геометрических параметров рельсов в 1866 – 1902 гг.	24
1.4. Стандартизация геометрии рельсов и материалов в 1903 – 1946 гг.	31
1.5. Совершенствование геометрии профиля рельса в период с 1947 г. по начало XXI в.	35
1.6. Выводы	42
2. ПОСТАВКА РЕЛЬСОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	44
2.1. Выпуск рельсов в период с 1830-х по 1865 гг.	44
2.2. Выпуск рельсов в 1866 – 1902 гг.	52
2.3. Выпуск рельсов в 1903 – 1946 гг.	63
2.4. Выпуск рельсов в 1947 – 2011 гг.	68
2.5. Выводы	77
3. ИСТОРИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВ	79
3.1. Использование передовых технологий для изготовлений металлических рельсов в XVIII – первой половине XIX вв.	79
3.2. Разработка технологии производства и термообработки рельсов в период с 1866 г. до начала XX в.	81
3.3. Применение стандартов и технологий на изготовление рельсовой стали в первой половине XX в.	85
3.3.1. Разработка стандартов на химический состав рельсовой стали	85

3.3.2. Организация упрочняющей термической обработки рельсов	88
3.4. Совершенствование государственных стандартов на изготовление рельсов в период с 1947 г. до начала XXI в.	90
3.4.1. Внедрение новой технологии производства рельсов.....	91
3.4.2. Основные требования, предъявляемые к рельсам по условиям современной и перспективной эксплуатации.....	95
3.4.3. Формирование специальных требований к рельсам	102
3.4.4. Применение упрочняющей термической обработки новых рельсов	103
3.5. Выводы.....	107
4. ИСТОРИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТЫКОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ И СОЕДИНЕНИЙ СВАРКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	109
4.1. Современные виды и способы соединений рельсов	109
4.1.1. Болтовые и сварные (неразъёмные) соединения рельсов.....	109
4.1.2. История разработки инновационных технологий для разных способов сварки рельсов	114
4.2. Преимущества и недостатки бесстыкового пути и способов его получения в современных условиях	125
4.2.1. Влияние внешних условий на сохранение работоспособности железнодорожного пути	128
4.2.2. Описание процесса алюминотермитной сварки.....	129
4.3. Разработка оборудования и проведение эксперимента по алюминотермитной сварке рельсов	134
4.3.1. Создание элементов многопламенной горелки для предварительного подогрева концов рельсов и её испытания.....	134
4.3.2. Организация испытания разработанной горелки и экспериментального определения температур при предварительном подогреве рельсов	136

4.3.3. Определение эффективной тепловой мощности пламени горелки при предварительном подогреве.....	139
4.4. Численный анализ температурных полей и скоростей охлаждения при алюминотермитной сварке рельсов	143
4.5. Особенности распределения температур и скоростей охлаждения по длине рельса при их алюминотермитной сварке.....	152
4.6. Перспективы использования алюминотермитной сварки для получения бесстыковых соединений рельсов.....	155
4.7. Основные результаты и выводы.....	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ А (Справочное) Основные показатели рельсов	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Основное) Типы рельсов 1926 г.	213
ПРИЛОЖЕНИЕ В (Справочное) Ответы председателю рельсовой комиссии	218
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (Справочное) Справка о внедрении	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (Справочное) Технология алюминотермитной сварки и оборудование для неё	224

ВВЕДЕНИЕ

В России транспорт является важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктур. Железнодорожный транспорт является одним из основных видов транспорта, обеспечивая более 43% грузоперевозок в стране (без учёта трубопроводного транспорта – 85%) и около 30% пассажирооборота [1, с. 1; 2; 3, с. 8]. На начало 2012 г. эксплуатационная длина железных дорог общего пользования составляла 86 тыс. км, путей промышленного железнодорожного транспорта - 38 тыс. км [4, с. 18; 5, с. 197].

Первые отечественные железные дороги, возведённые в середине XIX в., показали возможность перевозки пассажиров и грузов за меньший промежуток времени и с большим комфортом по сравнению с гужевым транспортом. Поэтому железнодорожный транспорт стал интенсивно развиваться для удовлетворения потребности населения в перемещении, а также своевременной доставки грузов, необходимых для развития экономики страны.

Актуальность темы.

Железнодорожный путь является важным и ответственным элементом перевозочного процесса. Наибольшее влияние на его качество, безопасность и комфортность перевозки грузов и пассажиров оказывает верхнее строение пути, особенно, его основной элемент – железнодорожные рельсы (далее – рельсы). Повреждение рельсов может привести к снижению скорости движения и даже остановке подвижного состава, что приведёт к нарушению графика движения поездов, а также аварии или крушению и сопровождается экономическими потерями и человеческими жертвами. В связи с этим в ходе эксплуатации железнодорожного пути к качеству рельсов предъявляются высокие требования.

Для улучшения плавности хода вагонов при перемещении грузов и пассажиров с использованием железнодорожного транспорта разработаны специальные стали для изготовления рельсов, проводится их упрочнение с помощью термической обработки с одновременным увеличением их длины при прокатке и создании бесстыкового пути за счёт сварки отдельных рельсов в плети длиной до 800 м. Анализ техно-

логий контактной и алюминотермитной сварки рельсов между собой в стыках показывает их преимущества при создании бесстыкового пути, в ходе ремонтов и проведении восстановительных работ.

Это придаёт этим технологиям, по сравнению с другими способами, востребованность и конкурентоспособность. В связи с этим изучение и обобщение опыта становления и развития конструкций рельсов, их стыковых соединений и технологий обработки в историко-техническом аспекте являются важными и актуальными для организации, повышения качества и ускорения темпов проведения ремонтно-восстановительных работ круглогодично.

Степень разработанности темы. В изученной в ходе исследования литературе содержатся сведения по истории развития железнодорожного пути и рельсопрокатного производства, рассматриваются виды рельсовых скреплений, их технические характеристики, в том числе при скоростном движении поездов.

В работах Г.С. Альтшуллера [6, с. 133], О.Д. Симоненко [7, с. 101-102] и других ученых раскрыты законы развития технических объектов и систем применительно к истории техники.

Э.В. Воробьев, М.И. Воронин, М.М. Воронина, Н.А. Зензинов, И.И. Кантор, С.П. Першин и другие ученые исследовали процесс развития отечественного железнодорожного транспорта [25, 46, 90].

В публикациях XIX в. М.В. Аничкова, А.Г. Славянова, Ф. Энрольда и других ученых [8 – 15] рассматривается геометрия профиля рельсов. А.П. Кеппен, В.Н. Кислянский, К. Тышка и другие ученые [14, 16, 17] изучали химический состав рельсовой стали.

История разработки стандартов на рельсы отражена в исследованиях Л. Любимова, К.А. Оппенгейма и других учёных [9, 18].

К началу XX в. С. Бирман, И. Ваттман и другие ученые [19] разработали научные основы создания бесстыкового пути. Дальнейшее развитие бесстыкового пути рассмотрено в работах Г.Е. Андреева, Т.А. Лapidуса, Мищенко К.Н. и других ученых [20 – 22]. Технологические основы путевого хозяйства разрабатывали В.Г. Альбрехт, Е.М. Бромберг, Н.П. Виногородов, Н.Б. Зверев, И.И. Кантор,

А.Я Коган, В.И. Новакович, Н.С. Чирков; экономические основы - В.Я. Шульга и другие учёные [23 – 26].

Стыковыми соединениями рельсов занимались В.М. Афанасьев, Н.М. Воронцов, И.С. Гринь, И.И. Евдокимов-Рокотовский, К.И. Красиков, И.Б. Лехно, А.И. Ольденборгер и другие ученые [27 – 29]. Способы сварки рельсов и оборудование для них разрабатывали Т.А. Владимирский, И.З. Генкин, Д.Л. Глизманенко, Г. Гольдшмидт, М.А. Карасев и другие ученые [30 – 34].

В трудах А.В. Великанова, И.З. Генкина, А.Ф. Золотарского, Л.П. Мелентьева, Я.Р. Раузина, О.С. Скворцова, Е.А. Шура и других ученых [35 – 37] были проанализированы технологические процессы термического упрочнения рельсов. Вопросами повышения качества рельсов и рельсовой стали также занимались В.Е. Громов, Н.А. Козырев, Н.М. Кулагин, С.М. Кулаков и другие ученые [38 – 44].

Во второй половине XX в. С.В. Амелин, В.В. Ершов, Д. Игнятич, С.П. Першин, Г.М. Шахунянц и другие учёные [45 – 49] исследовали напряжённо-деформируемое состояние пути.

Тенденции развития рельсового пути в постсоветский период, применение высокотехнологичных систем в его конструкции также изучались в ходе исследования по отраслевым газетам и журналам.

Анализ историографии показал недостаточную проработанность исследуемых в диссертации вопросов, поэтому автор обратился к следующим источникам: документам фондов Российского государственного архива экономики (РГАЭ), Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г., в том числе действующему документу и проекту; Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации» до 2030 г., Стратегическим направлениям научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. (Белая книга ОАО «РЖД»), Программе инновационного развития ОАО «РЖД» до 2015 г., Государственной программе «Развитие транспортной системы» (2010-2020) на 2013 – 2020 годы и др. [1 – 5].

Цель диссертации – проведение историко-технического анализа конструкций

рельсов, их стыковых соединений и термической обработки с конца XVIII в. (колейных дорог – с середины XVI в.) по начало XXI в. с воссозданием целостной исторической картины их развития в рассматриваемый период..

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- собрать, систематизировать и обобщить фактический материал, относящийся к теме исследования;
- на основе обобщения историко-технического материала воссоздать целостную историческую картину развития конструкций колеиных дорог, поставки рельсов для строительства железных дорог в России, развития и совершенствования химического состава, термической обработки и стыковых соединений рельсов;
- выявить и ввести в научный оборот новые данные, проследить зарождение элементов современной техники и технологий в изучаемый период, оценить вклад учёных, инженеров, проектировщиков, обеспечивших успешное решение исследуемых задач;
- разработать научно-обоснованную периодизацию истории развития исследуемых объектов, предложить и обосновать технические решения по дальнейшему развитию стыковых соединений железнодорожных рельсов.

Объектом исследования является железнодорожный путь в России с конца XVIII в. по начало XXI в.

В качестве **предмета исследования** рассмотрены конструктивные изменения рельсов для обеспечения движения по ним подвижного состава, повышения надёжности и комфортности перевозки пассажиров и грузов в зависимости от качества металла рельсов и способов его технологической обработки, а также этапов строительства железнодорожного пути в дореволюционный, советский и постсоветский периоды. Особое внимание уделено бесстыковому пути в современных условиях.

Научная новизна диссертации заключается в том, что на основе системного подхода впервые проведён комплексный историко-технический анализ и воссоздана целостная историческая картина развития процессов конструктивных изме-

нений железнодорожных рельсов, их стыковых соединений и технологий обработки, в том числе:

- установлена периодизация развития конструкций колеиных дорог на основе выявленных изменений в геометрии профиля рельса, что подтверждалось нормативами стандартов;
- проведена оценка влияния государственной научно-технической политики, политической и экономической конъюнктуры в области строительства железных дорог на объёмы выпуска рельсов;
- систематизированы технологии совершенствования химического состава и способов термической обработки рельсов в зависимости от регламентации технических условий и прочностных характеристик рельсовой стали на основе унификации стандартов, механических свойств и износостойкости рельсов с целью повышения скоростей движения, комфорта пассажиров и увеличения нагрузок на ось;
- классифицированы способы стыковых соединений рельсов в зависимости от возникающих требований к рельсовому пути и уровня научно-технического развития отрасли;
- теоретически и экспериментально обоснована перспективность и возможность сварки рельсов в зимний период алюминотермитным способом, определён перечень дополнительного оборудования и обоснованы необходимые условия для реализации технологического процесса.

Теоретическая значимость исследования внешних и внутренних закономерностей развития техники на примере анализа конструкций железнодорожных рельсов, их выпуска, стыковых соединений, совершенствования химического состава и термической обработки заключается в формировании методологической базы для определения места и включенности техники исследуемой области в социально-экономические процессы, её устройства и потенциала.

Практическая значимость работы определяется изготовлением, апробированием опытного образца горелки для подогрева концов рельсов, свариваемых алюминотермитным способом, и разработкой «Способа алюминотермитной свар-

ки рельсов при отрицательных температурах», защищённого патентом РФ № 2464141. Результаты исследования используются в ходе преподавания курсов «История науки и техники» для студентов направления «Инноватика», курсовом и дипломном проектировании – для студентов инженерных механических специальностей МГУПС (МИИТ); обучения и переаттестации сварщиков, повышения квалификации инженерно-технических кадров; создания работ по истории железнодорожного транспорта [50–55].

Методология и методы исследования. Исследование выполнено в соответствии с законом прогрессивной конструктивной эволюции технических объектов и законом согласования – рассогласования технических систем с использованием компьютерного моделирования на основе аналитических и численных методов в линейной и нелинейной постановках на примере определения тепловых процессов и скоростей охлаждения при алюминотермитной сварке рельсов.

Личный вклад автора состоит в:

- выявлении критериев, в соответствии с которыми структурированы и исследованы изменения в развитии конструкций колеиных дорог с середины XVI в. по начало XXI в.;
- определении количественных показателей динамики выпуска и поставки рельсов во взаимосвязи с потребностями железных дорог;
- оценке влияния совершенствования технических средств железнодорожного транспорта на развитие и совершенствование химического состава и способов термической обработки рельсов с конца XVIII в. по начало XXI в.
- определении необходимости применения различных способов стыковых соединений в зависимости от мест их нахождения в рельсовой колее;
- разработке и обосновании технологии стыкового соединения рельсов термитной сваркой в зимний период.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

- сопряжение хронологически воссозданного процесса развития конструкций колеиных дорог с середины XVI в. по настоящее время достигается логикой исторических сдвигов, вызванных изменением геометрии конструкции рельсов;

- внешние закономерности развития техники проявились путем влияния социальных аспектов на выпуск рельсов в России с конца 1830-х гг. по начало XXI в.;

- внутренние закономерности развития техники определяются процессами динамики технических, технологических и функциональных параметров технологий изготовления рельсов с конца XVIII в. по начало XXI в.;

- обоснована необходимость использования в настоящее время различных способов соединения рельсов между собой;

- разработанная технология стыкового соединения рельсов при отрицательных температурах, обеспечивающая прочность и пластичность сварного стыка.

Достоверность результатов обеспечивается комплексным использованием методов исследований, представительностью исходных данных, необходимым и достаточным объёмом теоретических исследований, лабораторных, опытных и опытно-промышленных экспериментов, высокой сходимостью их результатов, а также реализацией теоретических положений на практике.

Апробация и внедрение результатов работы. Основные положения и выводы по диссертации докладывались и получили положительную оценку на международных и российских научно-технических конференциях: «Участие молодых учёных, инженеров и педагогов в разработке и реализации инновационных технологий» (2003 г., г. Москва)[56], «Образование, наука, производство» (2004 г. г. Белгород)[50], «Безопасность движения поездов» (2005 – 2013 г., г. Москва)[57 – 62], «Вузы-наука-город» (2005 г., г. Москва)[63], «Наука – транспорту» (2003 – 2013 гг., г. Москва)[51, 64 – 73], «Trans-Mech-Art» (2006 г., г. Москва)[74], «Управление инновациями: теория, инструменты, кадры» (2009 г., г. Санкт-Петербург)[55].

Публикации. Автор имеет 41 публикацию, из них основных по теме диссертации – 15, общим объёмом 7 п.л. (из которых авторский вклад – 4,6), в том числе 5 статей в научных журналах, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций; выдан один патент на способ алюминотермитной сварки, 10 работ

опубликовано в трудах всероссийских, международных и научно-практических конференций.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Общий объём работы 228 страниц, 31 таблица и 72 рисунка.

1. ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ КОЛЕЙНЫХ ДОРОГ

Железнодорожный путь является сложным сооружением, обеспечивающим перевозку грузов большой массы на значительные расстояния при достаточно высоких скоростях движения, поэтому к нему предъявляются жёсткие требования по прочности, надёжности и безопасности движения поездов. Одним из основных элементов железнодорожного пути являются рельсы. В зависимости от предъявляемых требований к перевозочному процессу менялись стандарты на производство рельсов и других элементов, эксплуатацию пути [75].

С точки зрения процессов формирования и развития научно-технического прогресса в рамках периодизации общемировой экономики и отдельных стран в истории развития российских железных дорог выделяют шесть этапов:

1. 1825 – 1860 гг. – начальный период строительства и эксплуатации железных дорог;
2. 1860 – 1913 гг. – усиление роли предпринимательства и частного капитала в сооружении и эксплуатации железных дорог;
3. 1913 – 1950 гг. – концентрация грузовых и пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте;
4. 1950 – 1970 гг. – реорганизация железнодорожного дела, формирование новых видов железнодорожных перевозок, обострение конкуренции между видами транспорта;
5. 1970 – 1992 гг. – рост грузонапряжённости железных дорог;
6. 1992 – по настоящее время – развитие железнодорожного транспорта в России и бывших союзных республиках [76, с. 206].

Автором исследования была разработана периодизация разработки конструкций колеиных дорог от лежней до рельсов, которая не совпадает с периодизацией истории российских железных дорог, описанной выше. В её основе – установление влияния химического состава материала на эксплуатационные свойства

рельсов, и геометрии профиля - на конструкцию рельсов, что находило отражение в технических характеристиках их стандартов.

I. середина XVI в. – 1788 г. – создание деревянных лежней и железных рельсов;

II. 1789 г. – 1865 г. – появление чугунных рельсов с явно выраженной головкой и шейкой;

III. 1866 г. – 1903 г. – создание стальных рельсов и выделение казённых типов рельсов;

IV. 1903 г. – 1947 г. – стандартизация химического состава материала и геометрии профиля рельсов;

V. 1947 г. – начало XXI в. – совершенствование современной конструкции рельсов и технологии их изготовления [77, с. 176].

1.1. Создание деревянных лежней и железных рельсов в период с середины XVI в. по 1788 г.

Идея лежневых дорог зародилась давно. В Древнем Египте пользовались балками для перевозки тяжёлых грузов на строительстве пирамид. Рудники средневековья часто обслуживались искусственными колейными дорогами.

С XIII в. лежневые дороги применяли на многих рудниках и шахтах (рисунок 1), а также при строительстве военных укреплений. Первоначально тележки перемещали вручную, позднее стали впрягать лошадь [78, с. 210].

В первой половине XVI в. в рудниках немецких государств использовали лежневые дороги без металлического покрытия. Во второй половине XVI в. этот тип дорог был предложен немецкими специалистами в Англии, т.к. увеличение торговых оборотов страны требовало дальнейшего усовершенствования путей сообщения.

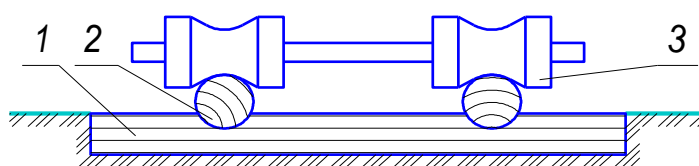


**Рисунок 1 – Лежневая дорога
в средневековой шахте**

В тот период рудники располагались недалеко от судоходных рек, по которым уголь транспортировался к морским портам, а затем морским путём грузы направлялись для продажи в заокеанские страны. Для перевозки угля из рудников к речным пристаням требовался сухопутный транспорт.

В целях облегчения передвижения и воспрепятствования втапливания в грунт колёс вагонов прокладывались деревянные «поперечины». Такие дороги давали возможность легко перевозить уголь из рудников до места погрузки на суда [78, с. 210].

Лежневая дорога – колея из выступающих или врытых вровень с грунтом деревянных продольных брусьев. Исследование данного типа дороги дало возможность получить представление о целесообразности конструкции, состоящей из продольных несущих лежней и поперечин, удерживающих лежни на нужном расстоянии друг от друга, связи этого расстояния с шириной хода тележки и необходимости разработки конструктивных мер для надёжного удержания её в колее. Сход тележек с лежневых дорог предотвращал направляющий стержень, укреплённый в нижней части тележки и входивший в промежуток между лежнями. Затем стали укладывать лежни, которые имели скруглённую форму, а на колёсах тележек появились желоба (рисунок 2) [77, с. 177; 78, с. 210]. Лежни не только служили направляющими, но и воспринимали основную нагрузку [78, с. 210].



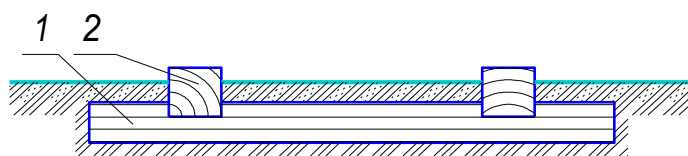
1 – поперечный брус; 2 – лежень; 3 – пара колёс с желобами

Рисунок 2 – Лежни круглого сечения

Развитие капитализма требовало усовершенствования путей сообщения. В 1630 г. в угольных копях Нью-Кэстля на реке Тайн (Северная Англия) Бономом¹ была построена лежневая дорога с продольными лежнями прямоугольного сечения (рисунок 3) [77, с. 177; 79].

¹ Имя автора найти не представляется возможным.

а)



б)



а) макет, б) схема

1 – поперечный брус; 2 – лежень

Рисунок 3 – Лежни прямоугольного сечения без покрытия

Она состояла из деревянных продольных брусьев, связанных между собой поперечными досками через каждые 0,6 м. Промежутки между брусьями засыпались балластом из щебня или гравия. Данный тип дороги оснащался простейшими стрелочными переводами. Ширина колеи соответствовала ходу обыкновенной телеги. Повозки с грузом передвигались при помощи конной тяги по продольным брусьям. Продольные лежни типа Бонома быстро изнашивались, поэтому была создана усиленная деревянно-лежневая дорога [45, с. 7; 46, с. 63].

Сначала изношенные брусья обшивались сверху досками, а в дальнейшем продольные брусья начали покрывать сверху железными полосами или строить так называемую колею с бортами [45, с. 7; 46, с. 64].

Появление металлических колеи часто объясняют стремлением защитить деревянные элементы от непосредственного воздействия колёс и износа. Достигавшееся на металлической колее уменьшение сопротивления движению было замечено случайно.

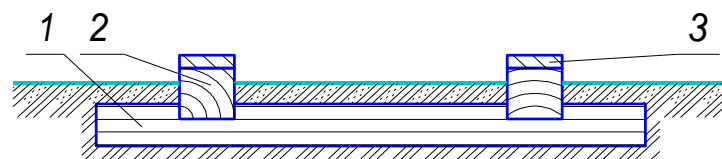
В 1767 г., в связи с перепроизводством металла, на заводе в Коулброукделе отлили из чугуна пластины сечением $11 \times 3,5$ см и длиной около 1,5 м с закраинами и разложили по проложенной колеино-лежневой дороге с конной тягой (рисунок 4) [46, с. 64; 77, с. 177; 80]. В дальнейшем чугун, уложенный на дороге, наме-

ревались переплавить и продать. Однако благодаря укладке чугунных полос на деревянные лежни была существенно сокращена потребность в лошадях. Также была найдена новая область использования металла [46, с. 64; 80].

а)



б)

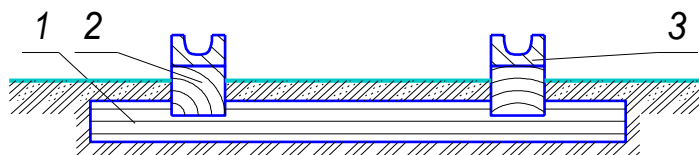


а) макет, б) схема

1 – поперечный брус; 2 – лежень; 3 – чугунная пластина

Рисунок 4 – Лежни прямоугольного сечения с металлическим покрытием

Благодаря металлическому покрытию были созданы условия для замены деревянных колёс курсирующих подвод более устойчивыми чугунными. Из-за плоского сечения железных полос возникали значительные неудобства: плоская поверхность катания быстро засорялась кусками груза, землёй, вылетающей из-под копыт лошадей, что создавало помехи в перевозках, а отсутствие закраин для удержания колёсной пары в колее могло приводить к сходу повозок. В 1767 г. владелец литейного предприятия Р. Рейнольдс из Коулброукделя изготовил особые желобчатые (или корытообразные) рельсы (рисунок 5) [46, с. 64; 77, с. 177] из чугуна для прикрытия деревянных продольных брусьев [46, с. 64].



1 – поперечный брус; 2 – лежень; 3 – корытообразный рельс Рейнольдса
Рисунок 5 – Лежни прямоугольного сечения
с корытообразными чугунными рельсами Рейнольдса

Рельсы Рейнольдса в поперечном сечении имели форму плоской латинской буквы «U». Своим жёлобом кверху рельсы пришивались к продольным деревянным брусам тремя гвоздями. Желобчатые углубления служили направляющими для колёсных ободьев. Этот тип рельса значительно уменьшал сопротивление движению, но не гарантировал защиты от схода колёс из-за низких краев желоба и трудности его содержания в чистоте [46, с. 64]. Видимо, эту конструкцию можно считать первыми железными рельсами.

В 1776 г. для строительства новой железной дороги на угольных копях в Шеффилде Дж. Керр предложил применить чугунные рельсы угловой формы (рисунок 6)[46, с. 64; 77, с. 177; 81]. Уголок первоначально прикреплялся к продольным деревянным лежням. Затем рельсы начали укладывать на деревянных поперечинах или на отдельных каменных опорах. Конструкция настолько снижала трудозатраты, что возчики руды, опасаясь разорения, разрушили эту рельсовую дорогу. Дороги с уголковыми рельсами предназначались для обычных экипажей, имевших колеса с ровными ободьями [45, с. 7; 46, с. 64; 81 – 83].

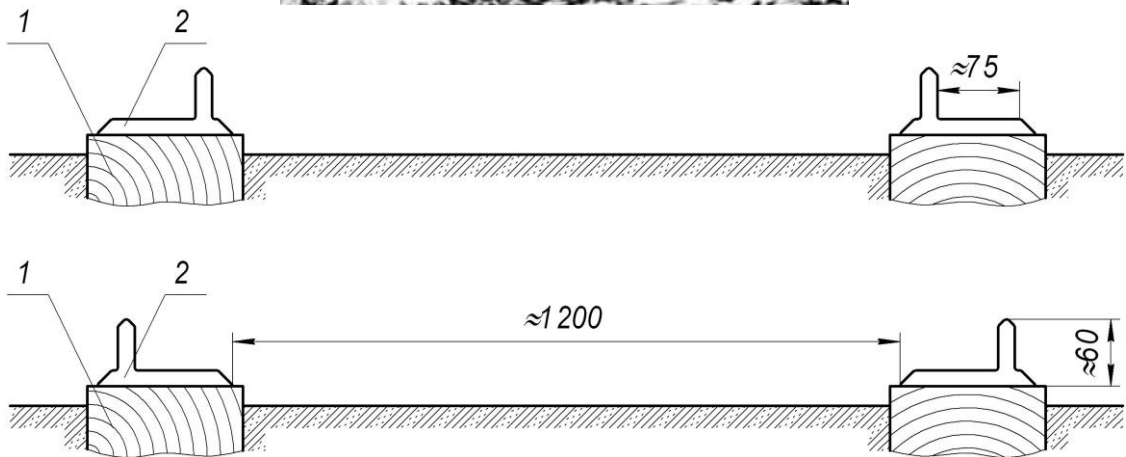
а)



б)



в)



а) макет, б) гравюра, в) схема

1 – лежень; 2 – чугунная пластина

Рисунок 6 – Чугунные рельсы уголкового

В 1788 г. в Петрозаводске на Александровском заводе (в настоящее время Онежский тракторный завод) была построена одна из первых чугунных дорог с уголковыми рельсами под руководством А.С. Ярцева, при участии Ч. Гайскона и А.Ф. Дерябина. Единой транспортной линией были связаны доменный, сверлильный и расточной цеха пушечного завода. Длина её составляла около 173,5 м, с

шириной колеи около 0,8 м. Движение по этому пути было в 10-12 раз легче, чем по обыкновенным грунтовыми дорогам [84; 85, с. 31].

Конструкция рельса уголкового сечения гарантировала защиту от схода повозок, но сохраняла проблему засорения. Для устранения этого недостатка была разработана конструкция высоких рельсов, которые требовали специального подвижного состава с ребордчатыми колёсами.

Установлено, что прототипом современных железнодорожных путей явились деревянные лежневые дороги, предотвращавшие погружение колёс тяжело нагруженных повозок в грунт и позволявшие бесперебойно перемещать добываемую руду, каменный уголь и т.п.

В результате эксплуатации лежневых дорог со специальными элементами было выявлено, что металлические (чугунные) пластины, прикреплённые к верхней стороне лежней, уменьшали сопротивление движению, продлевали сроки службы лежневых дорог, давали возможность использовать на повозках металлические колеса вместо деревянных и значительно повышали производительность труда.

Уголкового и корытообразной конструкции накладок обладали более высокой сопротивляемостью сходу колёс с пути.

Таким образом, в XVI-XVIII вв. благодаря строительству новых колеиных дорог появилась возможность перемещать более массивные грузы с меньшими затратами круглый год.

1.2. Совершенствование конструкции рельса в 1789 г. – 1865 г.

В. Джессоп разработал конструкцию грибовидных рельсов (рисунок 7) [46, с. 64; 77, с. 177], которые были уложены в Англии в 1789 г. Рельс имел явно выраженную головку с вертикальным ребром внизу, которое переходило в шейку, снабжённую зачатком подошвы на концах рельса – в местах его опирания. Подошва выполнялась в виде прилитых проушин с отверстиями, через которые рельс штырями соединялся с опорами. Рельсы Джессопа прокладывались на каменных опорах. Новый рельс, ширина поверхности катания которого составляла

44,5 мм, имел длину от 914 до 1219 мм и высоту 95 мм. Благодаря этим техническим характеристикам рельс стал более надёжным с точки зрения безопасности движения. Другим преимуществом изобретения Джессопа была самоочистка рельса. Грязь и посторонние предметы скатывались с поверхности рельса, что позволяло избегать его забивания [45, с. 7, 46, с. 65; 86].

Из-за значительного количества стыковых соединений путь в целом был недостаточно прочным и надёжным. Из-за хрупкости чугуна высокие рельсы часто ломались. Поэтому в начале XIX в. в Англии на наиболее крупных дорогах предпочитали укладывать уголкового рельсы на деревянных лежнях [46].

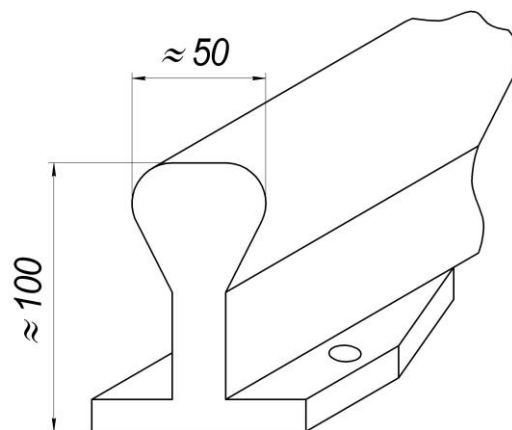


Рисунок 7 – Грибовидный высокий железный рельс

В России первая конно-чугунная дорога с выпуклыми рельсами была построена П.К. Фроловым на Змеиногорском руднике Колывано-Воскресенских заводов на Алтае в 1806 – 1809 гг. Протяжённость железной дороги составляла около 2 км. По этой дороге лошадь могла везти груз в 25 раз больший, чем по грунтовой дороге [87; 88, с 606].

Чугунные рельсы неоднократно пытались усовершенствовать. С 1779 г. начали изготавливать рельсы с переменной высотой ребра, достигая очертания балки равного сопротивления. Такие рельсы напоминали современникам рыбу и нередко упоминались в литературе под названием рельсов с «рыбьим брюхом» [46, с. 66].

Изобретение в 1820 г. Дж. Биркиншоу (Англия) способа профильной прокатки железа позволило увеличить длину рельсов примерно в 4 раза. Вначале прокатные железные рельсы прикреплялись к подушкам старых конструкций и, в местах опор, приходилось вырезать часть ребра, придавая рельсу в каждом пролёте форму балки равного сопротивления. Такие «волнистые» рельсы (рисунок 8) [46, с. 66] были уложены в Англии на первых железных дорогах общего пользования с

паровой тягой. Из-за дороговизны обработки от «волнистых» рельсов отказались [89].

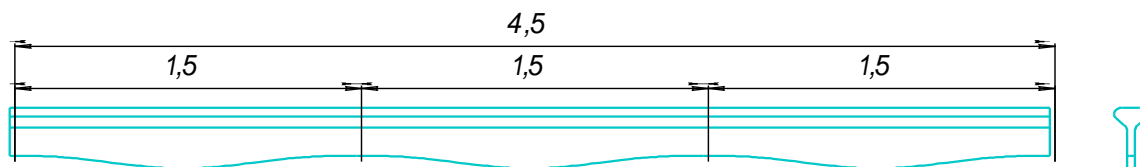


Рисунок 8 – Железные «волнистые» рельсы

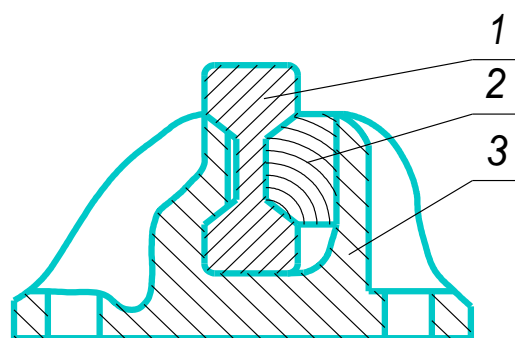
Благодаря появлению паровой тяги и интенсивному развитию паровозостроения была увеличена нагрузка на ось, изменились характер и условия работы рельса, выбор его профиля и размеров, что привело к новому витку развития конструкции.

Рельс можно представить как балку, лежащую на многих опорах. Лучшая форма балки, работающей на изгиб, – двутавр – была положена в основу поперечного профиля рельса [49].

Поскольку поверхность катания рельса при изгибе работает не только на сжатие, но и на износ (истирание), целесообразно в верхней полке двутавра сосредоточить больше материала (с запасом на износ), чем в нижней.

Стремление использовать нижнюю полку двутавра в качестве головки после того, как верхняя изнашивается, привело к созданию двухголового рельса (рисунок 9) [45, с. 9; 49, с. 13-17; 77, с. 177].

Предложенный в 1835 г. в Англии инженером Локке¹, он применялся Дж. Стефенсоном при постройке первых английских железных дорог и известен в литературе как стефенсоновский. Однако идея использования нижней головки не



**1 – двухголовый рельс; 2 – деревянный клин;
3 – опорный стул**
Рисунок 9 – Двухголовый рельс

¹ Имя найти не представляется возможным.

могла быть реализована, так как с износом верхней головки в местах опирания возникали вмятины. Для укладки двухголовых рельсов требовались громоздкие чугунные или стальные опорные стулья массой 30 кг и более. Протяжённость железных дорог с двухголовыми рельсами незначительна, в основном они были построены в Англии. После Второй Мировой войны в Англии, в основном, отказались от двухголовых рельсов. В России двухголовые рельсы использовались при строительстве Царскосельской железной дороги [45, с. 9; 49, с. 13-17].

Возникновение широкоподошвенного рельса (рисунок 10)[41, с. 177] было обусловлено стремлением упростить способ укладки рельсов. Такой рельс был предложен американцем Р. Стивенсом в 1830 г. С 1832 г. Рельс данной конструкции стал применяться в Англии благодаря Ч.Б. Виньолю, получив широкое распространение в Европе под названием виньолевского [45, с. 9, 49, с. 13].

Широкоподошвенный рельс состоит из трёх основных частей: головки (1), подошвы (3) и соединительной шейки (2). Распределение площади по профилю рельса

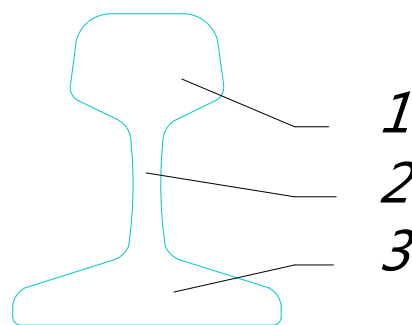


Рисунок 10 – Профиль широкоподошвенного рельса

позволяет всесторонне использовать преимущества двутавра, как балочной конструкции. Подошва позволила укладывать рельсы непосредственно на шпалы, без применения специальных «подушек».

С широкоподошвенными рельсами вошли в практику и стыковые накладки, впервые применённые в 1838 г., но не с исходными виньолевскими рельсами. В своей исходной форме они не допускали накладочно-болтового соединения, так как не имели шейки достаточной высоты [46, с. 67].

Таким образом, в 1789 – 1865 гг., были внедрены конструкции рельсов «таврового профиля» – грибовидный рельс и «двутаврового профиля» – двухголовый и широкоподошвенный рельсы. Использование чугуна, как основного материала, позволило получить современную конструкцию пути – рельс, уложенный на шпа-

лы. В процессе эксплуатации были выявлены преимущества широкоподошвенных рельсов.

1.3. Изменение основных геометрических параметров рельсов в 1866 – 1902 гг.

В 1866 г. на С.-Петербурго-Московской, С.-Петербурго-Варшавской и Нижегородской железных дорогах были проложены опытные участки, имевшие стальные рельсы [16, с. 70-71].

В ходе возведения С. -Петербурго-Московской железной дороги был принят виньольевский тип железных рельсов весом около 22 фунтов в погонном футе, примерно 30 кг в погонном метре, длиной 18 футов (5,4 м) [90, с. 48-49]. В дальнейшем был разработан новый тип рельса¹, имевший следующие параметры (таблица 1) [91].

Таблица 1 – Основные геометрические параметры рельса Николаевской железной дороги

Параметр	Значение
Высота рельса, мм	127
Высота головки, мм	47
Высота шейки, мм	50
Высота подошвы, мм	30
Ширина головки рельса, мм:	
Вверху	58
Внизу	55
Ширина подошвы, мм	102
Толщина шейки в средней части, мм	17

Видя перспективу развития железных дорог, предприниматели стали вкладывать частные капиталы в их строительство. Централизованных поставок рельсов не было, что привело к необходимости размещения заказов на их изготовление на различных заводах или приобретение за рубежом. Поэтому в ходе возведения частных железных дорог использовали различные типы рельсов из-за отсутствия стандартов.

¹ Материал и вес в источнике не указан. По геометрическим параметрам рельс близок к 24 типу, а по годам разработки в качестве материала должна была использоваться сталь.

16 июля 1874 г. Техническо-инспекторский комитет железных дорог России рекомендовал, а 11 сентября 1874 г. министр путей сообщения утвердил для укладки в путь, не зависимо от производителя, 7 типов рельсов – 3 железных и 4 стальных. Их параметры представлены в таблице 2, [10; 11, с. 291-322].

Таблица 2 – Основные геометрические параметры рельсов

Материал	Железо			Сталь			
	24	22	20	21 2/3	20	18 1/3	17
Масса 1 фута рельса, фунтов	24	22	20	21 2/3	20	18 1/3	17
Масса 1 м рельса, кг	32,244	29,557	26,870	29,109	26,870	24,631	22,840
Высота рельса, мм	120	114	108	114	108	102	100
Высота головки	30,25	28,5	26,75	26,75	25,25	23,75	22,5
Высота шейки	76	72	68	75	70,5	66	65,75
Высота подошвы	13,75	13,5	13,25	12,25	12,25	12,25	11,75
Ширина головки рельса, мм	54,5	52	49,5	56,5	54,5	52,5	50,5
Ширина подошвы, мм	100	95	95	95	95	90	90
Толщина шейки в средней части, мм	15	14	13	13	12	11	10
Площадь поперечного сечения, см ²	42	38,1	34,9	36,62	33,8	30,8	28,54
Распределение площади по профилю, %:	100	100	100	100	100	100	100
Головки	37,19	36,67	35,54	38,72	38,02	37,65	36,86
Шейки	33,20	32,87	31,99	32,89	31,45	30,44	30,38
Подошвы	29,60	30,46	32,47	28,39	30,53	31,92	32,76
Рассчитан по колёсным нагрузкам паровоза, тс [46]	6	5,75	5,25	7	6	5,75	5

Эти рельсы имели профили схожей геометрии: у всех семи типов боковые грани головки были расположены вертикально, а поверхность катания представляла собой комбинацию из трёх дуг. Однако размеры и другие параметры имели существенное отличие. Разница в высоте рельсов доходила до 20 %, высоте головок – до 30 %, толщине шейки и площади поперечного сечения – до 50 %; при этом масса одного погонного метра различалась более чем на 30 %.

В 1883 г. Варшавский сталелитейный завод выпускал 24 утверждённых типа стальных рельсов со следующими параметрами (таблица) [12]. Увеличение количества типов рельсов было необходимо для дорог с разной загруженностью и назначением. Так, например, типы №11 и 12 – рельсы Вильямса имели утолщённую шейку и использовались для стрелок. Типы №13–24 изготавливались для узкоколейных и рудничных дорог, №15 и 16 – желобчатые рельсы.

**Таблица 3 – Основные геометрические параметры рельсов
Варшавского сталелитейного завода**

Тип рельса	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Масса 1 фута рельса, фунтов	27,75	26	24	24,5	24,3	24,25	24	22,5
Масса 1 м рельса, кг	37,2822	34,9311	32,2441	32,9158	32,6471	32,58	32,2441	30,2288
Высота рельса, мм	125	123,8	127	127	127	127	119,25	119,25
Ширина головки рельса, мм	61			58	55		54,5	53,5
Ширина головки сверху, мм		58,7	57			57,15		
Ширина головки внизу, мм		меньше	меньше			меньше		
Ширина подошвы, мм	109	108	102	103	108	101,5	100	100
Толщина шейки в средней части, мм	15	12,7	12	12	12	12	14	12
Площадь поперечного сечения, см ²	47,43	42,6	42,39	42,1	41,55	41,45	41,03	38,46
Тип рельса	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15	№ 16
Масса 1 фута рельса, фунтов	22,5	20	34,5	33,1	15,5	14,2	15	13,03
Масса 1 м рельса, кг	30,2288	26,8701	46,3509	44,47	20,8243	19,0778	20,1526	17,5059
Высота рельса, мм	116,5	108	119,5	116,25	99,2	125	63	60
Ширина головки рельса, мм	56,5	54,5	53,5	56,5	47,6	36		
Ширина подошвы, мм	95	95	76,75	75,75	88,9	104		
Толщина шейки в средней части, мм	13	12	42	40	11,1	9		
Площадь поперечного сечения, см ²	38,46	34,19	58,5	56,75	27,17	24,22	25	20,5
Тип рельса	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24
Масса 1 фута рельса, фунтов	11	10	6	5	5,17	4	3,5	2,66
Масса 1 м рельса, кг	14,7785	13,435	8,06102	6,71752	6,94592	5,37402	4,70226	3,57372
Высота рельса, мм	91	76,5	57	57		51	48	41
Ширина головки рельса, мм	37,5	34	27	25,5	25	22	19,5	20
Ширина подошвы, мм	80	72,5	50	48	53,975	38	38	35
Толщина шейки в средней части, мм	6,5	8,5	7,5	6	4,7625	6,5	5	5
Площадь поперечного сечения, см ²	18,9	17,7	10,2	8,6	8,9	6,94	5,96	5

В 1894 г. Общество Брянского рельсопрокатного завода выпускало 20 различных типов рельсов, которые поставлялись на Рязанско-Козловскую, Варшаво-Венскую, Криворожскую (рельсы для стрелок), Варшавскую Конно-железную (п-образный профиль), Московско-Рязанскую и Ярославско-Вологодскую железные дороги, а также рельсы «правительственных» типов и типа «Главного Общества» [13].

Во второй половине XIX в., в ходе исследований геометрии поперечного профиля конструкции, материала и т.п. – наиболее перспективными были признаны рельсы, имевшие широкую подошву и явно выраженную головку. Вместе с тем, использование разных типов рельсов создавало значительные трудности в

эксплуатации железнодорожного полотна, так как при проведении ремонтных операций для замены отдельных рельсов, вышедших из строя, требовался аналог. Понимая опасность такого разнообразия, Министерство путей сообщения России (МПС) приняло решение не допускать к укладке неутверждённые типы рельсов [8, 9].

Заводы выпускали продукцию с геометрией профиля, отличавшейся друг от друга даже при изготовлении одного типа рельса, определявшегося весом погонного фута рельса в фунтах. Например, рельс 24 типа (весом 24 фунта в погонном футе, примерно 32,24 кг в погонном метре) использовался на железных дорогах России в 11 вариантах. В качестве материала применяли сталь и чугун (в то время называемый железом) (таблица 4) [10, с. 4; 14; 15, с. 32, 36, 45, 66, 72, 85, 129].

Таблица 4 – Геометрические параметры рельсов 24 типа

Материал	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	железо
Высота рельса, мм	119,25	119,25	119,25	119,25	121	122	122	122	126	127	120
Высота головки, мм	30,25	39,068	39	30,25	42,75	38,855	38,955	39,22	35,43	–	30,25
Высота шейки, мм	76	58,364	58,45	65,125	59	62,578	62,478	66,13	74,01	–	76
Высота подошвы, мм	13	21,818	21,8	23,875	19,25	20,567	20,567	20,65	17,56	–	13,75
Ширина головки рельса, мм	54,5	54,5	54,5	54,5	56,5	58	58	58	60	–	54,5
Ширина подошвы, мм	100	100	103	108	98	108	108	108	115	102	100
Толщина шейки в средней части, мм	14	15	14	14	13	12,5	12,5	12	12	12	15

В связи с этим встал вопрос о разработке стандартов по выпуску одинаковых рельсов различными заводами. Первым шагом было выделение пяти категорий «казённых» рельсов, в том числе 24, 22 ½, 21 ⅓, 20 и 18 фунтов в погонном футе, однако внутри категории различия сохранялись [92].

Проведённый анализ «альбомов чертежей утверждённых к использованию типов рельсов», сохранившихся в архивах, а также документов и публикаций того времени, позволил составить достаточно подробный перечень по номенклатуре рельсов, выпускавшихся для железных дорог России (приложение А). На его основе построены графы¹ для выделенных категорий казённых рельсов, в которых

¹ На графах 24 тип рельсов включает в себя рельсы весом 24 фунта в погонном футе и 23,83 фунта в погонном футе, как расхождение по весу составляет менее 1 %, а рассматриваемые геометрические показатели совпадают.

могут быть показаны изменения параметров для каждого типа. Так, например, на рисунке 11 граф показывает изменение высот рельсов для каждого типа, а на рисунке 12 – изменение ширины головки [73].

Анализ рассматриваемых графов показал, что нет однозначной связи в изменяемых параметрах между собой. Рельсы одной и той же высоты могут иметь как одинаковую ширину головки, так и различную. Разные варианты могли иметь одинаковые отдельные параметры и входить как в один тип, так и в разные типы рельсов. Так, например, варианты 11 и 19 имели одинаковую высоту 120 мм, а относились один к 24-му типу, другой к типу 22 ½, а с одинаковой шириной головки 56,5 мм – даже к трём типам.

Несмотря на то, что более 75 % заводов, поставивших рельсы на железные дороги России, выпускали эти типы, их поперечное сечение по геометрическим параметрам различалось между собой в каждом из выделенных типов. На основании обработки данных, приведённых в работах [92, 93], автором была составлена обобщённая таблица «казённых» типов рельсов, выпускавшихся различными заводами, как в России, так и за рубежом (таблица 5), которая позволяет наглядно видеть номенклатуру рельсов каждого из заводов.

В связи с этим встал вопрос о создании более жёсткой стандартизации, учитывавшей все геометрические параметры поперечного сечения [94; 95].

Таким образом, к началу XX в. было принято решение о необходимости типизации рельсов – наиболее перспективные получили название «казённых» типов рельсов. Успешно завершён первый этап стандартизации геометрии поперечного профиля рельса, что позволило частично унифицировать их выпуск.

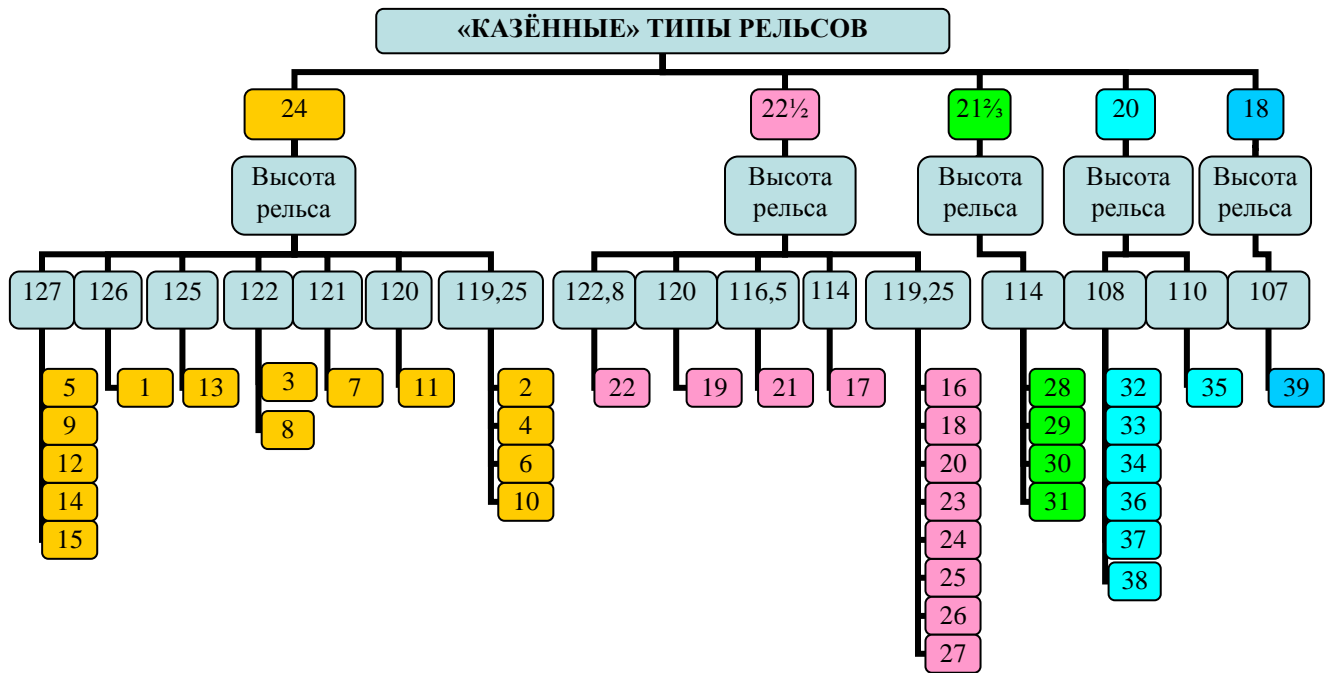


Рисунок 11 – Граф изменения высот для выделенных типов рельсов, 1-39 – условные номера вариантов «казённых» типов рельсов (см. Приложение А)

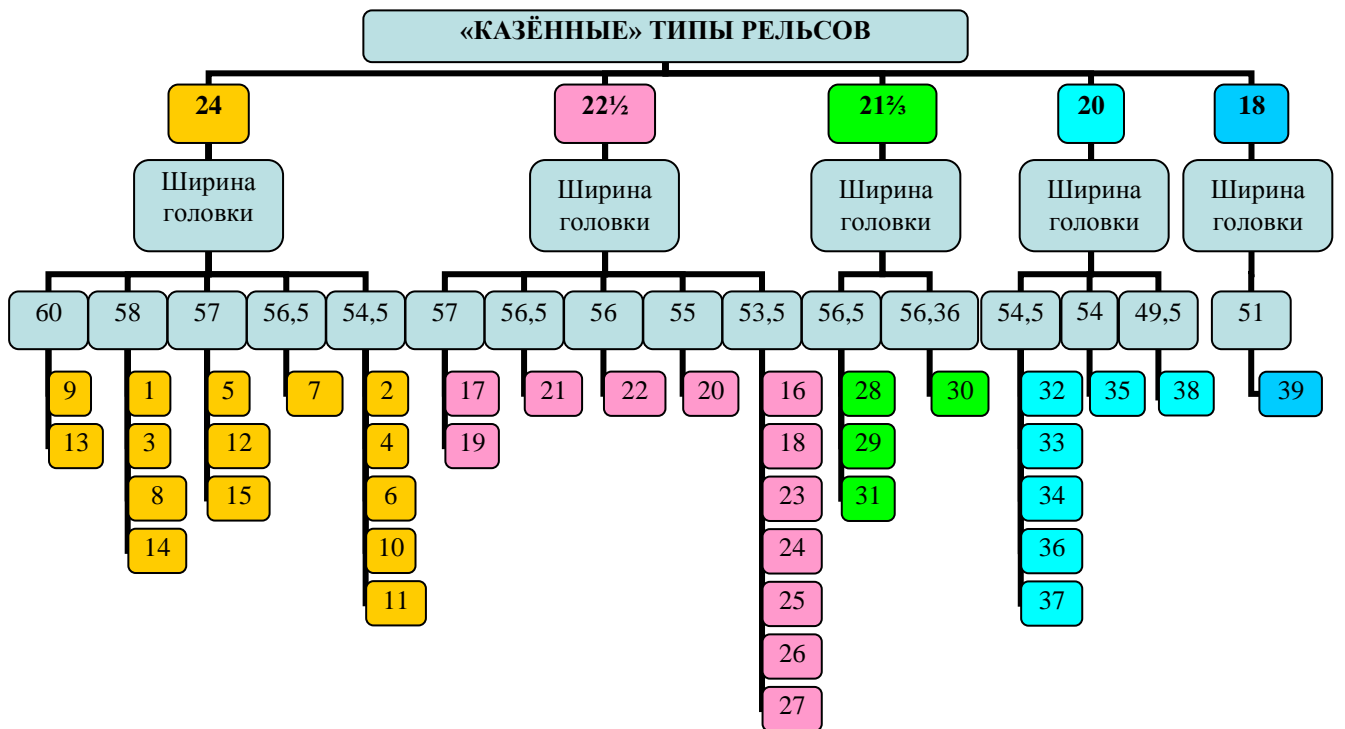


Рисунок 12 – Граф изменения ширины головки для выделенных типов рельсов 1-39 – условные номера вариантов «казённых» типов рельсов (см. Приложение ПРИЛОЖЕНИЕ А)

Таблица 5 – Выпуск заводами рельсов различных типов («казённые» типы выделены)

Завод	Типы рельсов																							
	28,6	26,2	28	25	25,8	27,5	23,81	24,35	24 ½	24 ⅓	24	23,83	23 ¾	23 ⅓	22 ½	22	21 ½	21 ⅓	21 ¼	20	18	11	8,05	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Cammel		+	+																					
Osnabrück			+						+		+		+					+						
Новороссийский			+		+	+					+				+			+						
Лондорь																					+			
Д.О.															+									
Ю.Р.Ж. О-во																								
Ю.Р.Донецкое Метал. О-во	+								+		+			+	+						+	+		
А.Ю.Р.З.Б.О.															+									
F. Krupp																+								
Крупна																		+			+			
Брянский										+	+				+			+			+	+	+	
Wil'sonet Camel			+								+										+			
Демидовский							+					+			+		+	+	+					
Путиловский															+		+	+			+			
Dowlais stal																		+						
Южно-Русск. Днепр.															+							+		
Богословский											+													
«Гута-Банкова»														+										
Königs Hütte														+										
Witcovic в Моравии														+										
Кн. Белосельскаго											+	+			+			+			+			
В.С.И.											+													
Wowl'ais st'al																		+						
Bol'chow Wanghan																+							+	
Bolchow Yanghan																+								
Barrow Steel																					+			
Эвель																					+			
В.С.З.											+													
West Kumberland																+								
Guest Steel																					+			
Джон-Браун						+																		
Angleur																							+	
Днепроовский															+									
Brown-Barler-Dixon										+								+			+			
Creusot																					+			
Vochum												+									+			
Vochum в Вестфалии														+										
Александровский													+											
Позер																					+			
О.П.З.																		+						
Нижне-Тагильский															+									
«Надежда»											+													
Steel V.Ca L. Y. 73												+									+			

1.4. Стандартизация геометрии рельсов и материалов в 1903 – 1946 гг.

В начале XX в. неудовлетворительное состояние гужевых и водных путей сообщения, а также потребности в возрастании объёмов перевозок сырья, материалов и оборудования обусловили необходимость увеличения протяжённости железных дорог страны, повышения продолжительности службы рельсов и дальнейшей их унификации [96, 97].

В 1903 г. в России был разработан первый стандарт, в соответствии с которым выпускались «нормальные» рельсы типов I, II, III и IV. В научных исследованиях их надёжность связывалась с более тяжёлым весом по сравнению с продукцией, использовавшейся ранее. Типы I и II были созданы впервые, а типы III и IV – на основе уже использовавшихся типов 24 ½ и 22 ½, соответственно. В 1904 г. чертежи были опубликованы в альбоме рельсов и креплений к ним [15, с. 56, 58-61, 134].

В 1908 г. их размеры были откорректированы и в обозначение типа добавили индекс «а» (таблица 6) [46, с. 84; 98].

Таблица 6 – Изменение параметров «нормальных» типов рельсов

Годы	1904				1910			
	I	II	III	IV	I-а	II-а	III-а	IV-а
Тип рельса								
Вес, кг	43,68	38,57	32,692	30,11	43,567	38,416	33,48	30,89
Высота рельса, мм	140	135	128	120,5	140	135	127	119,25
Высота головки	44	40	37	39,95	44	40	37	39,95
Высота шейки	71	71	68	59,1	71	71	68	59,09
Высота подошвы	25	24	23	21,45	25	24	22	20,21
Ширина головки рельса, мм	70	68	60	53,5	70	68	60	53,5
Ширина подошвы, мм	125	114	110	100	125	114	110	100
Толщина шейки в средней части, мм	14	13	12	12	14	13	12	12
Площадь поперечного сечения, см ²	55,64	49,063	42,758	39,451	55,64	49,063	41,67	38,354

Переход от разнотипных к стандартизированным рельсам занял длительное время. В 1926 г. на железных дорогах России использовалось около 30 типов рельсов (Приложение Б) [66; 99]. На рисунке 13 приведена круговая диаграмма применения разных типов рельсов в пути в процентном соотношении [64; 65; 77, с. 180]. Из неё видно, что в середине 1920-х гг. большая часть рельсов, эксплуатируемых на железных дорогах, представляла собой стандартизированные рельсы

«нормальных» типов. Окончательный переход к «нормальным» типам рельсов был осуществлён в начале 1930-х гг. [66].

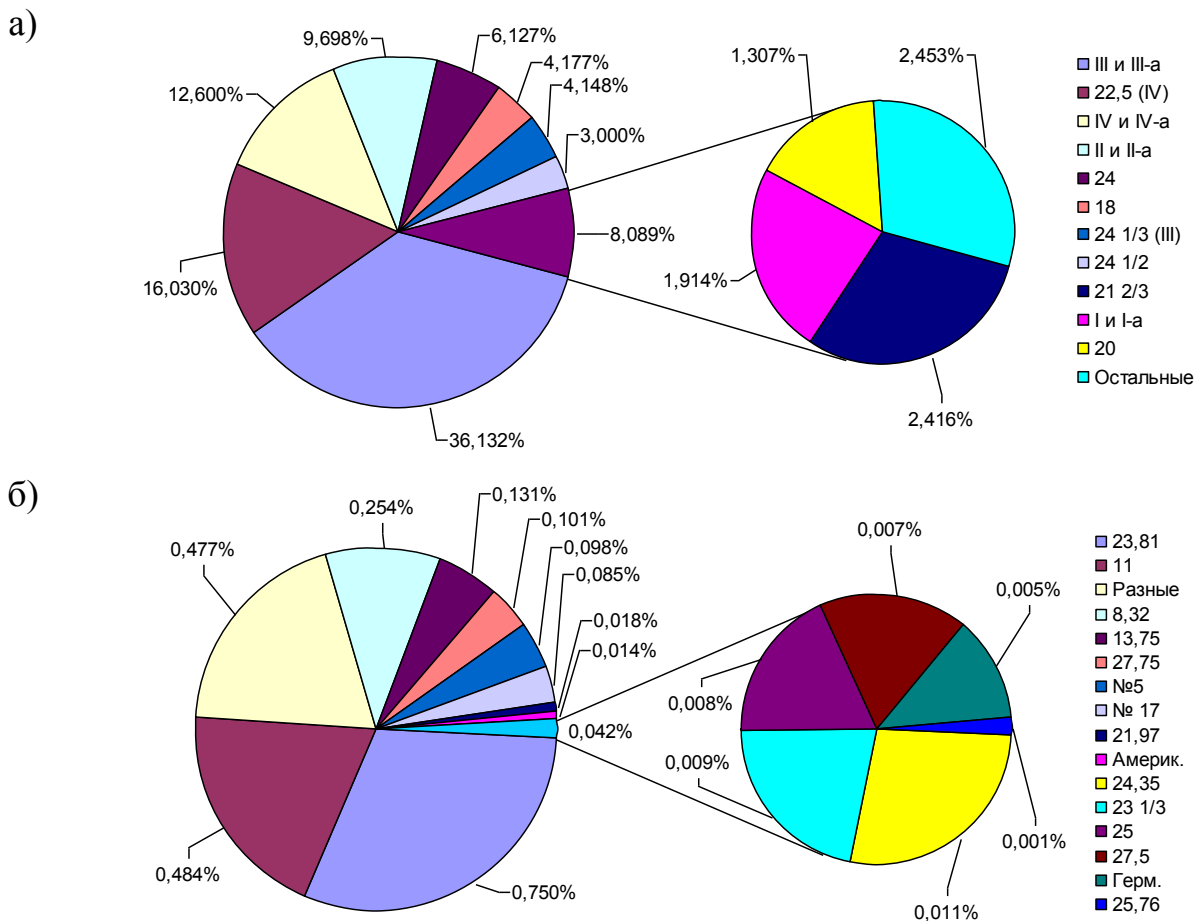


Таблица 7 – Распределение использования типов рельсов

Год	Общая протяжённость главных путей, тыс. км	Типы рельсов в процентах			
		I и I-а	II и II-а	III и III-а	Легче III
1917-1919 ¹	70,3	– ¹	5,6 ¹	31,2 ¹	63,2 ¹
1925	75,1	1,8	8,6	29,9	49,4
1926	75,7 ²	1,9	9,7	40,3	48,1
1928	76,9	1,9	11,4	48,6	29,9
1929	78,2 ²	1,9	12,9	49,3	28,0
1930	79,4 ²	1,9	13,1	43,3	34,3

Во второй половине 1920-х гг. К.А. Оппенгейм исследовал соответствие применявшихся типов рельсов техническим характеристикам подвижного состава. С учётом повышения нагрузки на ось и увеличения скорости движения К.А. Оппенгейм предложил четыре новых типа рельсов, вес которых в погонном метре должен был составить 57, 50, 42 и 36 кг, соответственно, взамен четырёх «нормальных» типов рельсов [18, с. 241-248].

В этих типах рельсов К.А. Оппенгейм использовал трапецеидальную форму головки с уширением книзу и подошву с верхними гранями, имевшими одинаковый уклон. К началу 1920-х гг. такая форма головки использовалась на половине железных дорог мира [18, с. 241-248, 49, с. 84-97].

Опыт эксплуатации показал, что трапецеидальная форма головки уменьшает износ рельсов и поверхностей катания колёс и бандажей. В ходе эксплуатации рельсы с «прямоугольной» головкой постепенно приобретают трапецеидальную форму. При разработке новых типов рельсов К.А. Оппенгейм применил принцип равновеликих шеек для разных типов рельсов, что позволяло использовать одинаковые накладки для их скрепления [18, с. 241-248].

Геометрические параметры разработанных К.А. Оппенгеймом рельсов представлены в таблице 8 [18, с. 241-248].

¹ Полную картину получить невозможно в связи с отсутствием данных по отдельным дорогам и ветхостью источника [102].

² Значения получены при помощи линейной аппроксимации по данным, приведённым в работах [104-153].

Таблица 8 – Параметры типов рельсов, разработанных К.А. Оппенгеймом

Тип рельса	O ^I	O ^{II}	O ^{III}	O ^{IV}
Вес, кг	57,15	50,08	42,13	35,86
Высота рельса, мм	155	145	135	130
Высота головки	50	47	39	36
Высота шейки	76	72	72	72
Высота подошвы	29	26	24	22
Ширина головки рельса, мм:				
Вверху	70	68	68	60
Внизу	74	72	72	64
Ширина подошвы, мм	140	130	120	110
Толщина шейки в средней части, мм:				
Вверху	15	14	13	12
Внизу	17	16	15	14
Площадь поперечного сечения, см ²	72,99	63,96	53,89	45,67

На железных дорогах Европы и Америки также одновременно укладывались рельсы различных типов, так, например, 20 типов – только в Англии. В их обозначении указывался вес погонного ярда (таблица 9). Смежные типы отличались друг от друга на 5 фунтов в погонном метре [154, с. 130-138].

Таблица 9 – Основные геометрические параметры английских рельсов

Тип рельса	№ 25R	№ 30R	№ 35R	№ 40R	№ 45R	№ 50R	№ 55R
Масса 1 ярда рельса, фунтов	25	30	35	40	45	50	55
Масса 1 м рельса, кг	12,4	14,88	17,36	19,84	22,32	24,8	27,28
Высота рельса, мм	73,03	79,38	85,73	92,08	98,43	104,78	109,54
Высота головки, мм	23,02	25,4	27,78	28,97	30,96	32,94	34,13
Высота шейки, мм	38,9	42,07	45,25	49,62	53,18	56,76	59,53
Высота подошвы, мм	11,11	11,91	12,7	13,49	14,29	15,08	15,88
Ширина головки рельса, мм	38,1	41,28	44,45	47,63	50,01	52,39	54,77
Ширина подошвы, мм	69,85	76,2	82,55	88,9	95,25	100,01	104,78
Толщина шейки в средней части, мм	6,35	7,54	8,33	9,13	9,53	9,92	10,72
Тип рельса	№ 60R	№ 65R	№ 70R	№ 75R	№ 80R	№ 85R	№ 90R
Масса 1 ярда рельса, фунтов	60	65	70	75	80	85	90
Масса 1 м рельса, кг	29,76	32,24	34,72	37,2	39,68	42,16	44,64
Высота рельса, мм	114,3	119,06	123,83	128,59	133,35	138,11	142,88
Высота головки, мм	35,72	36,91	38,1	39,69	40,88	42,47	43,66
Высота шейки, мм	61,91	64,69	67,47	70,25	73,02	75,8	78,58
Высота подошвы, мм	16,67	17,46	18,26	18,65	19,45	19,84	20,64
Ширина головки рельса, мм	57,15	58,74	60,33	61,91	63,5	65,09	66,68
Ширина подошвы, мм	109,54	112,71	117,48	122,24	127	131,76	136,53
Толщина шейки в средней части, мм	11,11	11,91	12,7	13,1	13,49	13,89	13,89

Продолжение таблицы 9

Тип рельса	№ 95R	№ 100R	№ 105R	№ 110R	№ 115R	№ 120R
Масса 1 ярда рельса, фунтов	95	100	105	110	115	120
Масса 1 м рельса, кг	47,13	49,61	52,09	54,57	57,05	59,63
Высота рельса, мм	147,64	152,4	155,58	158,75	161,93	165,1
Высота головки, мм	45,24	46,83	48,02	48,42	49,21	50,4
Высота шейки, мм	81,37	84,14	85,33	87,31	88,91	90,49
Высота подошвы, мм	21,03	21,43	22,23	23,02	23,81	24,21
Ширина головки рельса, мм	68,26	69,85	71,44	73,03	74,61	76,2
Ширина подошвы, мм	141,29	146,05	149,23	152,4	155,58	158,75
Толщина шейки в средней части, мм	14,29	14,29	14,68	15,08	15,48	15,88

Комплексное исследование геометрических параметров рельсов и обоснование преимуществ различных профилей рельсов проведено Г.М. Шахунянцем [49].

Таким образом, в рассмотренный период был осуществлён переход на «нормальные» типы рельсов, со стандартизованным для всех производителей профилем. Повышение веса рельса обусловлено необходимостью усиления рельса в связи с увеличением объёмов перевозок и соответственно нагрузок на путь.

1.5. Совершенствование геометрии профиля рельса в период с 1947 г. по начало XXI в.

В отличие от использовавшегося ранее обозначения, не включавшего параметры рельса, новое обозначение типов рельсов даёт представление об их назначении и примерном весе погонного метра. Разработка стандартов велась как для уже использовавшихся рельсов – Р33 (соответствовал рельсу типа III а), Р38 (II а), так и для разрабатывавшихся вновь – Р43 и Р50. В 1950 г. начался экспериментальный выпуск более тяжёлых рельсов Р65 для возможности увеличения нагрузки на ось, что давало бы возможность повысить грузоподъёмность подвижного состава. В 1956 г. этот проект был реализован и вышел ГОСТ 8161-56. Данный тип рельса получил широкое применение и используется в настоящее время. Однако в 1956 г. была поставлена задача разработки ещё более тяжёлых рельсов Р75, для применения на высоко-загруженных участках железных дорог (таблица 10) [155, с. 22-33].

В 1953 – 1954 гг. в ходе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию улучшенного профиля рельсов учёными ВНИИЖТа, Кузнецкого металлургического комбината, Сибирского металлургического института и Томской железной дороги были уточнены их параметры. Так, например, в ходе работы над профилем рельса Р50 были изучены его иностранные аналоги (рельс AREA и рельс S49) с весом около 50 кг/пог.м. Новый рельс с уточнённым профилем должен был стыковаться с уже уложенными в путь стандартными рельсами Р50. На основании этого были разработаны четыре опытных рельсовых профиля, геометрические параметры указанных рельсов представлены в таблице 11 [156, с. 10-18].

Таблица 11 – Основные геометрические параметры рельсов весом 50 кг/пог.м

Тип рельса	Рельсы уложенные в путь			Экспериментальные образцы рельсов			
	AREA	S49	P50	P2	P3	P4	PT50
Масса 1 м рельса, кг	49,6	49,07	50,504	50,504	51,639	49,901	51,22
Высота рельса, мм	152,4	148	152	156	152	152	156
Высота головки, мм	42,07	50,5	42	45	40	42	43
Высота шейки, мм	83,34	70	83	83	84	83	86
Высота подошвы, мм	26,99	27,5	27	28	28	27	27
Ширина головки рельса, мм:			70				
Вверху	меньше	65,5		62	69	меньше	62
Внизу	68,3	67		65	71	66	меньше
Ширина подошвы, мм	136,5	125	132	132	132	132	132
Наименьшая толщина шейки, мм	14,3	14	14,5	14,5	14,5	14,5	16

Комплексное изучение экспериментальных рельсов позволило разработать откорректированные профили рельсов Р50 и Р43 (стандарты и параметры представлены в таблице 10).

Рост грузонапряжённости сети железных дорог во второй половине XX в. (рисунок 14) обусловил необходимость применения более тяжёлых рельсов [120 – 148; 149, с. 79, рисунок 4.1].

Во второй половине XX в. на основных направлениях железных дорог в путь укладывались, в зависимости от грузонапряжённости, новые рельсы двух типов: Р75 и Р65 (рисунок 15), а на путях промышленных предприятий – рельсы типов Р50 и Р43.

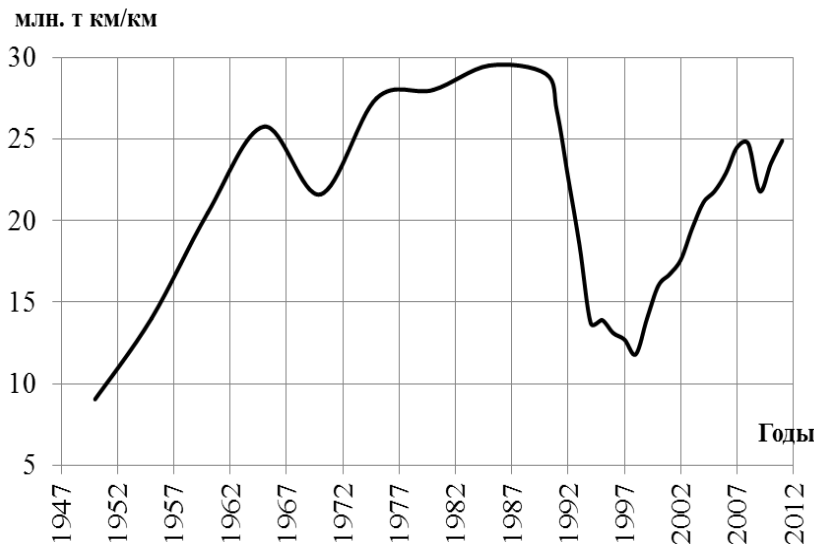


Рисунок 14 – Грузонапряжённость железных дорог общего пользования (ткм нетто/км в год)

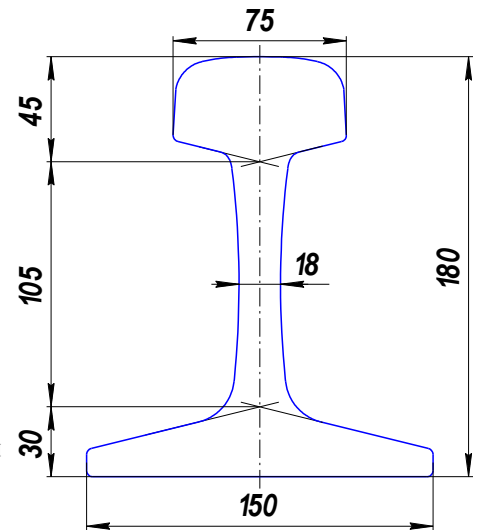


Рисунок 15 – Рельс Р65

В 1980-е гг. СССР вышел на первое место в мире по средней грузонапряжённости по железнодорожной сети, достигнув в 1989 г. 41,2 млн. ткм брутто/км в год. Однако в связи с распадом СССР этот показатель уменьшился вдвое в 1994 г., достигнув 20,4, и упал почти в два с половиной раза в 1998 г. – 17,2. В 2007 – 2012 г. средняя грузонапряжённость в целом по сети железных дорог Российской Федерации составила порядка 23,8, а на начало 2013 г. – 33 млн. ткм брутто/км в год [149, с. 79, рисунок 4.1; 150]¹.

В 2001 г. в связи с завершением перехода подвижного состава на роликовые подшипники и повышением качества рельсовой стали от укладки рельсов Р75 отказались. По химическому составу и геометрии профиля головки Р65 и Р75 одинаковы, но жёсткость пути с рельсами Р75 выше, что обуславливает большие динамические силы взаимодействия пути и подвижного состава. Это ведёт к более быстрому накоплению повреждений в рельсе. Площадь поперечного сечения рельса Р75 на 15,85% больше, чем у Р65, в связи с этим на столько же больше температурные силы при прочих равных условиях, что ограничивает их применение в бесстыковом пути [157].

¹ Данные Федеральной службы государственной статистики, ОАО «РЖД» и Е.А. Шура отличаются между собой, но характер грузонапряжённости железных дорог идентичен.

Рельсы типа Р65 в настоящее время должны отвечать основным требованиям по ГОСТ Р 51685-2000 [158]. Стандарт распространяется на рельсы, предназначенные для звеньев и бесстыкового пути железных дорог и для производства стрелочных переводов. Основные показатели рельсов представлены в таблице 12 [158].

Таблица 12 – Основные показатели железнодорожных рельсов широкой колеи

Показатель	Р75	Р65	Р50
Масса 1 м рельса, кг	74,41	64,64	51,67
Высота рельса, мм	192,0	180,0	152,0
Высота головки	55,3	45,0	42,0
Высота шейки	104,4	105,0	83,0
Высота подошвы	32,3	30,0	27,0
Ширина головки рельса, мм:			
Вверху	72,0	73,0	70,2
Внизу	75,0	75,0	72,0
Ширина подошвы, мм	150	150	132
Толщина шейки в средней части, мм	20	18	16
Площадь поперечного сечения, см ²	95,04	82,65	65,99
Распределение площади по профилю, %:			
Головки	37,4	34,1	38,1
Шейки	26,5	28,5	24,5
Подошвы	36,1	37,4	37,4

Для специальных целей применяются и другие профили рельсов, например, для трамвайных путей используются рельсы, имеющие на головке жёлоб (рисунок 16) [159, с. 106; 160]. Такой профиль позволяет укладывать рельс на уровне автомобильной проезжей части и обеспечивает необходимый зазор между поверхностью катания рельса и внешней твёрдой средой для гребня колеса. Для других целей нашли применение рельсы с поперечным сечением различного вида (рисунок 17) [159, с. 106; 160].

В настоящее время Кузнецким и Нижнетагильским металлургическими комбинатами выпускаются различные группы рельсов, приведённые в таблице 13, которые могут быть термоупрочнёнными и нетермоупрочнёнными [160].

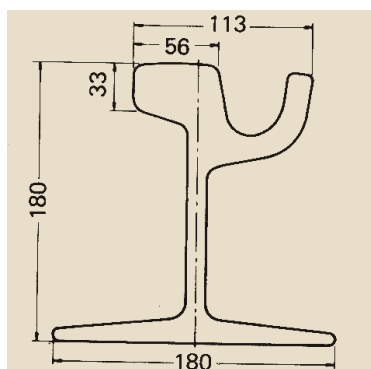


Рисунок 16 – Поперечное сечение трамвайного рельса

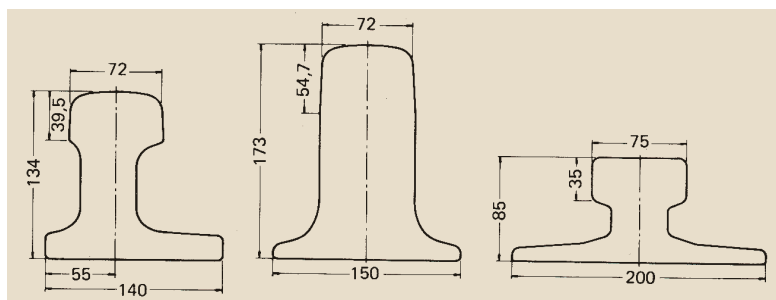


Рисунок 17 – Поперечные сечения специальных рельсов

Таблица 13 – Рельсы

Группа рельсов	Обозначения типов рельсов	Стандарт	Назначение
Рельсы железнодорожные узкой колеи	P8, P11, P18, P24	ГОСТ 6368-82	для укладки на железных дорогах узкой колеи и подземных путях шахт
Рельсы рудничные, для шахтных проводников	P33, P38, P43	ГОСТ 7173-54	для звеньевого и бесстыкового пути железных дорог широкой колеи и для производства стрелочных переводов
Рельсы железнодорожные	P50, P65, P75	ГОСТ Р 51685-2000	для звеньевого и бесстыкового пути железных дорог широкой колеи и для производства стрелочных переводов
Рельсы железнодорожные для путей промышленных предприятий	РП50, РП65	ГОСТ Р 51045-97	для укладки на железнодорожных путях широкой колеи и стрелочных переводов промышленных предприятий
Рельсы крановые	КР70, КР80, КР100, КР120, КР140	ГОСТ 4121-96	для прокладывания подкрановых путей и подъемных кранов
Рельсы контррельсовые	РК50, РК65, РК75	ГОСТ 18232-83	применяются в конструкциях верхнего строения железнодорожного пути
Рельсы остряковые	ОР43, ОР50, ОР65, ОР75	ГОСТ 9960-85	применяются в конструкциях верхнего строения железнодорожного пути. ОР43 применяется для изготовления стрелочных переводов ж/д путей промышленных предприятий и круговых рельсов опорно-поворотных устройств экскаваторов
Рельсы трамвайные желобчатые	T58, T62	ТУ 14-2Р-320-96	для укладки на трамвайных железных дорогах
Рельсы усовиковые	УР65	ТУ 32 ЦП-804-94	для изготовления железнодорожных крестовин с непрерывной поверхностью катания

Готовится к запуску линия производства рельсов длиной 100 м.

Рельсы железнодорожные узкой колеи были разработаны для использования на негрузонапряжённых участках, их геометрические параметры отражены в таблице 14 [161].

Таблица 14 – Геометрические параметры рельсов узкой колеи

Тип	P-8	P-11	P-18	P-24
Масса, кг/м	8,42	11,8	17,91	24,9
Высота рельса, мм	65	80,5	90	92
Ширина головки, мм	25	32	40	51
Ширина подошвы, мм	54	56	80	108
Толщина шейки в средней части, мм	7	9	10	10,5

Отличительной особенностью крановых рельсов является отсутствие шейки в средней части. Они маркируются в зависимости от ширины головки (таблица 15) [162].

Таблица 15 – Геометрические параметры крановых рельсов

Тип	KP70	KP80	KP100	KP120	KP140
Масса, кг/м	46,1	59,81	83,09	113,47	141,7
Высота рельса, мм	120	130	150	170	170
Ширина головки, мм	70	80	100	120	140
Ширина подошвы, мм	120	130	150	170	170

Как показал опыт эксплуатации и исследования различных авторов, помимо конструктивных особенностей, на работоспособность и надёжность рельсов большое влияние оказывают марка и качество материала, из которого они изготовлены, а также технология изготовления и упрочнения [18; 43; 154; 161 – 166].

Таким образом, начиная с 1840-х г. и по настоящее время, широкоподошвенные рельсы наиболее полно удовлетворяют требованиям железнодорожного транспорта России и других стран, получив распространение на железных дорогах мира. Однако изменение ширины колеи, грузонапряжённости и скоростей движения на железных дорогах потребовало внесения корректировок по геометрическим размерам и массе рельсов на погонный метр. Поэтому во многих странах этот вопрос решался в зависимости от конкретных условий эксплуатации железнодорожного транспорта. В настоящее время большинство стран унифицировали геометрические размеры рельсов.

1.6. Выводы

1. В ходе исследования выявлено, что периоды, в которые происходили существенные изменения конструкций рельсов, не совпадают с периодами истории развития российских железных дорог. Для выявления закономерностей в разработке и совершенствовании железнодорожных рельсов автором исследования была разработана периодизация, отражающая влияние химического состава материала и геометрии профиля на, соответственно, эксплуатационные свойства и конструкцию рельсов.

2. Замена круглого профиля лежневых дорог прямоугольным, и установка на его рабочую поверхность металлического покрытия, а затем и профильных накладок позволило значительно повысить стойкость лежней и снизить частоту схода перемещаемых тележек.

3. Установлено, что первые рельсы в поперечном сечении имели форму уголка и изготавливались из чугуна, который, будучи хрупким материалом, часто ломался. Выход из строя участков пути требовал проведения внеплановых ремонтных работ и создавал помехи при движении подвижного состава.

4. Изучение истории совершенствования поперечного профиля рельсов позволило определить, что наиболее работоспособным является двутавровое сечение с увеличенной верхней полкой, которая постепенно приобрела современную форму в виде головки, имеющей уширение книзу, а рабочая поверхность стала скруглённой. Подошва была увеличена по ширине, что снижало нагрузку на шпалы и повышало устойчивость самого рельса. Для повышения стойкости против хрупкого излома чугун был заменён сталью.

5. На железных дорогах использовались различные типы рельсов, затруднявших эксплуатацию и замену вышедших из строя участков пути. В связи с этим было принято решение о стандартизации рельсов в зависимости от грузонапряжённости пути. Первые попытки такой стандартизации начались в конце XIX в. и в настоящее время сведены к трём основным типам рельсов России – Р50, Р65 и Р75.

б. В течение выделенных периодов применяли, соответственно, деревянные лежни, в том числе с металлическим покрытием, чугунные и стальные рельсы. В качестве конструкции колеиных дорог использовали лежни круглого и прямоугольного сечения; чугунные, в том числе уголковые, грибовидные, широкоподошвенные, двухголовые рельсы, а также стальные рельсы с грушевидной, трапециевидной формой головки и головкой с вертикальными боковыми гранями. Процесс унификации стандартов был направлен на выработку единых требований к широкоподошвенным рельсам широкой колеи. Приоритет в содержании обозначений типа рельса сместился от указания только его веса к функциональному назначению при сохранении весовой характеристики.

2. ПОСТАВКА РЕЛЬСОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В XVII в. в России начал складываться всероссийский товарный рынок. Он характеризовался развитием мелкого товарного производства и денежного обращения. Быстрый экономический рост России содействовал дальнейшему освоению обширных пространств Восточной Европы и Сибири. Россияне продвинулись на малозаселённые территории Нижнего Дона, Северного Кавказа, Среднего и Нижнего Поволжья и Сибири.

Расширение всероссийского рынка требовало дальнейшего развития путей сообщения. В середине XVIII в. велись работы по усовершенствованию Вышневолоцкой системы; строился новый канал, соединявший Каму с Вычегдой и Северной Двиной. Для торговли ещё большее значение имел гужевой транспорт. Обозам, которые двигались летом и, особенно, зимой по просёлочным и столбовым дорогам, не было числа. Разрасталась сеть грунтовых дорог, прокладывались первые шоссейные дороги, тракты. Огромной протяжённости Охотский тракт прорезал всю Россию с запада на восток, от Петербурга и Москвы – до тихоокеанского порта Охотска. В целом, однако, состояние путей сообщения России, особенно гужевых, было неудовлетворительным и серьёзно тормозило рост внутреннего товарооборота [96, с. 3-40].

В 1740 – 1750-х гг. по инициативе частного предпринимательства началось строительство горных заводов на Южном Урале, что было обусловлено, в первую очередь, ростом спроса на железо на внешнем рынке. Увеличивалась потребность в металле и внутри страны [167].

2.1. Выпуск рельсов в период с 1830-х по 1865 гг.

Изготовление железа и стали, как основы для распространения кузнечного, замочного, оружейного ремёсел ещё в древней Руси, находилось на высоком уровне. Поэтому зарубежные производители охотно покупали его у России. Так, например, в первой половине 1830-х гг. из России через европейскую границу

экспортировался металл объёмом свыше миллиона пудов в год (свыше 16,5 тыс. т.) [16, с. 5; 168].

Первая в России рельсовая дорога с паровой тягой была построена к сентябрю 1834 г. на Нижнетагильском металлургическом заводе Демидовых. 400 сажен (854 м) чугунной дороги для первого паровоза были проложены от здания Выйского завода по полю. Несмотря на малую её протяжённость, были выявлены преимущества по сравнению с гужевым транспортом и перспективность дальнейшего строительства железных дорог. На Черепановской дороге применялись грибовидные чугунные рельсы длиной 2,13 м, которые укреплялись на деревянных шпалах впритык массивными чугунными подушками высотой 0,19 м и шириной основания 0,29 м и, в свою очередь, закреплялись на деревянных шпалах в местах стыков рельс. Вес рельса составлял 4 пуда (64 кг), что соответствовало 30,6 кг/пог. м, вес подушки – 1 пуд. Погонный метр дороги обходился около 5 руб. В это время в европейских государствах использовались уголковые, желобчатые и эллиптические профили рельсов [169].

Первое упоминание о необходимости создания рельсопрокатных заводов в России относится к сентябрю 1836 г., в связи с началом строительства американских железных дорог и перспективой развития торговых отношений с США, Германией, Францией и др. [16, с. 4].

В ходе строительства Царскосельской железной дороги, открытой в 1838 г., выяснилось, что собственного производства по изготовлению металлоизделий в России недостаточно. Поэтому было дано разрешение на беспошлинный ввоз металла из-за границы. В первую очередь, это касалось рельсов, из-за отсутствия рельсопрокатного производства в России. В Положении об учреждении общества Царскосельской железной дороги было оговорено его обязательство покупать железо у русских заводчиков, если цена будет превышать иностранные аналоги не более чем на 15 %. Однако, благодаря разрешению беспошлинного ввоза иностранного металла, рельсы и все металлические принадлежности были выписаны из-за границы [16, с. 4].

В 1839 г. на Людиновском заводе и в 1843 г. на Выксунских заводах успешно была осуществлена экспериментальная прокатка рельсов из пудлингового железа [16; 170].

В январе 1841 г. англичанин Ж. Райнер первым предпринял попытку создать в России завод для производства рельсов. Его попытка не увенчалась успехом в связи с отказом министра финансов России. Тем не менее, уже в январе 1842 г. Императором Николаем I была поставлена задача создания рельсового завода в России перед владельцами частных горных заводов для удовлетворения потребностей в ходе строительства железной дороги между С.-Петербургом и Москвой. Для создания «Образцового рельсового заведения» на время сооружения С.-Петербургско-Московской железной дороги Обществу по изготовлению рельсов был предоставлен старый казённый чугуноплавильный завод. В августе 1842 г. на предприятие поступил заказ на рельсы весом 22 фунта в погонном футе, длиной 2,5 сажени в объёме 4,856 млн. пудов, который необходимо было выполнить к осени 1847 г. Однако первый рельс был прокатан уже в конце апреля 1844 г., причём стоимость его была значительно выше заявленной: 1 руб. 90 коп. серебром за пуд при утверждённой стоимости 1 руб. 43 коп. серебром за пуд. Летом 1845 г. Общество поставило на производство 33,564 тыс. пудов рельсов, и завод был передан в распоряжение предпринимателю С.И. Мальцеву. Внедрив технические новшества на заводе, С.И. Мальцев получил пробную партию рельсов в 6000 пудов «отличного качества (не хуже английских)». Несмотря на это, «Образцовое рельсовое заведение» было закрыто в апреле 1847 г., как не сумевшее выполнить условия договора [16, с. 6-15].

Начало массового производства рельсов относится к 1846 г. Первые 10 лет железные рельсы выпускались только на польском заводе «Гута-Банкова», который поставлял их на Варшавско-Венскую железную дорогу, основная часть, которой была построена в 1842 – 1848 гг., а рабочее движение открыто в 1845 г.

Строительство этой железной дороги имело важное стратегическое и экономическое значение, так как она открывала выход к прусской границе и позволяла осуществлять вывоз каменного угля с Домбровского каменноугольного бас-

сейна, а также перевозку других промышленно важных грузов (шерсть, хлопок) на внутренний рынок России.

Вначале выпуск рельсов был небольшим и составлял 4,5 тыс. пудов (74 т) в 1846 г., по 1,0 тыс. пудов (16,38 т) – в 1847 г. и 1848 г. В ходе строительства в 1842 – 1851 гг. С.-Петербурго – Московской железной дороги использовались отечественные рельсы производства завода «Гута-Банкова», но их количество было явно недостаточным, и основная часть рельсов была закуплена в Англии [168, с. 145].

В период с 1849 по 1854 гг. на заводе «Гута-Банкова» выпуск рельсов был прекращён, а, начиная с 1855 г., было изготовлено 20,0 тыс. пудов (328 т). В течение последующих трёх лет осуществлялось интенсивное наращивание производства, и в 1858 г. общий объём выпуска составил 60,0 тыс. пудов (983 т) [16, с. 18, 118-121] (рисунок 18).

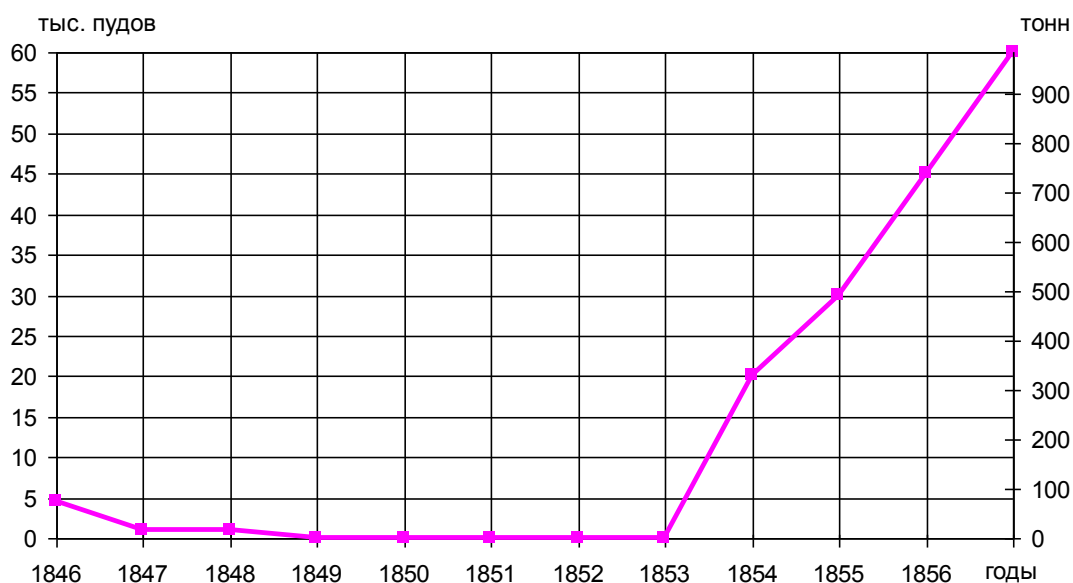


Рисунок 18 – Общий объём выпуска железных рельсов заводом «Гута-Банкова» в 1846 – 1857 гг.

С 1856 г. железные рельсы начали выпускаться на Нижнетагильском и Алапаевском заводах. Причём их выпуск почти на порядок превысил выпуск рельсов на заводе «Гута-Банкова». В 1856 г. на Нижнетагильском заводе было произведено 258,256 тыс. пудов (4,231 тыс. т), а на Алапаевском – 250,0 тыс. пудов (4,095 тыс. т). В дальнейшем на этих заводах общий объём производства увеличивался, а с 1858 г. завод «Гута-Банкова» полностью прекратил

выпуск железных рельсов, возобновив в 1878 г. выпуск стальных рельсов [16, с. 18, 118-121].

Алапаевский завод выпускал железные рельсы до 1860 г., прокатывая 250,0–300,0 тыс. пудов (4,1–4,9 тыс. т) в год. Железные рельсы в этот период также выпускал Путиловский завод (рисунок 19) [16, с. 118-121]. В 1861-1862 гг. железные рельсы не выпускались.

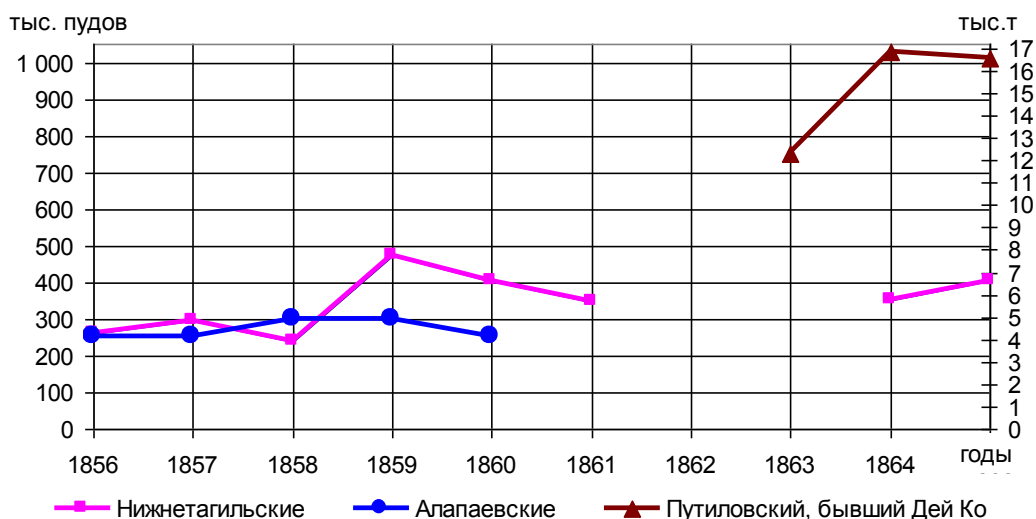


Рисунок 19 – Общий объём выпуска железных рельсов Нижнетагильскими, Алапаевскими и Путиловским заводами по годам

К середине XIX в. значительно увеличились объёмы торговли России с европейскими государствами. Гужевого транспорт перестал справляться с возникшими потребностями. Ввод в 1851 г. в эксплуатацию С.-Петербурго-Московской железной дороги (с 1855 г. – Николаевской) явился важным этапом в строительстве железных дорог в России, ориентированных и на грузовые перевозки. Первые железные дороги показали возможность «переброски» людей и товаров за меньший промежуток времени, с большим комфортом, меньшими потерями грузов при транспортировке в условиях России. Поэтому железнодорожные пути стали интенсивно развиваться в разных направлениях. Существенное приращение протяжённости пути произошло к 1862 г. когда была полностью введена в эксплуатацию С.-Петербурго-Варшавская железная дорога. Она связала С.-Петербург и западные губернии России, прибалтийские порты с Полесьем и центральными районами страны, а также дала выход в страны Западной Европы через Варшаву и по ветке Вильно-Кёнигсберг [171, с. 8, 10].

На строительство железной дороги вначале поставлялись рельсы из Англии, позже их стали возить с уральских рельсопрокатных заводов в Нижней Салде и Алапаевске. Однако Главное общество, строившее эту железную дорогу, считало не выгодным иметь дело с русскими заводчиками. Получив право беспошлинного ввоза всех металлических частей из-за границы, оно сократило заказы уральским заводам. В результате в 1861 г. на Алапаевском заводе производство рельсов было ликвидировано, а на Нижне-Салдинском – приостановлено. Позднее на заводе в Нижней Салде прокатали значительное количество рельсов Николаевской и Московско-Курской железных дорог (с 1869 г.), принадлежавших государству, но при этом уже не смогли освоить заказа в полном объёме из-за недостатка древесного угля [167]. Соединение Варшаво-Венской и С.-Петербурго-Московской железных дорог, за счёт строительства С.-Петербурго-Варшавской железной дороги, было началом создания единой железнодорожной сети России.

Построенная к 1862 г. Московско-Нижегородская железная дорога проходила по территориям Московской, Владимирской и Нижегородской губерний. Связав центр России с Поволжьем и восточными районами страны, она играла важную роль в снабжении Москвы сельскохозяйственными продуктами, а также в доставке товаров на нижегородскую ярмарку [172].

Риго-Орловская железная дорога связала центральные губернии страны с портами Балтийского моря – Ригой и Либавой. Рига-Динабург (с 1893 г. – Двинск) была введена в 1861 г. На участке Ландварово-Вершболово движение было открыто в 1861-1862 гг. [171, с. 9-10; 172]. Например, первая железнодорожная линия в Белоруссии протяжённостью 32 км на участке Гродно - Поречье была открыта в 1862 г., как продолжение С.-Петербурго-Варшавской железной дороги [172], в Москве были построены участки до станций Петушки (1861 г.) и Сергиев-Посад (1862 г.) [171, с. 10; 172]. Для строительства этих дорог использовались рельсы, изготавливавшиеся на Нижнетагильском, Алапаевском и Путиловском (бывший Дей Ко) заводах [16].

Общий объём выпуска железных рельсов всеми заводами России по годам в 1846 – 1865 гг. приведён на рисунке 20. В 1848-1854 гг. и в 1861-1863 гг. железные рельсы не выпускались.

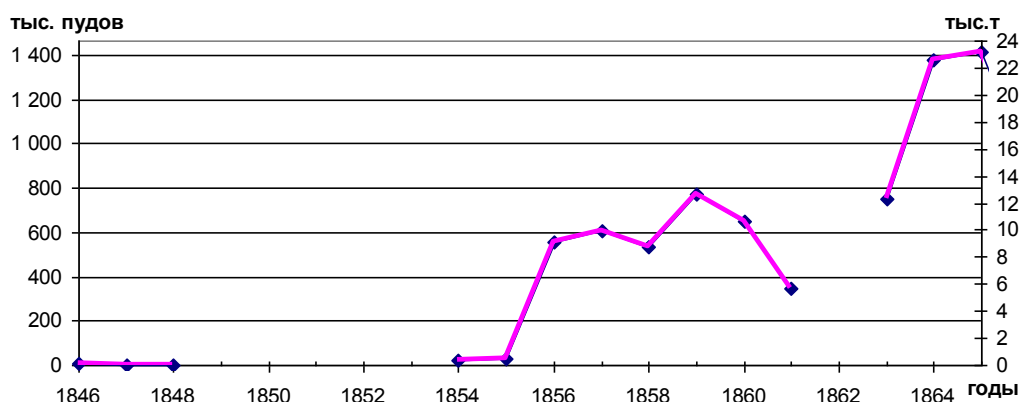


Рисунок 20 – Общий объём выпуска железных рельсов российскими заводами в 1846 – 1865 гг.

Общая производительность каждого завода в рассмотренный период представлена на гистограмме (рисунок 21).

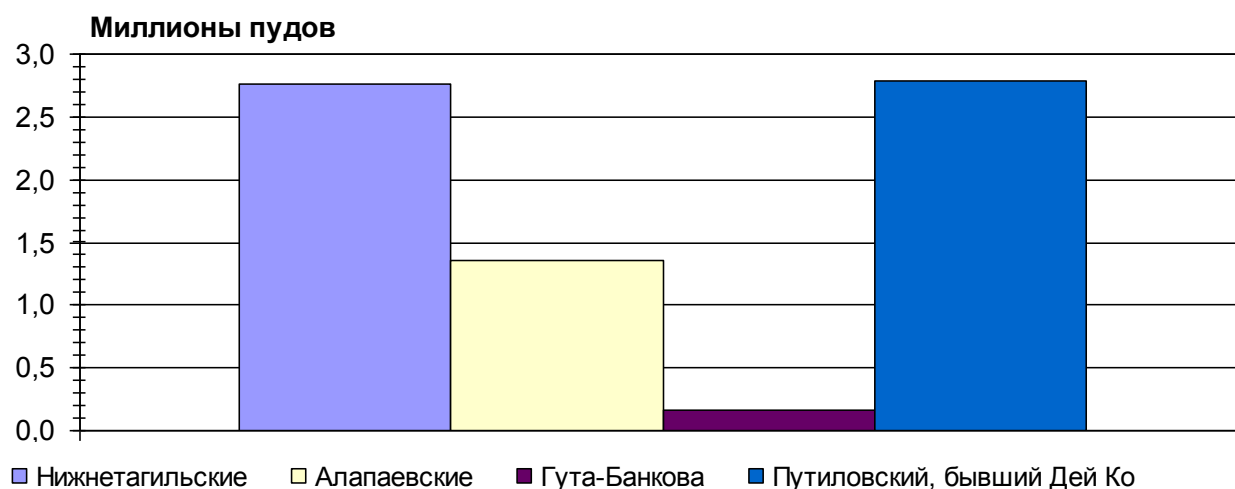


Рисунок 21 – Общий объём выпуска железных рельсов российскими заводами в 1846 – 1865 гг.

За период с 1846 по 1865 гг. российские заводы, освоившие выпуск рельсов, прокатали 7,068 млн. пудов (115,787 тыс. т) рельсов [168, с. 146].

На рисунке 22 приведён рост протяжённости пути и ввод в эксплуатацию участков железных дорог по годам в период с 1838 по 1865 гг. Основной прирост протяжённости железных дорог – 2769,4 тыс. км происходил в период с 1856 по 1865 гг. за счёт завершения строительства ряда крупных участков, начатых ранее [168, с. 146].

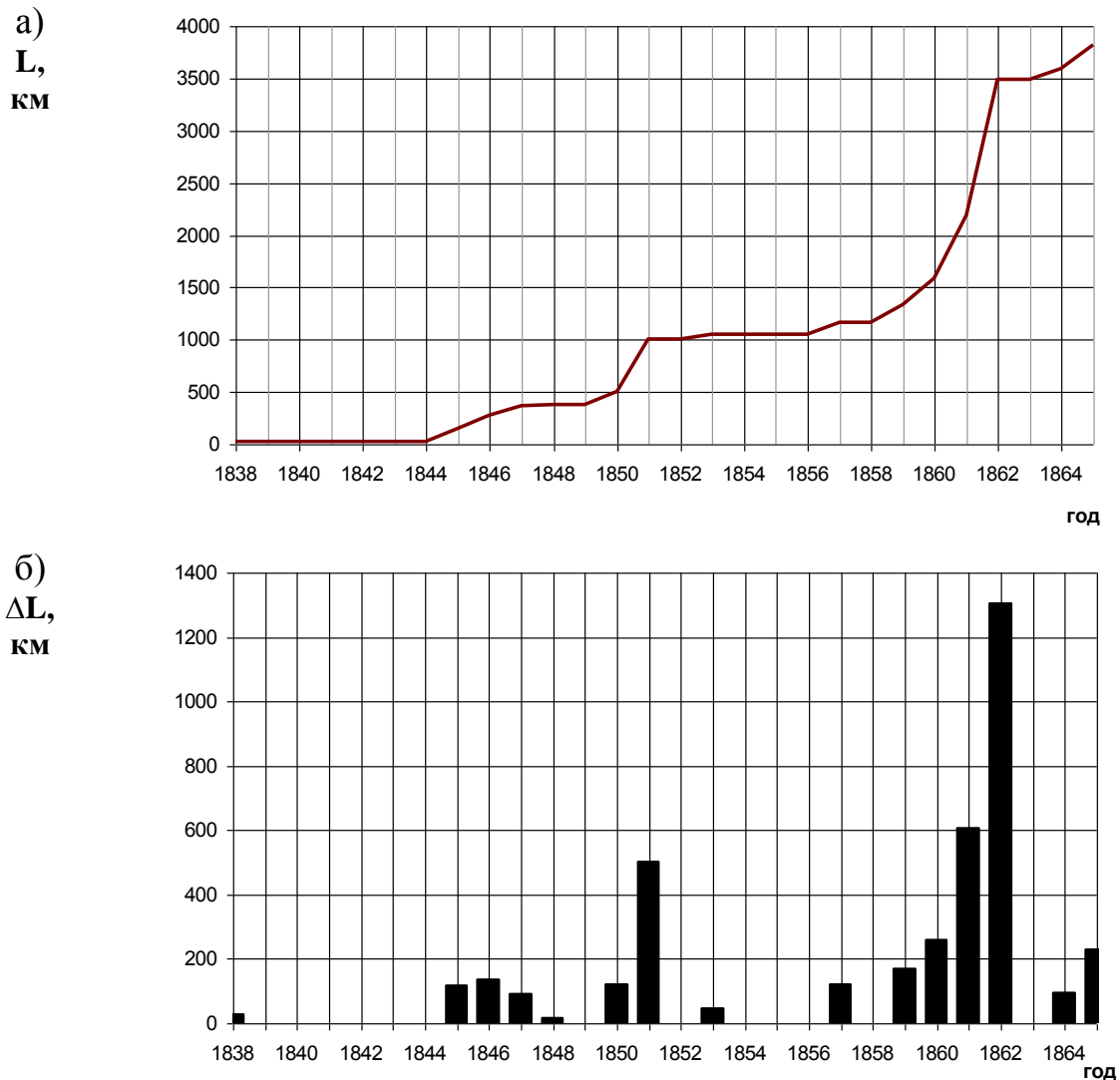


Рисунок 22 – Рост протяжённости пути (а) и ввод в эксплуатацию участков железных дорог (б) в 1838 – 1865 гг.

Таким образом, в рассматриваемый период объёмы строительства железнодорожного пути зависели от производства черных металлов и изготовления из них рельсов. Повышающиеся требования к качеству и прочности рельсов заставляли учёных и технологов металлургического производства заботиться о повышении свойств рельсовой стали, с одновременным увеличением её количества. Объёмы строительства железных дорог влияли на развитие отечественных сталелитейных заводов, так как необходимо было увязать места добычи угля, руд и других полезных ископаемых с производством чугуна, стали и готовых металлоизделий, а также поставку рельсов из них.

До 1865 г. отечественные заводы поставили немногим более 12 % от общего количества рельсов, уложенных во время строительства железных дорог [167].

Российская внешняя торговая политика, направленная на поддержку иностранного промышленного производства, привела к тому, что государственные заказы на поставку отечественных рельсов ограничивались во времени, а в концессионный период они почти прекратились, и рельсопрокатное производство было поставлено под угрозу полной ликвидации. При этом дешёвые рельсы, закупавшиеся частными компаниями за рубежом, были сомнительного качества и служили короткое время.

2.2. Выпуск рельсов в 1866 – 1902 гг.

Во второй половине XIX в. Москва превратилась в узловой центр железнодорожной сети России, так как была введена в строй линия на Курск (1870 г.), продолжен участок от Сергиев-Посада до Александрова (1870 г.), проложена ветка до Смоленска (1870 г.), а к 1871 г. – соединена с Брестом. Московско-Виндаво-Рыбинская железная дорога (1897 г.), связав Центр России, северо-западный и прибалтийский районы страны, а также районы Сибири и Поволжья с незамерзающим портом Балтийского моря – Виндавой, обеспечивала экспорт масла, льна, хлеба, строительных материалов в Московскую, Ярославскую, Тверскую, Смоленскую, Псковскую, Новгородскую, Петербургскую, Витебскую, Лифляндскую, Курляндскую губернии. Строительство основных линий было завершено к 1901 г. [171, с. 13, 15, 55; 172].

В 1856-1865 гг. велось строительство Московско-Казанской железной дороги, которая проходила по территориям Московской, Рязанской, Тамбовской, Пензенской, Симбирской, Казанской губерний, объединив Центр России с восточными районами страны, а также реками Окой и Волгой. Железная дорога играла существенную роль в экспорте хлеба и масла через Балтийские порты Ригу, Виндаву, Либаву [172].

В 1892-1902 гг. велось строительство Московско-Киево-Воронежской железной дороги. Проходя по территориям Московской, Калужской, Орловской, Курской, Воронежской, Черниговской, Полтавской, Харьковской и Киевской губерний, она связала Центр России, Донецкий угольный бассейн с юго-западными

районами страны, обеспечив экспорт хлеба через Одессу. По основным линиям Московско-Киево-Воронежской и Московско-Казанской железных дорог движение было открыто в начале XX в. К 1873 г. протяжённость ширококолейных железных дорог в Прибалтике достигла почти 3000 км [171, с. 52; 172].

Харьково-Николаевская (с 1873 г.), Юго-Западные (с 1878 г.), Юго-Восточные (с 1893 г.), и Курско-Харьково-Севастопольская (с 1896 г.) железные дороги, объединили юг европейской части страны в единую сеть, обеспечив связь Донецкого угольного бассейна с Центрально-промышленным районом, Поволжьем и Сибирью, Правобережной Украины – с Центрально-промышленным и Привислинским районами, железнодорожное сообщение с Австро-Венгрией, Румынией, Пруссией. Данная железнодорожная сеть играла важную роль в обеспечении Москвы углём, оказывала влияние на развитие угольной, а также перерабатывающей (маслобойной, сахарной, мукомольной) промышленности Юга России, на развитие сельскохозяйственного производства, обеспечивая хлебный экспорт России через порты Азовского, Чёрного и Балтийского морей в Германию, Нидерланды, Данию [171, с.20, 29, 47, 53-54].

Дальнейшее развитие железнодорожной сети было связано с ростом промышленности Урала, требовавшей устойчивых транспортных связей как внутри района, так и за его пределами. Поэтому в 1874-1878 гг. от Перми до Екатеринбургa была построена Уральская каменноугольная (с 1880 г. – горнозаводская) линия протяжённостью 715 км. (171, с.29-30). С 1888 г. она была соединена с Екатеринбург-Тюменской (Сибирской) железной дорогой в Уральскую. Сызрано-Вяземская железная дорога (с 1890 г.) соединила Заволжье, Сибирь и Среднюю Азию с западными пограничными пунктами и юго-западными районами России. [171, с. 41, 44].

Средне-Азиатская (с 1899 г.), Московско-Ярославско-Архангельская (1894 г.) железные дороги соединили север страны с центрально-промышленным районом, способствовали развитию деревообрабатывающей, текстильной, маслодельной промышленности в Вологодской, Вятской, Костромской губерниях; экспорту товаров через Архангельск (дрова, лес, строительный материал, пушнина, лён, смо-

ла, канифоль, скипидар, хлеб, сливочное масло). Екатерининская железная дорога (с 1885 г.) соединила Донецкий угольный бассейн с Криворожьем и Юго-Западным краем и способствовала развитию топливно-металлургической базы на Юге России, обеспечивая вывоз угля и железной руды на внутренний и внешний рынки [171, с.36, 50, 60].

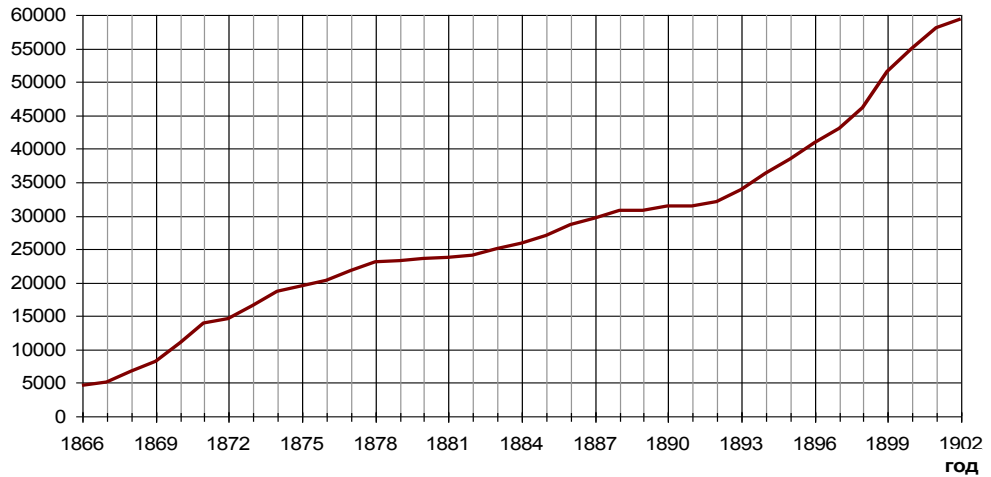
Моршанско-Сызранская (с 1875 г.), Донецкая (с 1880 г.), Владикавказская (с 1884 г.), Балтийская и Псковско-Рижская (с 1893 г.), С.-Петербурго-Варшавская (с 1895 г.), железные дороги соединили единой сетью южные районы России с морскими портами Азово-Черноморского бассейна [171, с. 22, 30, 36, 47, 52].

Таким образом, проведённый анализ строительства железных дорог в 1866-1902 гг. показал, что во второй половине 1860-х – первой половине 1870-х гг. просматривается значительный прирост протяжённости путей за счёт окончания строительства и ввода в эксплуатацию участков, строительство которых началось в предыдущий период. В 1868-1872 гг. ежегодный прирост железнодорожной сети в среднем составлял 1900 км [173, с. 97]. Во второй половине 1870-х – 1880-е гг. также наблюдается небольшой подъём возведения железных дорог за счёт ввода в эксплуатацию участков с малой протяжённостью. Спад ввода в эксплуатацию участков в конце 1880-х – начале 1890-х гг. связан с тем, что началось строительство новых крупных магистралей, которые были введены в эксплуатацию после 1902 г. (рисунок 23).

Интенсивное увеличение протяжённости железных дорог требовало всё большего количества рельсов. Кроме того, определённое количество рельсов требовалось для проведения ремонтных работ функционировавшей колеи.

Во второй половине XIX в. железные рельсы выпускали следующие заводы: Камский и Воткинский (1866-1875 гг.), Пермские пушечные (1879 г.), Нижнетагильские (1866-1881 гг.), Александровский (Брянский) (1874-1877 гг.), Людиновский (1878-1881 гг.), Утриловский (1881-1882 гг.), Новороссийского общества (1873-1881 гг.), Сулинский (1879-1881 гг.), Главного общества (1868-1874 гг.) и Путиловский (бывший Дей Ко) (1866, 1868-1874, 1877, 1879-1881 гг.) (рисунок 24), [16, с. 118-121].

а)
L,
км



б)
 ΔL ,
км

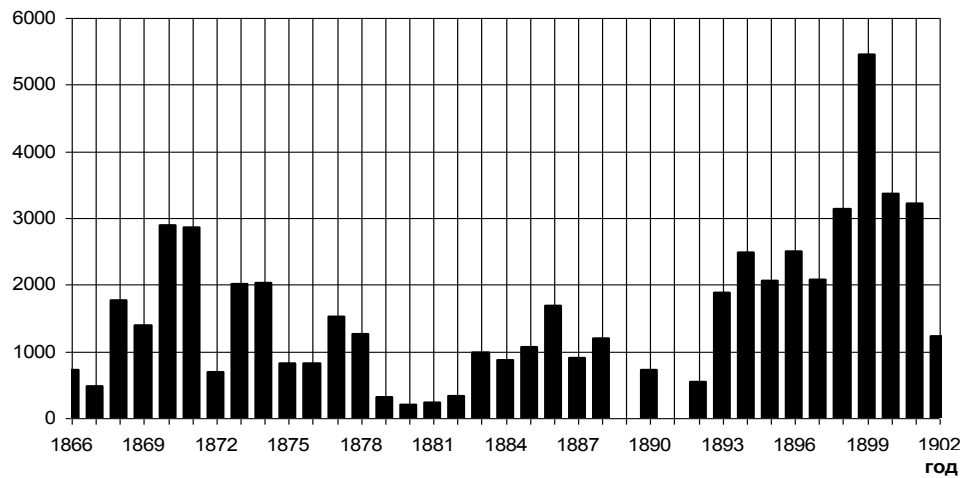


Рисунок 23 – Рост протяжённости пути (а) и ввод в эксплуатацию участков железных дорог (б) в 1866 – 1902 гг.

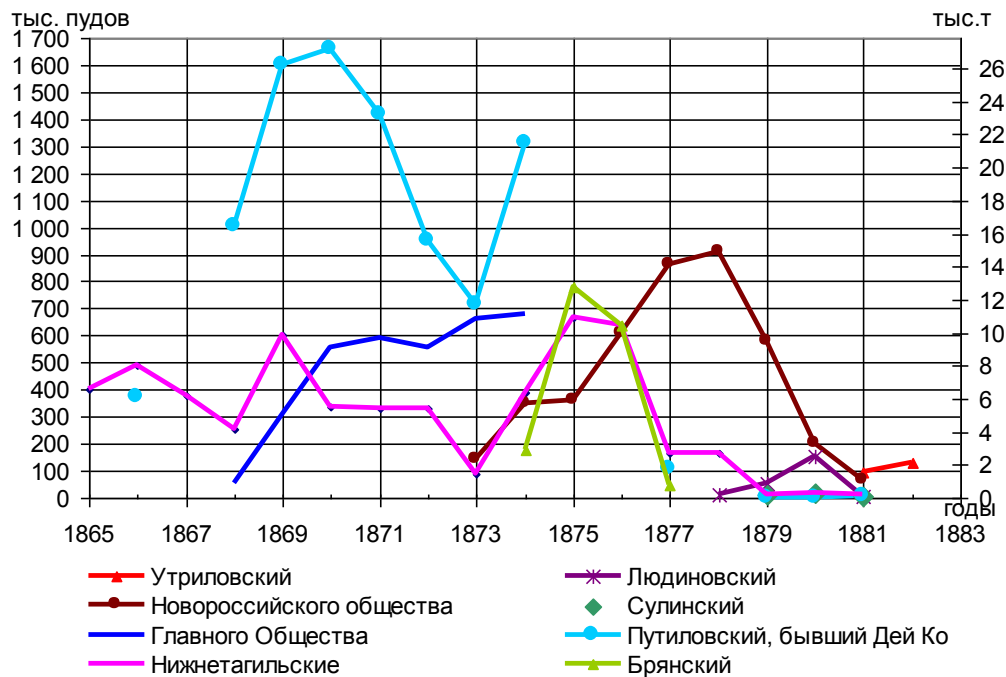


Рисунок 24 – Общий объём выпуска железных рельсов заводами в 1866 – 1882 гг.

Своевременная поставка рельсов обеспечивалась грамотными организаторами производства. Лютые морозы 1867 – 1868 гг. привели к тому, что железнодорожное сообщение в России было практически парализовано, так как импортные рельсы полопались от мороза. При строительстве завода Н.И. Путилов, приняв заказ на производство рельсов в начале января 1868 г., через три недели начал прокатку рельсов в 3 смены. Цена «путиловского рельса» была на 30 % меньше цены английского или немецкого аналога [174].

Повышение скоростей движения, комфорта пассажиров и увеличение нагрузок на ось требовало как улучшения конструкции верхнего строения пути, так и улучшения качества металла, из которого изготавливали рельсы. Поэтому был организован комплекс исследований по проведению дополнительной термической обработки готовых рельсов, совершенствованию их геометрических форм и размеров. Одновременно с этим необходимо было создать специальное рельсопрокатное производство, обеспечивавшее потребность железных дорог и гарантировавшее необходимое качество выпускаемой продукции, так как оно напрямую определяло безопасность движения поездов.

В рассматриваемый период наибольшее количество железных рельсов прокатали: Путиловский – 9,134 млн. пудов (149 тыс. т), Нижнетагильский – 4,880 млн. пудов (79 тыс. т), завод Новороссийского общества – 4,064 тыс. пудов (66,575 тыс. т) и завод Главного общества – 3,398 млн. пудов (55,66 тыс. т) (рисунок 25), [16, с. 118-121].

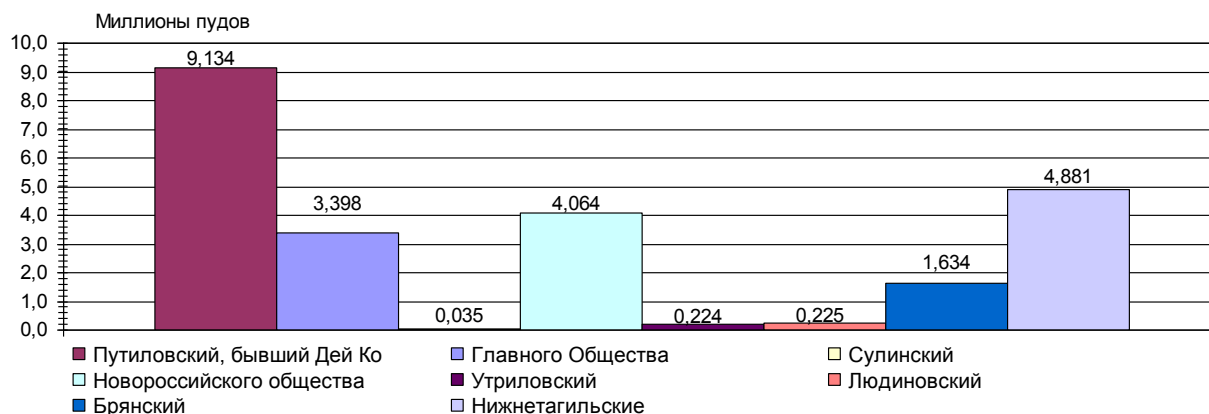


Рисунок 25 – Общий объём выпуска железных рельсов заводами в 1866 – 1882 гг.

Отсутствие стандартов на производство рельсов приводило к высокой вероятности выпуска бракованной продукции, поэтому на железных дорогах образовались залежи негодных рельсов, и в 1867 г. была начата их перепрокатка. Однако из-за неоднородности металла она не могла дать продукцию высокого качества [168, с.148].

В начале 1870-х г. государство, стремясь наладить собственное производство, обязало частные компании приобретать рельсы и подвижной состав у российских производителей.

Максимальное количество – 2,986 млн. пудов (48,914 тыс. т) железных рельсов было выпущено в 1874 г., и в дальнейшем выпуск железных рельсов стал сокращаться. В 1882 г. было выпущено всего 129,981 тыс. пуд (2,129 тыс. т). С 1883 г. выпуск железных рельсов был прекращён. Снижение объёма и прекращение выпуска железных рельсов объясняется тем, что с 1875 г. наряду с железными рельсами стали выпускаться и стальные. Динамика общего объёма выпуска железных рельсов всеми заводами в 1866 – 1882 гг. построена по данным работы [16, с. 118-121] и приведена на рисунке 26.

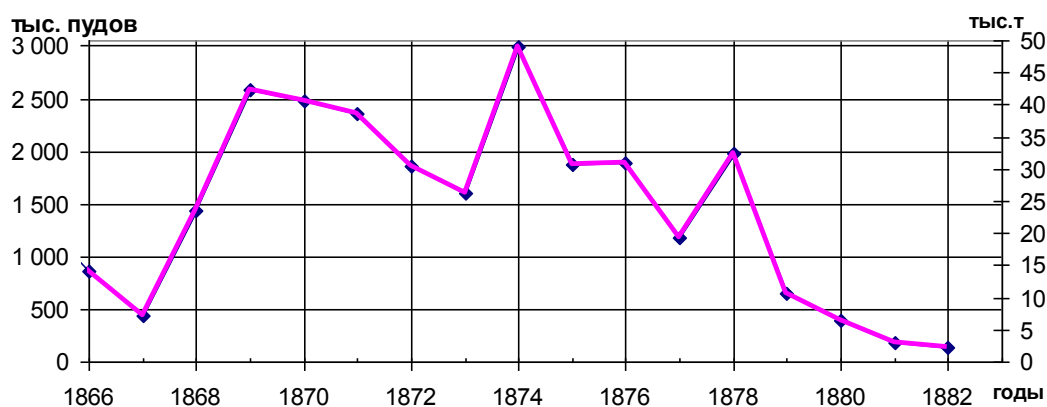


Рисунок 26 – Общий объём выпуска железных рельсов всеми заводами в 1866 – 1883 гг.

В начале 70-х г. XIX в. отечественные и зарубежные исследователи все-сторонне обосновали необходимость перехода на стальные рельсы [11; 17, 175]. 11 сентября 1874 г. на основании этих исследований министром путей сообщения К.Н. Посъетом (см. таблица 2) [176, 168, с. 149], было утверждено 4 новых типа стальных рельсов [10]. В 1866 г. были организованы опытные участки по внедре-

нию стальных рельсов на Николаевской, С.-Петербурго-Варшавской, Нижегородской и других железных дорогах (таблица 16) [16, с. 70-71].

Таблица 16 – Использование стальных рельсов на опытных участках, в пудах

Дороги	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874
Царскосельская						18 147	25 191	22 596	18 227
Варшаво-Венская								13 296	4 223
Николаевская	63 000				489 320	203 208	279 820	237 671	670 868
С-Петербурго-Варшавская	6 000	6 000			266 000	115 000	388 700	237 000	47 000
Нижегородская	13 918	12 828	520	1 148	1 384				21 270
Риги-Динабургская					6 918		13 889	8 008	89 251
Волго-Донская					13 130		8 599		
Московско-Рязанская								93 652	97 695
Московско-Ярославская							1 248	27 371	112 805
Одесская								45 258	262 129
Динабург-Витебская				10 214	7 844	11 755	248 375	61 867	349 638
Рязанско-Козловская			13 195					112 696	185 235
Московско-Курская								67 097	314 017
Рязско-Моршанская									136 067
Орловско-Грязевская									360 544
Орловско-Витебская							82 786	63 971	49 659
Курско-Харьково-Азовская									41 173
Тамбово-Козловская									21 696
Грязе-Царицинская									25 060
Рыбинско-Бологовская									5 382
Тамбово-Саратовская									44 140
Киево-Брестская									341 600
Козлово-Воронежско-Ростовская									154 372
Московско-Брестская									310 000
Ландварово-роменская								299 997	
Лозово-Севастопольская								300 000	
ИТОГО:	82 918	18 828	13 715	11 362	784 596	348 110	1 048 608	1 590 480	3 662 051

Первые стальные рельсы иностранного производства ввозились в Россию с 1873 г. Динамика ввоза железных и стальных рельсов в Россию из-за рубежа в 1869 – 1880 гг. представлена на рисунке 27 [16, с. 129-130].

Выбранный для исследования временной интервал, отображённый на диаграмме (рисунок 27), обусловлен тем, что только в 1868 г. рельсы были выделены в особую статью в таможенном тарифе [16, с. 131], что позволило отслеживать объём ввоза рельсов. За 12 лет (с 1868 по 1880 гг.) в Россию было ввезено почти 64,5 млн. пудов железных рельсов (свыше 1,0 млн. т), из которых беспошлинно – 73 % и около 52,0 млн. пудов стальных рельсов (свыше 850,0 тыс. т), из которых беспошлинно – 44 %. Таким образом, общий объём ввезённых рельсов составил

свыше 116,0 млн. пудов (1,9 млн. т), беспошлинно – 60 % [168, с. 149] (рисунок 28).

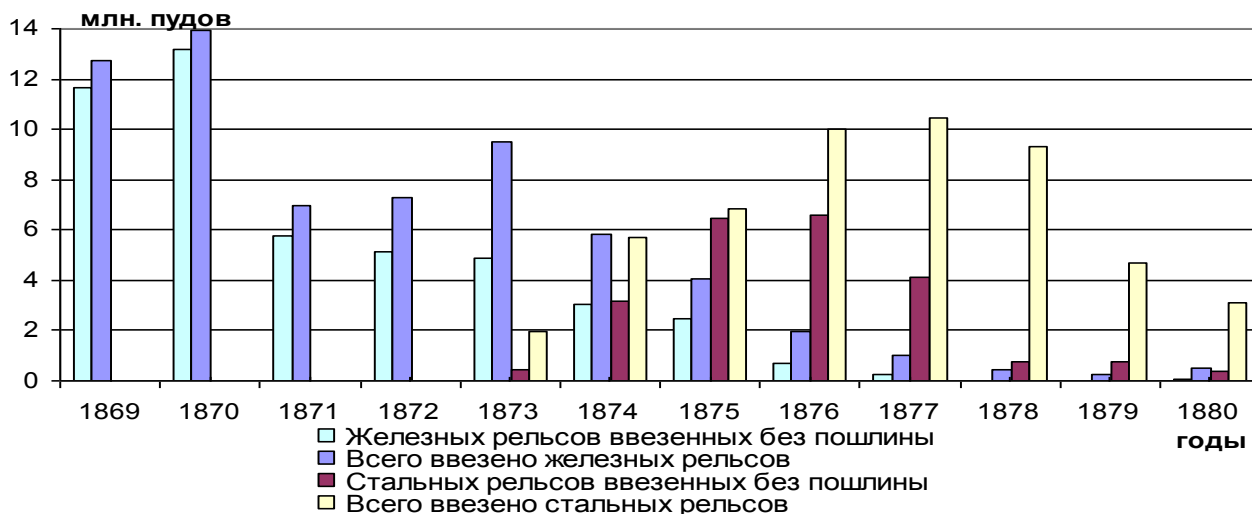


Рисунок 27 – Общий объём ввоза железных и стальных рельсов в Россию в 1869 – 1880 гг.

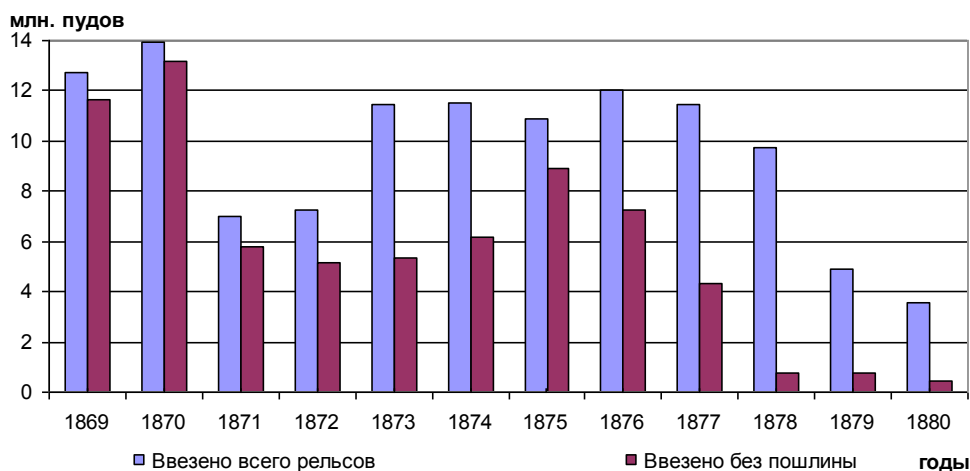


Рисунок 28 – Общий объём ввоза рельсов в Россию в 1869 – 1880 гг.

Впервые выпуск отечественных стальных рельсов был поручен Путиловскому заводу. Ежегодно в течение 1875 – 1876 гг. им выпускалось по 800,0 тыс. пудов (13,105 тыс. т) стальных рельсов. С 1877 г. выпуск стальных рельсов начали постепенно осваивать Нижнетагильский и Брянский заводы, с 1878 г. – завод «Гута-Банкова», с 1879 г. – Катавь-Ивановский, Александровский стале-рельсовый и Варшавский (Прагский) заводы, с 1880 г. – завод Новороссийского Общества, с 1889 г. – Каменский завод Днепровского общества, с 1890 г. – Александровский завод Брянского общества [16, с. 118-121].

По объёму выпущенной продукции можно выделить две группы рельсо-прокатных заводов: группа 1 – выпускавшие в год не более 1,6 млн. пудов

(26,2 тыс. т) рельсовой продукции (рисунок 29) и группа 2 – до 4,1 млн. пудов (до 67 тыс. т) [168, с. 150] (рисунок 30).

3 июня 1880 г. был отменен беспошлинный ввоз чугуна и стали в Россию благодаря широкому освоению рельсопрокатного производства отечественными заводами [16, с. 129].

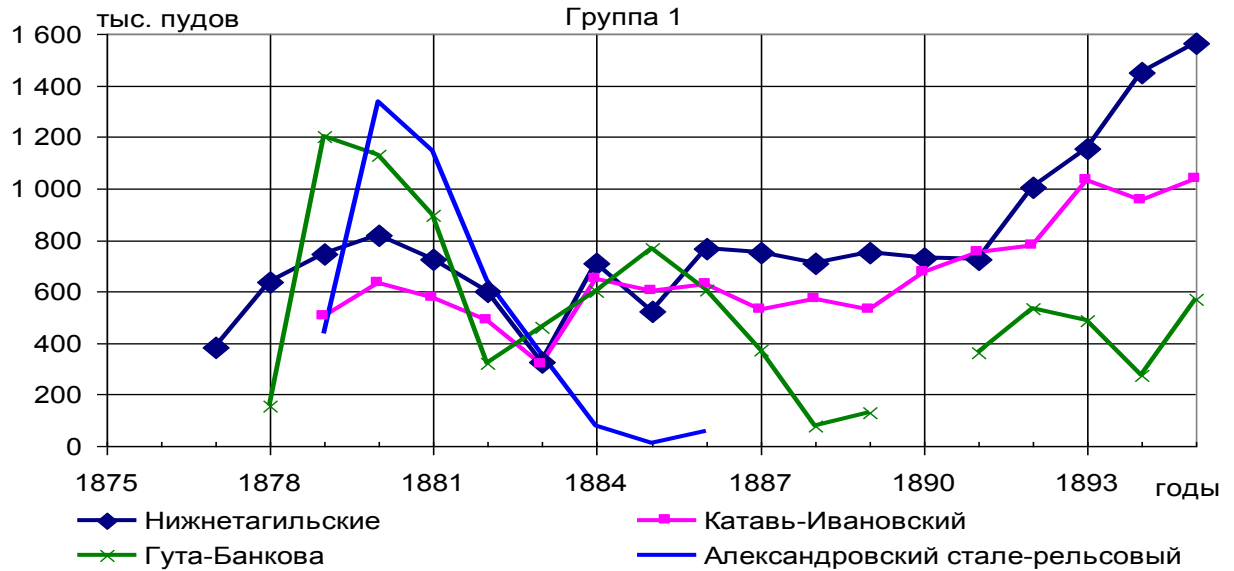


Рисунок 29 – Общий объём производства стальных рельсов в России заводами группы 1

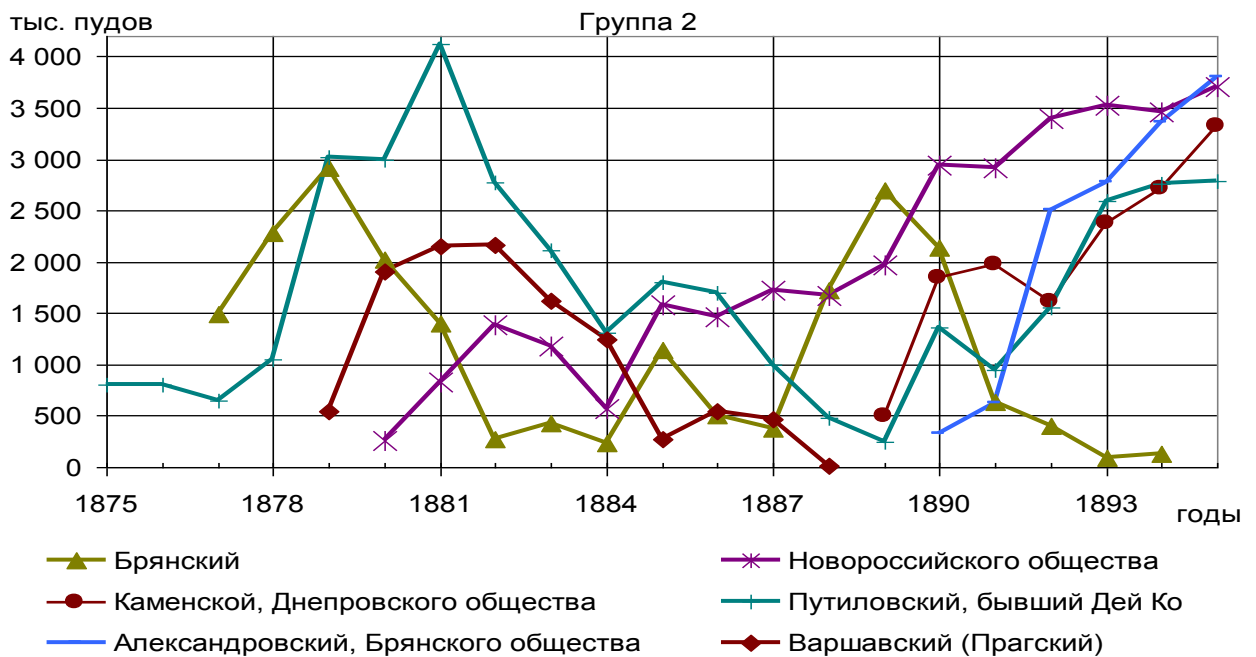


Рисунок 30 – Общий объём производства стальных рельсов в России заводами группы 2

Общий объём выпуска стальных рельсов всеми заводами в 1875 – 1895 гг. приведён на рисунке 31.

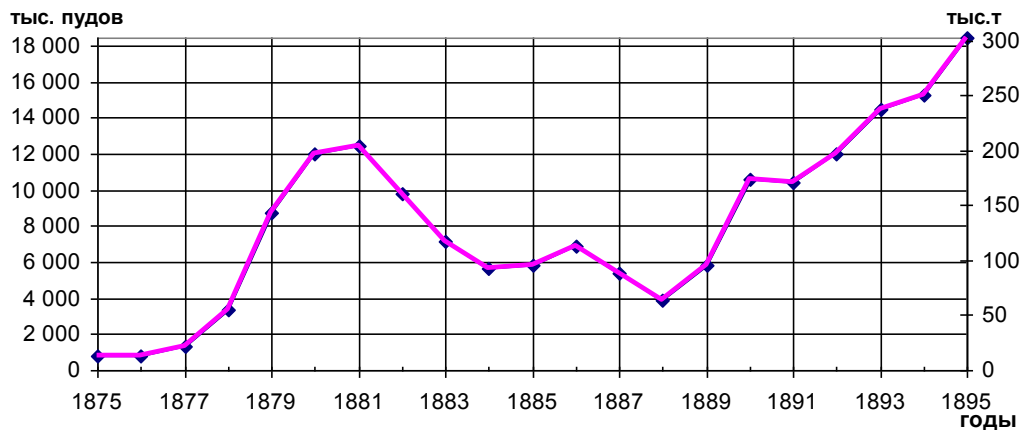


Рисунок 31 – Общий объём выпуска стальных рельсов всеми заводами в 1875 – 1895 гг.

В период экономического кризиса середины 1880-х гг. базовые металлургические заводы получили государственные заказы на производство рельсов и смогли, выдержав конкуренцию иностранных производителей, завоевать рельсовый рынок, что подтверждается снижением ввоза рельсов иностранного производства (рисунок 28) и значительным ростом объёма отечественного производства в 1890-е гг. (рисунок 32) [16, с. 118-121].

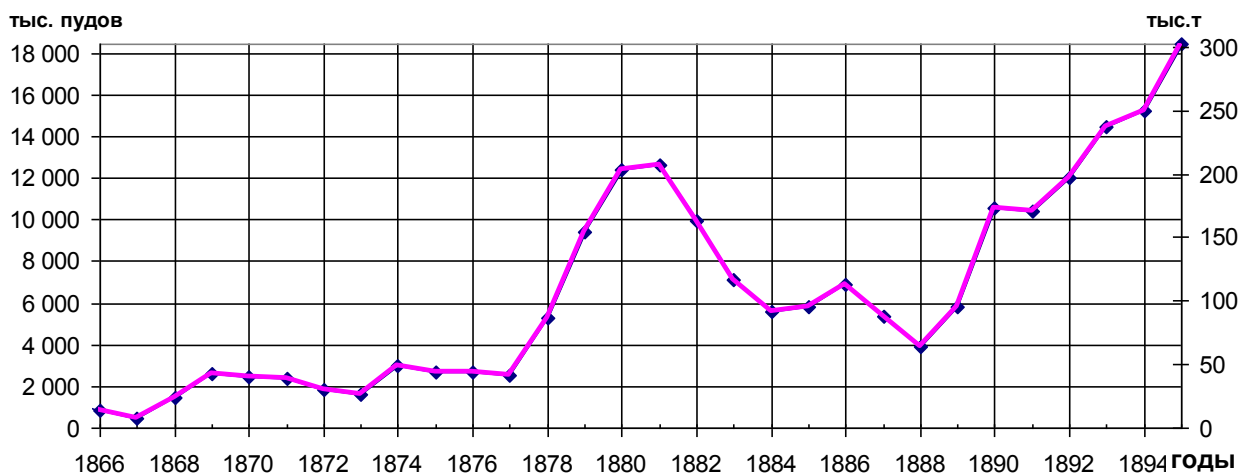


Рисунок 32 – Общий объём выпуска рельсов всеми заводами в 1866 – 1895 гг.

Таким образом, с 1866 по 1895 гг. года отечественные заводы выпустили 195,965 млн. пудов (3,210 млн. т) рельсов [168, с. 150].

В период после 1895 г. подробной статистики найти не удалось, однако по Брянскому, Днепровскому, и Александровскому заводам имеются неполные данные, отражающие общую динамику производства рельсов (рисунок 33) [18, с. 127, 157].

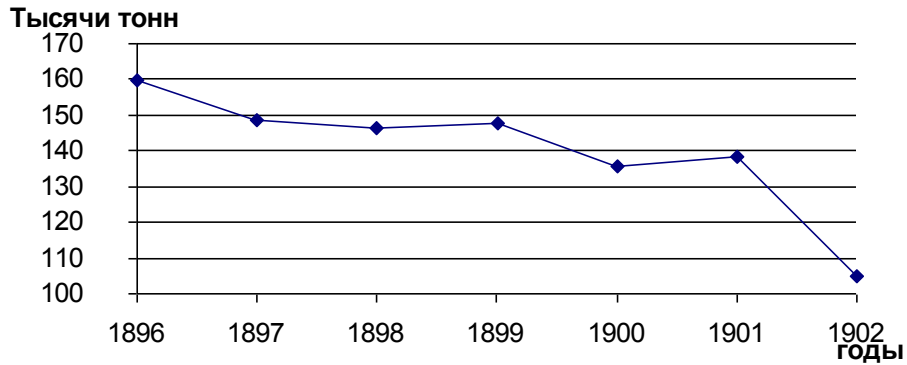


Рисунок 33 – Общий объём выпуска рельсов Брянским, Днепровским и Александровским заводам, в период с 1896 по 1902 гг.

Сводя воедино рисунки 32, 33 и учитывая рост протяжённости пути (рисунок 23), получаем динамику выпуска и потребления рельсов на вновь возведённых железных дорогах за период с 1866 по 1902 гг. (рисунок 34).



Рисунок 34 – Общий объём выпуска и укладки рельсов на новые дороги в 1866 – 1902 гг.

Спад производства рельсов, начиная с 1896 г., объясняется неполнотой данных. Несмотря на общую тенденцию сокращения производства, потребность в рельсах в ходе строительства новых отечественных железных дорог удовлетворялась.

2.3. Выпуск рельсов в 1903 – 1946 гг.

Москва, завоевав центральное место в сети железных дорог России, продолжала оставаться опорной точкой для возникновения новых направлений, обеспечивающих связь между удалёнными друг от друга губерниями. Открытое с 1871 г., движение на Московско-Брестской, с 1891 г. - Московско-Казанской, с 1895 г. - Московско-Киево-Воронежской, и с 1897 г. - Московско-Виндаво-Рыбинской железных дорогах определили Москву в начале XX в., как центральный узел сети железных дорог, связывавший все направления европейской части России, а также восточные и дальневосточные направления [171, с. 15, 45, 52, 55].

В 1903 – 1908 гг. для обеспечения связи между товарными станциями, расположенными на радиальных линиях была построена вокруг Москвы Московская окружная железная дорога протяжённостью 54 км. Данная дорога позволила провозить транзитные грузы, минуя Москву. В этот же период была возведена Прибалтийская железная дорога, которая дала выход России к портам Балтийского моря и сыграла значительную роль в развитии производительных сил региона [171, с. 76].

В период 1906-1916 гг. в сложных климатических условиях был построен конечный участок Транссибирской магистрали. Ввод его в эксплуатацию способствовал развитию золотодобывающей промышленности, лесоразработок, рыбного и пушного промыслов. В этот же период было завершено строительство и других участков Транссибирской магистрали, что позволило начать регулярное сквозное движение по территории России.

В 1903 г. завершилось строительство Китайско-Восточной железной дороги, которая во время Русско-японской войны 1904-1905 гг. обеспечивала перевозку воинских частей и грузов.

До начала Первой Мировой войны было завершено строительство отдельных веток и сданы в эксплуатацию участки на Николаевской, Пермской, Полесских, Прибалтийских, Привислинских, Приволжской, Северных, Северо-Западных, Самаро-Златоустовской и Северо-Кавказских железных дорогах.

Построенные железные дороги сыграли важную роль в организации поставок боеприпасов на фронты в ходе Первой Мировой войны. Николаевская железная дорога обеспечивала пропуск более 1700 вагонов в сутки через Петроградский узел, на которых шли грузы для Северного фронта. Такую же роль выполняла и Московско-Брестская железная дорога, перевозя боеприпасы, продовольственные грузы, воинские эшелоны, а в обратном направлении – беженцев и раненых.

К концу 1917 г. количество железных дорог и подъездных путей, учитываемое железнодорожной статистикой, достигло 73 [171, с. 3-4].

Начиная с 1918 г., часть железных дорог и подъездных путей была выведена из строя или оказалась в других государствах, в связи с изменением границ.

В период ведения военных действий в ходе Первой Мировой войны, Октябрьской революции и Гражданской войны прирост протяжённости железных дорог был замедлен, потребовалось восстановление разрушенных железнодорожных путей и промышленности, в первую очередь, металлургии и тяжёлого машиностроения. Большие объёмы железнодорожного строительства были выполнены в 1920-1930-е гг. на Белорусской железной дороге. Началось строительство железных дорог в Средней Азии, в том числе была проложена Туркестано-Сибирская магистраль (с 1932 г.) и завершено строительство Азербайджанской железной дороги (с 1946 г.). На Восточно-Сибирской железной дороге (с 1834 г.) проводились техническая реконструкция дороги и строительство новых линий [171, с. 113; 172].

В 1925 г. Кольчугинская линия между станцией Юрга и Кузнецком–Сибирским (Новокузнецк) была продлена до станции Усяты (Прокопьевск) и получила выход на главный сибирский ход. В 1930-е гг. были продлены участки Новосибирск–Ленинск, Кузнецк–Тимертау и др.

В начале 1920-х гг. на Северо-Кавказской железной дороге были восстановлены не только пути и другие железнодорожные объекты, но и значительно реконструированы и введены в эксплуатацию новые участки. В годы Великой Отечественной войны на дороге формировались воинские эшелоны с оружием, боеприпасами, продовольствием; продолжали строиться новые участки.

Линия Ташкент–Оренбург (с 1905 г. Ташкентская железная дорога) открыла прямой выход Средней Азии к торгово-промышленным городам Центральной России. В 1920-1930-е гг. на железной дороге проводилась реконструкция и построен ряд новых линий [171, с. 71].

Для связи европейской и азиатской территориями страны была построена Карагандинская железная дорога (с 1941 г.), обслуживавшая северный и центральный Казахстан и соединившая сельскохозяйственные районы с крупными территориально-промышленными комплексами. [171, с. 125].

Восстановленная в 1920-е гг., Юго-Восточная железная дорога превратилась в одну из мощных магистралей страны в 1930-е гг. В годы Великой Отечественной войны дорога работала с огромным напряжением, обслуживая Южный, Воронежский, Донской, Брянский, Сталинградский фронты.

Юго-Западная железная дорога значительно увеличила протяжённость в результате ввода новых линий. С первых дней Великой Отечественной войны дорога стала прифронтной. В послевоенные годы велось восстановление разрушенных участков.

Железные дороги, расположенные на западных территориях страны, оказались на линии фронта и являлись основными транспортными магистралями в районах военных действий. По железным дорогам велась эвакуация населения, оборудования промышленных предприятий, к линии фронта доставлялись боеприпасы и продовольствие. За годы войны на железных дорогах было разрушено более 25 % главных и свыше 30 % станционных путей [172]. Восстановление разрушенного хозяйства велось по мере освобождения территорий. В 1944 г. на дорогах было налажено движение, и началась доставка грузов армии. Так, например, в 1944 г. в ходе летнего наступления по Белорусской железной дороге по линии Смоленск–Орша–Минск–Молодечно за 1,5 месяца проследовало свыше 45 тыс. вагонов с воинским снаряжением и продовольствием. На других железных дорогах, прилегавших к западным границам, также началось восстановление, но не везде оно велось быстрыми темпами. Так, например, возрождение Молдавской железной дороги началось только в конце 1940-х гг.

Из-за военных действий на других железных дорогах также резко возрастала грузонапряжённость, так как из восточных районов к местам боевых действий перебрасывалась военная техника, людские резервы и продовольствие. Война привела в нерабочее состояние даже ряд участков Байкало-Амурской магистрали (БАМ), построенных в довоенный период. Так, например, в 1942 г. участок Бам–Тында был разобран, рельсы переданы для рокадной дороги вдоль р. Волги, необходимость в которой появилась в связи с обороной Сталинграда [172].

Вплоть до 1910 г. общий объём выпуска рельсов заводами России сокращался незначительно. В преддверии Первой Мировой войны производство рельсов существенно сократилось, а с 1917 до середины 1920-х гг. рельсы практически не выпускались. Основная часть требуемых железными дорогами рельсов закупалась за рубежом [106] (рисунок 35).

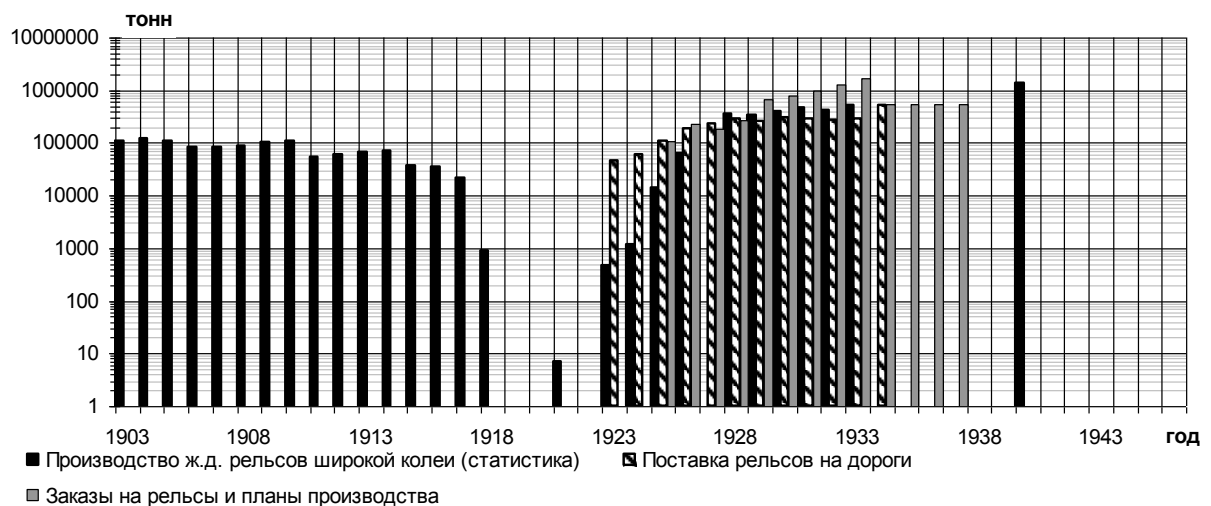


Рисунок 35 – Открытые статистические данные об общем объёме выпуска рельсов всеми заводами, заказах и поставках рельсов на железные дороги в 1903 – 1946 гг.

В ходе возрождения народного хозяйства страны увеличился выпуск рельсов для строительства новых и восстановления разрушенных железнодорожных путей в период между Первой Мировой и Гражданской войнами. Для увеличения объёмов выпуска рельсов была создана коллегия Народного комиссариата путей сообщения (НКПС), которая оценила возможные перспективы строительства железных дорог. В 1927 г. на совместном заседании коллегии НКПС и Главчермета был разработан перспективный план выпуска рельсов для нужд железных дорог на 1928-1933 гг. [164], утверждённый в плане первой пятилетки страны [177]. Срав-

нение запланированных и произведённых объёмов [178], а также данных о заказах на поставку рельсов [179, 18] и планов развития народного хозяйства СССР в отдельные пятилетки [180] показывает, что они не совпадали и не выполнялись. Поэтому полностью обеспечить выпуск рельсов в намеченном объёме не удалось (рисунок 36).

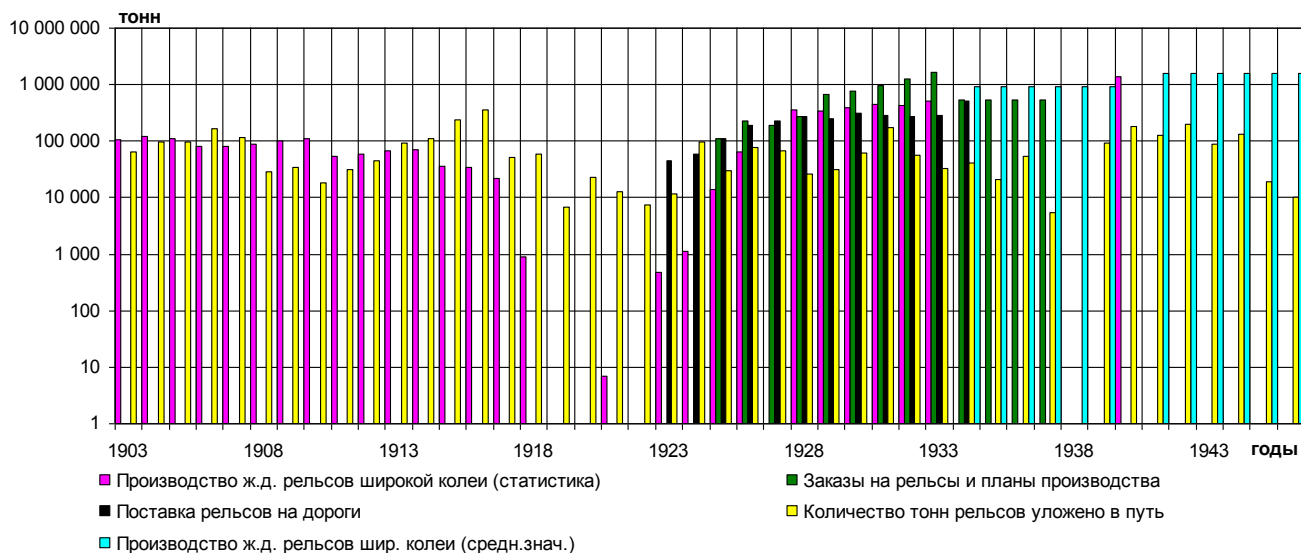


Рисунок 36 – Общий объём выпуска рельсов всеми заводами по годам в первой половине XX в. (статистика и расчёт),

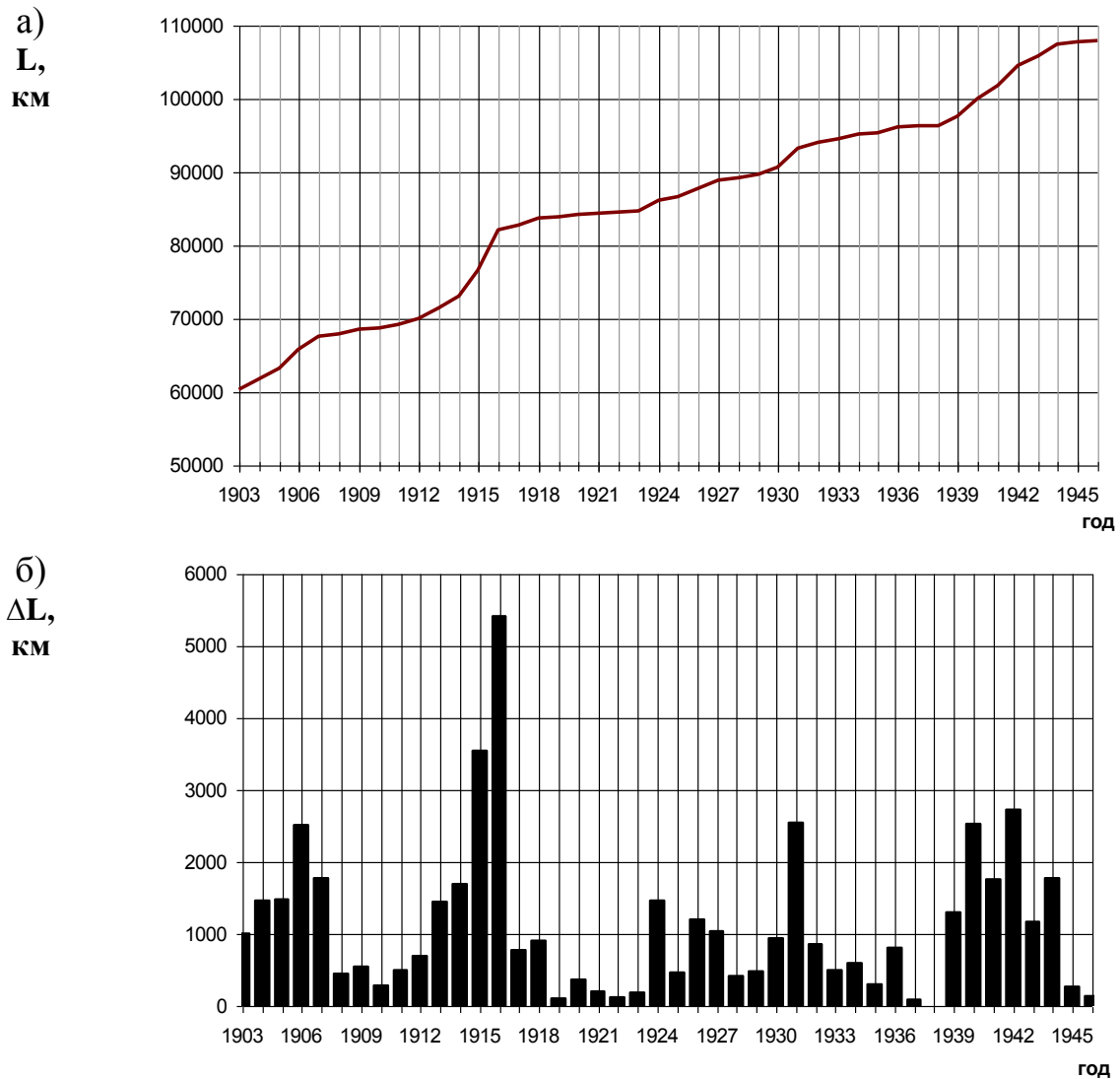
а также поставки, заказы и планы производства рельсов в 1903 – 1946 гг.

В открытой печати не удалось найти данные об общем объёме выпущенных рельсов отдельными заводами за период с 1903 по 1946 гг. Поэтому нами было принято допущение: при достаточно стабильной плановой экономике СССР общий объём выпуска рельсов был рассчитан как среднее значение от известных данных объёма выпуска этого периода (рисунок 36).

Только к началу 1930-х гг. был достигнут уровень выпуска рельсов конца XIX в. Во второй пятилетке (1933-1937 гг.) в основном велись работы по реконструкции и модернизации путевого хозяйства, в том числе укладывались вторые пути и рельсы лёгкого типа заменялись рельсами тяжёлых типов [76, с. 217-218].

Таким образом, исследование развития железнодорожной сети в период с 1902 по 1946 гг. показало, что большое влияние на рост протяжённости пути и ввод в эксплуатацию участков оказывали такие внешние факторы, как революции, войны и экономическое положение в стране. Начало 1920-х гг. характеризуется

малым приростом протяжённости пути, а в период развития промышленности и восстановления железных дорог, разрушенных в ходе Первой Мировой и Великой Отечественной войн, наблюдается заметный прирост и ввод участков в эксплуатацию (рисунок 37).



**Рисунок 37 – Рост протяжённости пути (а)
и ввод в эксплуатацию участков железных дорог (б) в п 1903 – 1946 гг.**

Несмотря на указанные отрицательные факторы, протяжённость железнодорожного пути за рассмотренный период увеличилась почти вдвое, что приблизительно соответствует темпу строительства в предыдущий период.

2.4. Выпуск рельсов в 1947 – 2011 гг.

После Великой Отечественной войны вся сеть железных дорог была разделена на 56 дорог. В дальнейшем их количество стало уменьшаться за счёт укрупне-

ния участков. Возрождение железных дорог, пострадавших во время Великой Отечественной войны, активно началось в конце 1940-х гг. Так, например, на Прибалтийской железной дороге, одновременно с восстановлением разрушенного войной хозяйства осуществлялась реконструкция железнодорожного пути с укладкой рельсов тяжёлого типа, при этом 35 % общей длины главных путей составил бесстыковой путь, интенсивно строились вторые пути.

Было продолжено строительство новых участков и завершены начатые до войны стройки. Так, например, в 1946 г. в Средней Азии были введены в эксплуатацию линии Чирчик-Барраж, Джамбул-Чулак-Тау и др. [171, с.134]. Также активно проводились работы на приостановленных стройках, прокладке новых и реконструкции железных дорог, расположенных на востоке страны. В 1947 г. на Дальневосточной железной дороге вступила в строй линия Комсомольск-на-Амуре-Советская Гавань, с помощью которой был получен второй выход к Тихому океану и сокращены на 1000 км морские перевозки грузов на Сахалин, Камчатку и в Магаданскую область. В послевоенные годы на Восточно-Сибирской железной дороге мощное индустриальное развитие региона, широкое вовлечение в хозяйственный оборот природных ресурсов, освоение новых месторождений полезных ископаемых в отдалённых районах обусловили значительный рост перевозок, потребовали дальнейшего её технического перевооружения и реконструкции. В 1958 г. в постоянную эксплуатацию была сдана линия Тайшет-Лена, которая связала бассейны рек Ангары и Лены с сетью железных дорог Сибири, открыла кратчайший доступ к месторождениям полезных ископаемых в бассейне Ангары, обеспечила бесперебойную доставку грузов в северные районы Иркутской области и Якутию. На Западно-Сибирской железной дороге с помощью сданных в 1952 г. в эксплуатацию участков Барнаул-Артышта-пассажирская и Барнаул-Кулунда был открыт новый (второй) выход из районов Сибири в западном направлении, для растущих грузопотоков между районами Сибири и Урала. В начале 1960-х гг. было закончено строительство основного звена среднесибирской магистрали Барнаул-Карасук-Омск. В 1948 г. на Кемеровской железной дороге было открыто прямое сообщение Москва-Кемерово; в 1952 г. вступила в

строй линия Артышта–Алтайская, в 1959 г. – Новокузнецк–Абакан. В 1960-е гг. были проложены пути к новым месторождениям полезных ископаемых.

В 1949 г. началось строительство Южно-Сибирской линии на участке Новокузнецк–Абакан Красноярской железной дороги. В 1950 г. приступили к прокладке железной дороги на Абазу – крупном железорудном месторождении Хакасии. В 1960-е гг. были построены линии Ачинск–Лесосибирск, Красная Сопка–Кия–Шалтырь, Камышта–Саяно-Шушенская ГЭС. Строительство железной дороги Абакан – Тайшет с веткой Уяр–Саянская протяжённостью 713 км, завершённое в 1965 г., связало Красноярский край с Кузбассом, Средней Азией, Казахстаном и Восточной Сибирью.

В 1953 г. на Карагандинской железной дороге была построена линия Акмолинск–Павлодар протяжённостью 438 км. Масштабное железнодорожное строительство способствовало освоению целинных земель и развитию Павлодаро-Экибастузского промышленного комплекса. На ряде участков были построены вторые пути на направлении Акмолинск–Карталы; для вывоза зерна из глубинных районов проложены узкоколейные линии: Атбасар–Краснознаменская, Ковыль-ная–Ломоносовская и др. Были возведены новые линии Курган–Кзыл-Ту, Кустанай–Тобол–Джетыгара и др. [171, с. 146].

В 1979 г. была завершена прокладка БАМ [171, с. 196].

В конце 1980-х гг. на Северной железной дороге началось строительство линий к нефтяным месторождениям на полуострове Ямал. Большие работы по постройке новых линий проводились в конце 1980- начале 1990-х гг. на Северо-Кавказской железной дороге.

В 1980-е гг. Октябрьская железная дорога превратилась в мощную технически оснащённую магистраль: после реконструкции пути впервые в СССР наряду с обычными пассажирскими и электропоездами была организована эксплуатация скоростных электропоездов ЭР200 на главном С.-Петербурго–Московском направлении.

В конце 1980-начале 1990-х гг. производилась перешивка железнодорожной колеи с 1524 мм на 1520 мм.

В первой половине 1990-х гг. из-за смены социально-экономического строя были резко сокращены рост протяжённости и ввод в эксплуатацию новых участков железных дорог. В середине 1990-х гг. было принято решение о переходе укладки стрелочных переводов на железобетонные основания, в связи с созданием бесстыкового пути. Такие стрелочные переводы потребовали разработки специальной технологии по их вварке в основной путь.

В период с 1947 г. по настоящее время выпуск рельсов осуществлялся Кузнецким и Нижнетагильским металлургическими комбинатами, а также другими металлургическими заводами СССР, которые после 1991 г. оказались на территории других государств (например, завод Азовсталь), в объёмах, приведённых на рисунке 38 [129 – 147; 148].

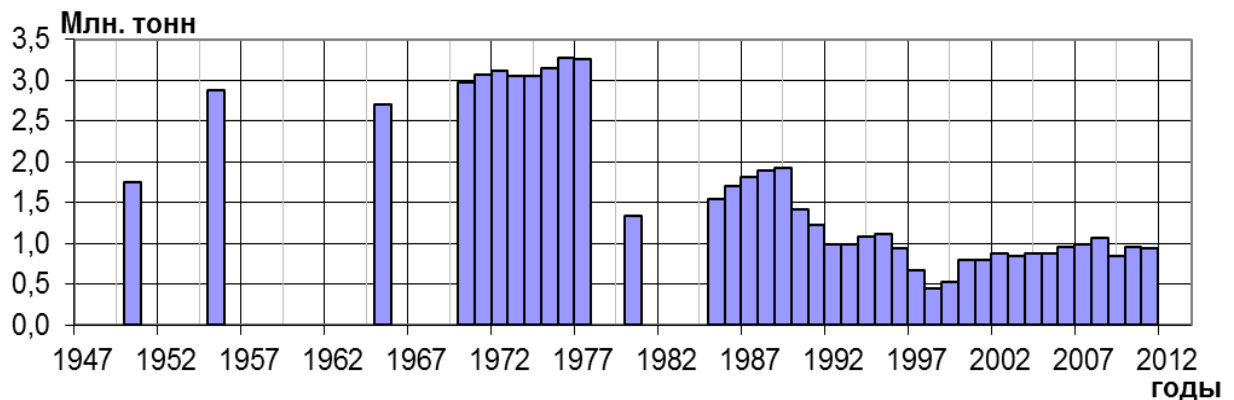


Рисунок 38 – Общий объём выпуска рельсов металлургическими комбинатами и заводами в 1947 – 2012 гг.

С 1951 г., в связи с повышением грузонапряжённости линий, в ходе возведения железнодорожного полотна отказались от укладки в путь рельсов Р33, а с 1959 г. – Р38. С 1953 г. началась укладка рельсов типа Р65 [76, с. 220].

Пик производства рельсов пришёлся на 1976-1977 гг., что было обусловлено повышенным спросом на продукцию в ходе строительства основной части Байкало-Амурской магистрали. Изменения в политической и экономической ситуации в СССР в 1980-е гг. и России в 1990-е гг., в том числе застой первой половины 1980-х гг., последствия распада СССР в 1992-1993 гг., дефолт – 1998 г. и др. обусловили резкое уменьшение объёмов производства рельсов.

Развитие высокоскоростного движения в большей степени определяется состоянием рельсового хозяйства, чем подвижного состава. В 1994-1999 гг. остро

стоял вопрос о производстве отечественного рельсового проката, необходимого для высокоскоростного движения. Ввиду отсутствия необходимого рельсового материала МПС РФ приняло решение закупать рельсовое полотно в Японии, однако оно не было поддержано на государственном уровне [181].

Начиная с 1999 г. шло постепенное наращивание производства рельсов. В настоящее время в России железнодорожные рельсы производят Кузнецкий и Нижнетагильский металлургические комбинаты.

В 2007 г. ОАО «РЖД» ужесточило требования к качеству поставляемой продукции, что привело к сокращению заказов на рельсы для совмещённого и скоростного движения (численные данные в открытой печати отсутствуют) [181].

Отсутствие полных данных об общем объёме производства и их поставках рельсов на железные дороги за период с 1947 по 2009 г. вынуждает использовать средние значения (рисунок 39).

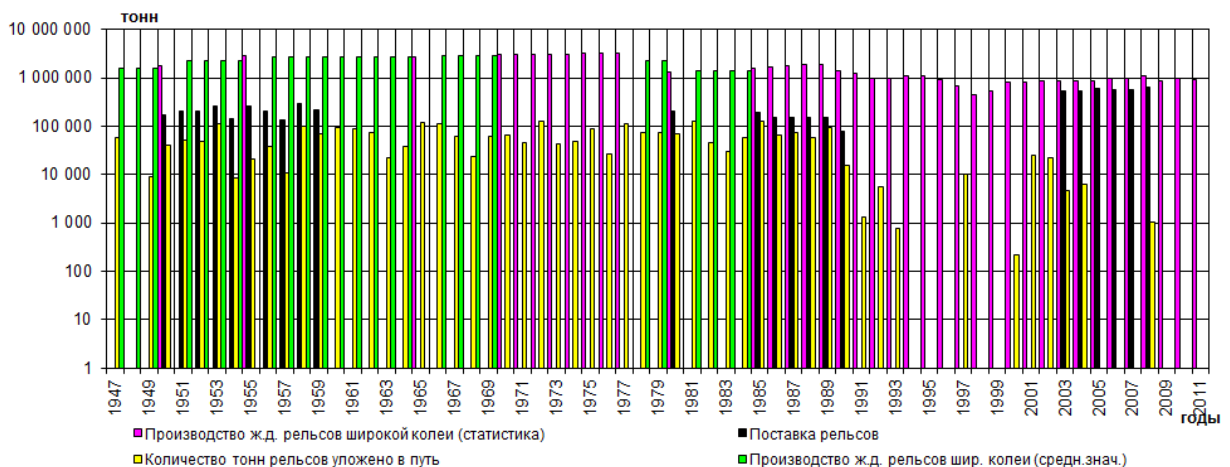
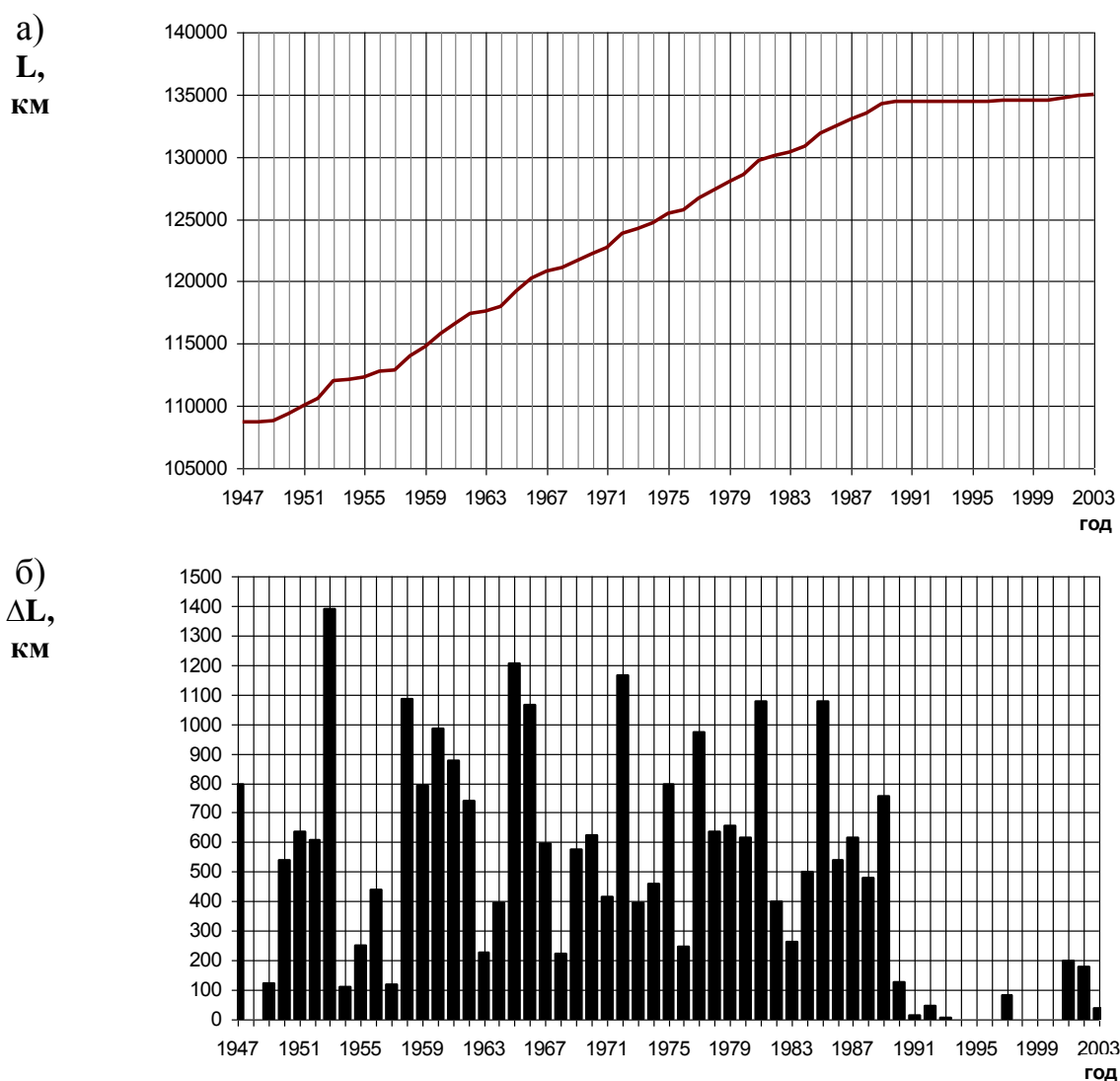


Рисунок 39 – Общий объём производства рельсов металлургическими комбинатами и заводами и их поставки на железные дороги в 1947 – 2011 гг.

Проведённый анализ строительства и ввода в эксплуатацию новых участков в период с 1947 по 2003 гг. (рисунок 40) показал, что за счёт прироста протяжённости железных дорог обеспечивались потребности отдельных регионов СССР и России в полезных ископаемых, промышленных товарах, сельскохозяйственных продуктах. Восстановление железнодорожного полотна после Великой Отечественной войны и интенсивное строительство железных дорог во второй половине XX в. потребовало производства значительных объёмов металла, в том числе

и рельсов. Для выпуска рельсов были открыты или перепрофилированы металлургические заводы.

В данный период общий прирост протяжённости железных дорог оказался значительно меньшим по сравнению с двумя предыдущими периодами, что связано со значительными восстановительными работами разрушенных путей во время Великой Отечественной войны, переходом на более тяжёлые типы рельсы – с Р50 на Р65 и Р75, перешивкой всей железнодорожной сети с 1524 мм на 1520 мм и заменой деревянных шпал на железобетонные, что позволило модернизировать весь путь, сделав его на многих участках бесстыковым, и дало возможность повысить скорость движения поездов, безопасность и комфорт пассажиров.



**Рисунок 40 – Рост протяжённости пути (а)
и ввод в эксплуатацию участков железных дорог (б) в 1947 – 2003 гг.**

В таблице 17 [171] показано, какие крупные участки пути на железных дорогах России и СССР были открыты в каждом выделенном периоде и в отдельные их этапы, указана общая протяжённость введённого в эксплуатацию пути за отдельный этап и за каждый период целиком.

В 2002-2011 гг. было введено 1071,7 тыс. км новых железнодорожных линий [5, с. 12].

Строительство и ввод в эксплуатацию новых крупных участков пути требовало создания и определённой инфраструктуры. В связи с этим данный участок пути присоединялся к существующей железной дороге или для него создавалась новая дорога и их количество изменялось.

Таблица 17 – Открытие крупных участков пути на железных дорогах России и СССР

Период	Этап периода	Дороги, на которых открывались крупные участки пути	Введено в эксплуатацию, за этап периода, км	Введено в эксплуатацию, за период, км
1	2	3	4	5
1789-1865	1838 ¹ -1844	Царскосельская	26,7	3813,5
	1845-1855	Варшаво-Венская, С-Петербурго-Московская, Петербург-Варшавская	1017,5	
	1856-1865	Московско-Казанская, Московско-Нижегородская, Муромская, Молдавская, Московско-Казанская, Петербург-Варшавская, Риго-Динабургская, Риго-Орловская, Северо-Западные, Северо-Кавказская, Юго-Восточные	2769,4	

¹ До 1838 г. в России железных дорог общего пользования не было.

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
1866-1902	1866-1878	Донецкая, Екатерининская, Закавказские, Моршано-Сызранская, Либаво-Ромельская, Молдавская, Московско-Брестская, Московско-Виндаво-Рыбинская, Московско-Курская, Николаевская, Одесская, Пермская, Привислинные, Приволжская, Приднепровская, Риго-Орловская, Рязанско-Уральская, Северная, Северные, Северо-Западные, Северо-Кавказская, Ташкентская, Юго-Восточные, Юго-Восточная, Юго-Западная, Юго-Западные, Южная, Южные, Южно-Уральская	19173,1	55490,9
	1879-1891	Азербайджанская, Владикавказская, Восточно-Сибирская, Дальневосточная, Донецкая, Екатерининская, Закавказские, Моршано-Сызранская, Московско-Брестская, Московско-Виндаво-Рыбинская, Одесская, Пермская, Полесские, Привислинные, Приволжская, Риго-Орловская, Рязанско-Уральская, Северо-Западные, Среднеазиатская, Сызрано-Вяземская, Транссиб, Уссурийская, Юго-Восточная, Юго-Западные, Южная, Южные, Южно-Уральская	8441,3	
	1892-1902	Московско-Казанская, Московско-Киево-Воронежская, Владикавказская, Восточно-Сибирская, Дальневосточная, Екатерининская, Забайкальская, Закавказские, Западно-Казахстанская, Западно-Сибирская, Китайско-Восточная, Красноярская, Кругобайкальская, Моршано-Сызранская, Либаво-Ромельская, Московско-Брестская, Московско-Виндаво-Рыбинская, Московско-Казанская, Пермская, Привислинные, Приволжская, Риго-Орловская, Рязанско-Уральская, Северная, Северные, Северо-Западные, Среднеазиатская, Среднесибирская, Сызрано-Вяземская, Транссиб, Уссурийская, Юго-Восточные, Юго-Восточная, Юго-Западная, Юго-Западные, Южная, Южные, Южно-Уральская	27876,4	
1903-1946	1903-1918	Московско-Казанская, Амурская, Алма-Атинская, Варшаво-Венская, Владикавказская, Восточно-Сибирская, Горьковская, Дальневосточная, Донецкая, Екатерининская, Забайкальская, Закавказские, Западно-Казахстанская, Казахстанская, Западно-Сибирская, Китайско-Восточная, Красноярская, Кругобайкальская, Моршано-Сызранская, Московская Окружная, Московско-Виндаво-Рыбинская, Московско-Казанская, Николаевская, Полесские, Прибалтийские, Привислинные, Приволжская, Рязанско-Уральская, Северные, Северо-Кавказская, Среднеазиатская, Ташкентская, Транссиб, Юго-Западная, Южная, Южные	24408,3	48594,3
	1919-1937	Алма-Атинская, Восточно-Сибирская, Дальневосточная, Донецкая, Закавказские, Казахстанская, Западно-Сибирская, Кемеровская, Красноярская, Куйбышевская, Приволжская, Северо-Кавказская, Среднеазиатская, Целинная, Юго-Западная, Южная, Южно-Уральская	12555	
	1938-1946	БАМ, Горьковская, Дальневосточная, Донецкая, Закавказские, Казахстанская, Западно-Сибирская, Молдавская, Московская, Приволжская, Приднепровская, Северная, Северо-Кавказская, Среднеазиатская, Туркестано-Сибирская, Целинная, Юго-Восточная, Юго-Западная, Южная	11631	
1947-2003	1947-1967	БАМ, Алма-Атинская, Восточно-Сибирская, Горьковская, Дальневосточная, Забайкальская, Закавказские, Западно-Сибирская, Кемеровская, Красноярская, Куйбышевская, Прибалтийские, Среднеазиатская, Целинная, Юго-Восточная	12935	27050,1
	1968-1990	БАМ, Алма-Атинская, Дальневосточная, Западно-Казахстанская, Западно-Сибирская, Кемеровская, Красноярская, Куйбышевская, Одесская, Прибалтийские, Северная, Северо-Кавказская, Среднеазиатская, Юго-Восточная,	13564,2	
	1991-2003	Алма-Атинская, Сахалинская, Северо-Кавказская	550,9	

Характер изменения числа железных дорог (см. рисунок 41) был связан с тем, что в XIX – начале XX вв. они строились за счёт государственных и частных инвестиций и принадлежали, соответственно, МПС и частным владельцам. Войны и революции также вносили свои коррективы. Например, национализация крупнейших предприятий промышленности в соответствии с декретом от 28 июня 1918 г. привела к укрупнению участков железных дорог и сокращению их общего числа до 28. Разукрупнение отдельных железных дорог в период с 1935 г. по 1941 г. позволило быстрее организовывать работы по восстановлению разрушенных во время Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. участков [171, с. 94-96].

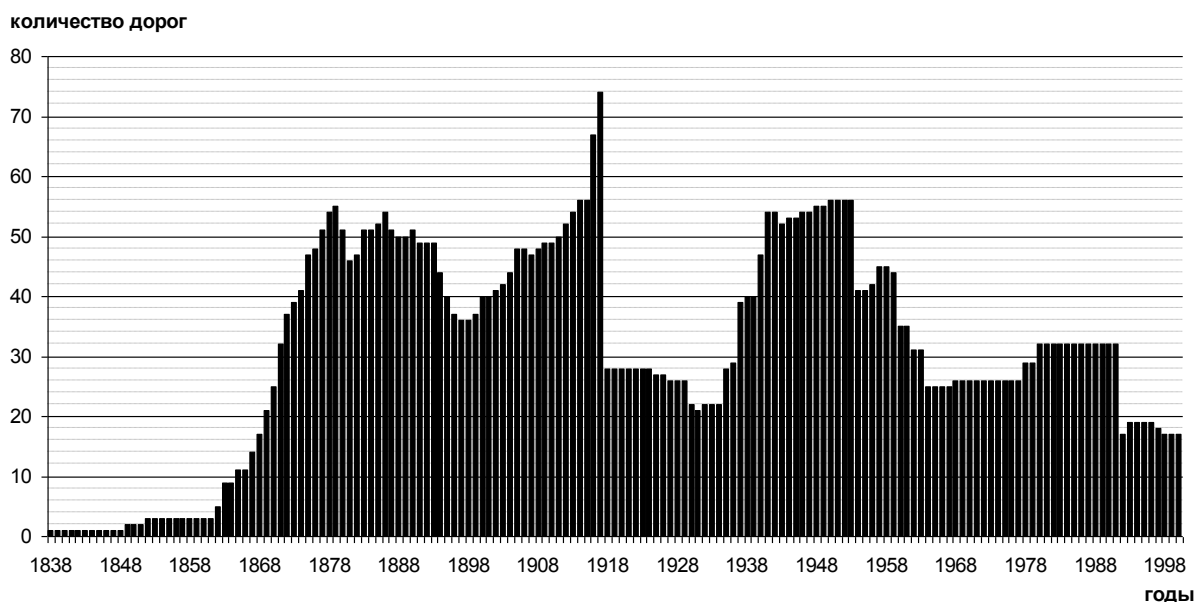


Рисунок 41 – Количество железных дорог в 1838 – 1998 гг.

С конца 1970-х гг. постановлениями Совета министров несколько крупных железных дорог были разделены. К 1991 г. в СССР функционировала 32 железные дороги. В связи с распадом СССР, железные дороги отделившихся союзных республик перешли в их ведение.

Таким образом, в 1992 г. на территории России осталось 17 железных дорог, к которым в 1993 г. присоединились вновь созданные Калининградская и Сахалинская железные дороги. В 1996 г. Байкало-Амурская железная дорога была реорганизована путём присоединения к Дальневосточной железной дороге, а в

1997 г. Кемеровская железная дорога – к Западно-Сибирской железной дороге [171, с. 216, 218-219, 222-223].

Таким образом, изучение истории поставки рельсов для обеспечения строительства отечественных железных дорог показало их зависимость от государственной научно-технической политики, а также от политической и экономической конъюнктуры.

2.5. Выводы

1. Проведённый анализ строительства железных дорог России и СССР показал, что в первой половине XIX в. они возводились с целью перевозки сырья от мест добычи к металлургическим заводам (Нижнетагильский металлургический завод Демидовых) или для перевозки пассажиров (Царскосельская железная дорога). В ходе строительства Царскосельской железной дороги выяснилось, что собственного производства по изготовлению металлоизделий в России недостаточно и отсутствовало рельсопрокатное. Поэтому было дано разрешение на беспошлинный ввоз металла из-за границы, что с конца 1830-х гг. по 1865 г. сдерживало наращивание объёмов отечественного производства железа и рельсов из него для строительства железных дорог России. Импортный металл и рельсы были дешевле, но проигрывали по качеству и срокам службы российским аналогам.

2. В начале 1870-х гг. отечественные и зарубежные исследователи всесторонне обосновали необходимость перехода на стальные рельсы, широкомасштабное производство которых на отечественных предприятиях было налажено с 1880-х гг. в связи с отменой беспошлинного ввоза металла из-за рубежа. Недостаточные объёмы производства рельсов, изготовленных в 1866-1902 гг., объясняются непригодностью отечественных заводов к выпуску рельсов, наличием широкой номенклатуры типов рельсов, использовавшихся в различные временные периоды, некачественным металлом, поставлявшимся для их изготовления и т.п.

3. В первой половине XX в. на рост протяжённости железнодорожных линий и ввод в эксплуатацию отдельных участков железных дорог влияли измене-

ние общественно-политического строя страны и войны. Из-за нехватки металла и денежных средств на строительство отдельные построенные участки приходилось консервировать и даже разбирать. Восстановленный к началу 1930-х гг. уровень сталелитейного производства конца XIX в. удалось существенно увеличить в период индустриализации страны.

4. Во второй половине XX – начале XXI вв. строительство новых участков железных дорог было обусловлено освоением новых месторождений полезных ископаемых и целинных земель. Потребности железнодорожного строительства в основном удовлетворялись металлургическими комбинатами СССР и России.

5. Анализ возведённых в первой половине XX в. в России железных дорог показал замедление прироста их протяжённости из-за событий Октябрьской революции, Гражданской, Первой и Второй Мировых войн. В 1920 – 1930-е гг. началось восстановление разрушенных путей и строительство новых, что потребовало новых рельсов, их выпуск был налажен и увеличен, по сравнению с довоенным периодом. Во второй половине XX – начале XXI вв. объёмы рельсопрокатного производства в СССР и России, необходимые для обеспечения строительства отечественных железных дорог, определялись государственной научно-технической политикой.

6. Установлено, что с 1950-х гг. началось повышение грузонапряжённости железнодорожного пути, это потребовало укладки новых более тяжёлых рельсов типа Р65. Поэтому выпуск рельсов значительно увеличился в связи со строительством новых участков железнодорожного пути.

3. ИСТОРИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВ

3.1. Использование передовых технологий для изготовлений металлических рельсов в XVIII – первой половине XIX вв.

Во второй половине XVIII в. для продления срока службы, повышения стойкости лежневых дорог и снижения усилий для перемещения повозок стали использовать металлические накладки, которые изготавливали из остатков выплавленного металла, независимо от его качества. Таким металлом оказался железоуглеродистый сплав (чугун), который подходил как по эксплуатационным свойствам, так и по цене (см. главу 1).

В 1767 г. из чугуна получали отливки в виде пластин, которые закрепляли на продольных брусках лежневой дороги [80]. К этому времени технология получения отливок из чугуна была известна и, в какой-то степени, отработана для получения простейших изделий.

В 1708 г. технология получения отливок из чугуна в песчаные формы была запатентована английским промышленником А. Дерби. В 1709 г. он арендовал старую домну в Коулброукделе и усовершенствовал способ изготовления кокса. В 1713 г. А. Дерби заменил в доменной плавке часть древесного угля каменным (коксом). Благодаря его экспериментам уголь стал завоёвывать позиции одного из основных источников энергии. Наследники А. Дерби продолжили дело своего предка, освоив технологию выплавки из железной руды. В 1735 г. его сын, А. Дерби второй, внедрил доменную плавку на коксе. Производство железа стало массовым, а чугун стал применяться в разных областях [80].

Эксплуатация лежневых дорог с металлическими накладками показала, что целесообразно использовать не накладки на деревянные брёвна, а изготавливать цельнометаллические рельсы. Такие рельсы оказались более выгодными и удобными при эксплуатации.

В ходе изменения условий эксплуатации и повышения стойкости лежневых дорог потребовалось усовершенствовать профиль цельнометаллических лежней.

Изменение профиля требовало разработки соответствующей технологии для получения отливки нужной формы и качества. Наиболее перспективными и удобными в эксплуатации являлись грибовидные рельсы (см. рисунок 7).

Совершенствование лежневых дорог, путём замены деревянных брусьев на металлические, позволило использовать на них конную тягу.

В процессе применения паровой тяги на вновь построенных железных дорогах были повсеместно внедрены рельсы грибовидной формы.

Рельсы из чугуна можно было получать только отливкой, поэтому их длина составляла 1,5 - 2 м. Чугун – высоко-хрупкий материал, поэтому часто бывали отколы и разрушения у рельсов.

Развитие металлургической промышленности дало возможность заменить хрупкий чугун более пластичным сплавом – сталью. В свою очередь, изобретение Дж. Биркиншоу способа профильной прокатки железа позволило в 1820 г. увеличить длину рельсов примерно в 4 раза [89]. В этот период стали проводиться работы, связанные с подбором оптимального поперечного сечения рельсов. Каждый из предлагаемых профилей требовал разработки новой технологии. Это было связано с тем, что высокие нагрузки, действовавшие на рельсы, приводили к их разрушению. Эксплуатация показывала, что чугунные рельсы не могли конкурировать с более пластичными стальными рельсами.

К середине XIX в. остро вставал вопрос о повышении качества рельсов, что требовало дальнейшего совершенствования металлургического производства и технологии изготовления рельсов. В 1864 г. на Нижне-Салдинском заводе впервые была осуществлена объёмная закалка рельсов из пудлингового железа в воду [35, с. 107-155]. Однако результаты эксперимента по повышению механических характеристик не известны.

Пудлинговое железо обладает низким качеством и не склонно к образованию закалочных структур, но имеет хорошие литейные свойства.

Таким образом, работы по выявлению оптимального химического состава металла для изготовления рельсов и повышения его эксплуатационных характеристик начались с появлением рельсовых дорог.

3.2. Разработка технологии производства и термообработки рельсов в период с 1866 г. до начала XX в.

Данный период характеризуется большим разнообразием типов рельсов (Приложение А), изготавливавшихся заводами по различным технологиям из чугуна, пудлингованного железа и стали неодинакового химического состава. Целесообразность применения стальных рельсов, как таковых, широко обсуждалась специалистами того времени [17, 175].

Такое разнообразие типов рельсов затрудняло техническое обслуживание и эксплуатацию железнодорожного пути. Поэтому было принято решение о сокращении их количества, а также об отработке единой технологии изготовления и подборе оптимального химического состава. Для этой цели МПС был разработан план мероприятий.

Технические условия приёма и испытаний рельсов были впервые разработаны и утверждены министром путей сообщения в 1874 г. [10]. В 1878 и в 1887 гг. технические условия подверглись корректировке. Исследования рельсов, принятых по этим техническим условиям показали преимущества твёрдых рельсов перед мягкими [170, с. 8-9]. В 1894 г. в целях повышения качества поставляемых рельсов были разработаны и утверждены «Нормальные технические условия испытания и приёмки рельсов», которыми вводилось испытание стали на разрыв, вместо «испытания статической усиленной нагрузкой»¹. В 1897 г., в соответствии с внесёнными в них изменениями были отменены химические анализы на углерод в заводских и правительственных лабораториях, так как несоответствие химического состава не являлось основанием для выбраковки рельсов [182, с. 5-7].

¹ Точных цифр нет.

В 1899 г. были приняты новые технические условия, регламентировавшие размеры рельсов, вес, клейма, «наружный вид», испытания, химический состав, ограниченный только содержанием фосфора [170, с. 8-9; 182, с. 73-81].

В конце XIX – начале XX вв. при Инженерном совете МПС была образована Специальная рельсовая комиссия, во главе с Действительным статским советником Л.О. Николаи, которая занималась изучением влияния химического состава рельсовой стали и условий проката болванок на повышение качества рельсов [183, с. 100].

С 1899 по 1906 гг. Рельсовой комиссией проведено более 30 заседаний. На основании данных, полученных от металлургических заводов и с железных дорог, Рельсовая комиссия пришла к выводу о влиянии химического состава рельсовой стали на механические свойства рельсов [183, с. 101].

Вместе с тем, сравнение качества и способов испытаний отечественных и зарубежных рельсов проводилось без унификации параметров. Поскольку только к отечественным рельсам предъявлялись требования повышенной ударной вязкости при низких температурах, российские рельсы изготавливали более «мягкими», чем аналогичные рельсы иностранного производства. Ошибочно считалось, что меньшая твёрдость должна была снизить хрупкость рельсов при низких температурах.

Однако выявить оптимальный химический состав рельсовой стали не представлялось возможным. В данных, полученных с железных дорог, не была выявлена какая-либо определённая зависимость, т.к. сравнивались лучшие иностранные и худшие отечественные рельсы. Исследуемые рельсы разных типов эксплуатировались на участках пути с различным климатом, интенсивностью движения и весом поездов [92, 95, 186].

Таким образом, были сформулированы лишь общие требования, в соответствии с которыми ограничивалось только содержание фосфора не более 0,10 %. Остальные примеси являлись допустимыми при соответствии остальных условий приёма рельсов. Такой подход мог привести к использованию на железных дорогах низкокачественной продукции.

По решению Рельсовой комиссии для выработки единых норм производства рельсов были проведены опросы инженеров «отделов по испытанию и освидетельствованию» заказов МПС [183, с. 101].

Для этой цели была разработана анкета, включавшая 8 вопросов, на которые должны были ответить специалисты-практики:

1. какой обработке подвергаются болванки перед прокаткой;
2. продолжительность нагрева болванки перед прокаткой или продолжительность охлаждения болванки, если прокатка совершается, не дожидаясь полного её охлаждения, то при каких условиях происходит охлаждение отливой болванки до температуры, при которой начинается прокатка;
3. продолжительность прокатки;
4. размеры прокатываемой болванки;
5. как охлаждаются прокатанные рельсы;
6. тип и сила прокатных станов;
7. какой металл идёт для отливки болванок и, если мартеновский, то основной или кислый;
8. принимаются ли какие-нибудь меры против пузыристости стали при отливке болванок и, если принимаются, то какие именно [186].

Наиболее подробные ответы, полученные с предприятий, приведены в Приложении В.

К сожалению, не все заводы дали исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. Для примера рассмотрены ответы специалистов четырёх ведущих заводов: Нижне-Салдинского, Мариупольского, Новороссийского и «ответ Инженера¹ Уральских заводов».

На вопрос о наличии предварительной прокатки для получения болванки определённых геометрических размеров перед поступлением её на рельсопрокатный стан положительный ответ был получен только с Нижне-Салдинского завода и от Инженера¹ Уральских заводов.

¹ Пишется с большой буквы, как указано в [186].

На вопрос о продолжительности нагрева болванки перед прокаткой участники анкетирования ответили, что выполняется предварительный подогрев, без указания температур, до которых нагревают болванки. Вместо этого специалисты дали информацию о продолжительности нагрева без указания мощности печи. Это приводило к различным условиям нагрева и получению неодинаковой температуры перед началом прокатки, поэтому окончательная структура и механические свойства металла готового рельса могли получаться разными.

По поводу продолжительности прокатки были получены разноречивые ответы, которые привязывались к собственным технологиям заводов. Даже ответы специалистов Донецкого и Мариупольского заводов, у которых продолжительность прокатки оказалась близкой (4-5 и 4,5-5,5 минут, соответственно) указали различные условия: Донецкий – для болванки весом 110 пудов, а Мариупольский – в зависимости от количества пара в котлах.

Размеры прокатываемой болванки на каждом заводе зависели от размера изложницы, способа производства, а также от расчётной длины рельса (одинарная, двойная или тройная).

Охлаждение рельсов на заводах происходило на стелюгах в закрытых помещениях в течение 1 ч. 15 мин. – 2 ч. до температуры окружающего воздуха. В ответе специалиста Мариупольского завода было указано, что «при последних проходах в стане рельсы отчасти охлаждаются водой, обильно поливающей валки». Такое ускоренное охлаждение могло приводить к образованию закалочных структур в поверхностных слоях рельса, что повышало их твёрдость и прочность, но снижало пластичность.

Типы прокатных станов и силовые установки на заводах отличались друг от друга, что требовало особой технологии каждого изготовителя.

Для отливок использовался металл, полученный бессемеровским, мартеновским и томасовским способами. Футеровка конверторов использовалась кислая и основная, поэтому химический состав металла рельсов мог отличаться друг от друга, что, в свою очередь, меняло его свойства.

Нижне-Салдинский и Уральские заводы раскисляли металл болванки алюминием в количестве один золотник на один пуд стали; Новороссийский завод раскислял ферроманганом¹, Мариупольский – ферросилицием и ферроманганом, а Донецкий никаких мер для раскисления металла не принимал. Поэтому заводы получали сталь различной степени раскисленности и, следовательно, количество пор в болванках отличалось.

Таким образом, анализ анкет показал, что качество стали², рельсопрокатные станы и технология прокатного производства рельсоделательных заводов отличались друг от друга. На железных дорогах использовались также различные типы рельсов (см. параграф 1.4). Отсутствие специального полигона для проведения исследований не позволяло оперативно выбрать конфигурацию, геометрические параметры, материал, оборудование и технологии изготовления рельсов.

Таким образом, к концу XIX в. в России, впервые в мире, были разработаны нормативные документы на рельсовую продукцию, эквивалентные современным стандартам.

3.3. Применение стандартов и технологий на изготовление рельсовой стали в первой половине XX в.

3.3.1. Разработка стандартов на химический состав рельсовой стали

К началу XX в. в ходе многолетней эксплуатации, конфигурация и материал, из которого следовало изготавливать железнодорожные рельсы, в основном были определены. Рельс – широкоподошвенный, с большой головкой и высокой шейкой. Материал – сталь, с необходимыми свойствами. Вместе с тем, на эксплуатационные характеристики рельсов оказывают большое влияние их химический состав и технология выплавки. В связи с этим, по мере повышения качества получаемых сталей, необходимо было пересматривать технические условия на их химический состав и прочностные характеристики. До введения в 1932 г. в действие

¹ Ферромарганец, (рос. марганец, англ. manganese, нем. mangan, укр. манган) [187].

² По современной классификации сталь: кипящая, полуспокойная или спокойная.

ОСТ 4118–1932 принимались технические условия в 1908, 1914 и 1924 гг., причём последним был присвоен регистрационный номер (343-ТУ-24) [170, с. 9; 188, с. 128]. В разработанном ОСТ 4118–1932 были установлены нормы содержания основных элементов химического состава рельсовой стали и заменена прочностная характеристика предела упругости на предел прочности. В данном стандарте предъявлялись более высокие требования к качеству используемой рельсовой стали, согласно которому могли изготавливаться рельсы первого сорта, с наименьшим пределом прочности 70 кгс/мм^2 и рельсы второго сорта – 55 кгс/мм^2 . Во введённом ОСТ 4118–1932 регламентировался химический состав в зависимости от способа выплавки стали (таблица 18) [188, с. 129], а также проведения испытаний на растяжение: для мартеновской стали – от каждой плавки, а бессемеровской и томасовской – от каждой двенадцатой плавки; копровые испытания осуществлялись поплавочно. Это было необходимо из-за нестабильности получавшегося химического состава [183, с. 103].

Таблица 18 – Химический состав рельсовой стали в процентах по ОСТ 4118-1932 для рельсов 1 сорта

Химический состав	Способ выплавки стали		
	Мартеновский	Бессемеровский	Томасовский
Углерод	0,48-0,61 ¹	0,38-0,50 ¹	Не нормировалось
	0,50-0,65 ²	0,42-0,52 ²	
Марганец	0,60-0,90	0,60-1,00	Не нормировалось
Кремний	0,18, не менее	Не нормировалось	Не нормировалось
Сера	0,05, не более	0,06, не более	0,05, не более
Фосфор	0,05, не более	0,08, не более	0,07, не более

На начало введения ОСТ 4118–1932 химический состав мартеновских и особенно бессемеровских рельсовых сталей не соответствовал выдвигаемым требованиям. Томасовские рельсы, изготавливаемые Керченским металлургическим заводом, в ещё большей мере не соответствовали требованиям ОСТ 4118–1932.

Свыше 80 % плавков не удовлетворяло требованиям стандарта из-за чрезмерного содержания вредных примесей – серы и фосфора. Подавляющее большин-

¹ Для рельсов весом 30-35 кг/пог.м.

² Для рельсов весом 35-45 кг/пог.м.

ство рельсов не удовлетворяло требованиям стандарта и по состоянию поверхности из-за большого количества плен, раковин и волосовин [183, с. 103].

Рельсы, изготовленные из томасовской стали, сминались, а при отрицательных температурах часто ломались. В связи с этим в 1933 г. производство рельсов на Керченском заводе было прекращено [188, с. 134].

В соответствии с нормами стандарта для рельсовых сталей мартеновского и бессемеровского производства требовалось повысить содержание углерода и уменьшить содержание вредных примесей – серы и фосфора. В мартеновских сталях повышение содержания углерода и снижение содержания фосфора было осуществлено достаточно просто. Труднее было выполнить условия по пределам, предусмотренным стандартом, для других элементов, и уменьшить разброс для разных плавов. Непросто оказалось понизить содержание фосфора в бессемеровской стали, а без его понижения невозможно было повысить содержание углерода [189, с. 170-174]. Возникали трудности и по снижению содержания серы. В связи с этим, на период освоения стандарта, часть рельсов принимали по старым техническим условиям НКПС-343 ТУ-24. Это позволило сначала освоить льготные, а затем постоянные, более жёсткие нормы стандарта ОСТ 4118–1932 [188, с. 134].

К концу 1935 г. практически вся рельсовая продукция заводов стала удовлетворять требованиям ОСТ 4118–1932, и льготные нормы были отменены [188, с. 134-135].

На Кузнецком металлургическом комбинате им. Сталина, выпускавшем рельсы из мартеновской стали, рельсы изготавливались в полном соответствии с требованиями ОСТ 4118–1932 после ввода в эксплуатацию рельсопрокатного цеха.

За период выпуска рельсов в соответствии с ОСТ 4118–1932 в него были внесены необходимые корректировки [183, с. 103].

Введение ОСТ 4118–1932 позволило значительно улучшить качество выпускаемых рельсов [188, с. 135-141]. Например, в первой половине 1941 г. рельсы из мартеновской и бессемеровской стали, изготавливаемые на всех заводах, удовлетворяли требованиям ОСТ 4118–1932. На Кузнецком металлургическом комбина-

те выход рельсов I сорта составлял около 88 %, на заводах Юга – около 85 %. Остальные 12-15 % рельсов распределялись между вторым сортом и браком приблизительно поровну [183, с. 103-104].

В соответствии с ОСТ 4118–1932 допускалось наличие некоторых дефектов: ликвации, волосовины, закат и трещины в подошве рельса глубиной до 1 мм, а для рельсов II сорта – до 3 мм; флокены и др. Поэтому в 1943 г. А.И. Скаковым была начата работа по проектированию новых технических условий на материалы для рельсов. В 1930-е гг. впервые в мире в СССР зародилась рельсовая дефектоскопия (сначала магнитная), использование которой позволило совершенствовать технологии и качество проката рельсов [183, с. 105; 184, 185].

Таким образом, в первой половине XX в. процесс регламентации распространялся на технические условия, в т.ч. химический состав рельсовой стали, который шёл в направлении повышения содержания углерода и уменьшении вредных примесей – серы и фосфора в зависимости от способов выплавки (мартеновского, бессемеровского, томасовского), а также повышения прочностных характеристик, а применение дефектоскопии позволило исключить попадание брака в путь.

3.3.2. Организация упрочняющей термической обработки рельсов

П.П. Аносов и Д.К. Чернов, занимавшиеся исследованием прочности материала, научно обосновали, что при быстром охлаждении стали с определённых температур металл приобретает повышенные значения прочности и твёрдости, что улучшает его эксплуатационные качества. В связи с этим в различных странах начали подбирать режимы термической обработки для рельсовой стали. В зависимости от технологического процесса проведения такой термической обработки на рельсовой стали можно получить только закалённый поверхностный слой или подвергать закалке весь объём рельса. В первой половине XX в. были разработаны различные варианты закалки, основные из которых приведены в таблице 19 [35, с 107-155].

Первые попытки термической обработки рельсов были проведены в Англии. В дальнейшем такие работы велись в Швеции, Франции, Германии и СССР [183, с. 105-106].

До середины 1930-х гг. все виды термического упрочнения проводились с прокатного нагрева. В 1937 г. В.П. Вологдиным была осуществлена поверхностная закалка концов рельсов с использованием токов высокой частоты (ТВЧ), позволившая получить твёрдый закалённый поверхностный слой и вязкую, пластичную середину. В дальнейшем нагрев рельсов под термическую обработку осуществлялся путём дополнительного специального подогрева разными методами.

Таблица 19 – Развитие способов термоупрочнения рельсов

Год	Автор, страна	Вид закалки	Сущность	Способ нагрева	Результат
1	2	3	4	5	6
1903	Англия	объёмная, поверхностная	–	прокатный нагрев	–
1914-1916	Занденберг, Швеция	поверхностная	обрызгивание поверхности катания головки рельса водой, распыляемой сжатым воздухом или паром	прокатный нагрев	сорбит закалки
Начало 1920-х	заводы Neuves-Maisons, Франция	поверхностная	периодическое погружение головки в воду с дальнейшим самоотпуском	прокатный нагрев	280–350 НВ
Первая половина 1920-х	завод Maximilian Hütte, Германия	поверхностная	погружение головки в проточную воду	прокатный нагрев	370–390 НВ мартенсит
1925	Шадрин Н.Н. Надеждинский металлургический завод, СССР	поверхностная	четырёхступенчатая закалка струями воды, с высоким самоотпуском	прокатный нагрев	240–470 НВ
1927	Федоренко Н.Н. завод им. Петровского, СССР	поверхностная	погружение головки в проточную воду, с дальнейшим самоотпуском	прокатный нагрев	–
1927 и дальше	Казаков П.Ф. Селезнев Т.Я. завод им. Петровского, СССР	поверхностная	погружение головки в воду	прокатный нагрев	190–270 НВ
1931	Сибирский металлургический институт, СССР	объёмная в масле	роликовая печь нагревалась до 920–950°C, к моменту погружения в масло рельс остывал до 740–780°C	печной нагрев	–

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6
1933	Завод им. Петровского, СССР	поверхностная	концы рельсов погружались в закалочную ванну	прокатный нагрев	–
1937	В.П. Вологдин, СССР	поверхностная	закалка концов рельсов на длине 15–20 см	нагрев ТВЧ	$h_{\text{зак.}}=5-6$ мм
1940	Сибирский металлургический институт, СССР	объёмная в воде	нагрев в газовой печи, охлаждение водой, с помощью распылителей	печной нагрев	300 НВ

Таким образом, в первой половине XX в. все виды термической обработки сводились, в основном, к поверхностной закалке головки рельса и лишь в середине века было уделено внимание дополнительной закалке концов рельсов. Такая термическая обработка позволяла повысить вместе с механическими свойствами металла и эксплуатационные характеристики, в первую очередь, износостойкость, что сокращало расход рельсовой стали, и, соответственно, объёмы замены рельсов в пути по износу.

3.4. Совершенствование государственных стандартов на изготовление рельсов в период с 1947 г. до начала XXI в.

Во второй половине XX в. восстановленные после Великой Отечественной войны железные дороги перешли на более высокий уровень развития. Вместо паровозов на железнодорожном транспорте стали применять более мощные тепловозы и электровозы, с помощью которых формировались и перевозились более тяжеловесные поезда массой до 12 тыс. т. Одновременно увеличивались скорости движения пассажирских и грузовых поездов. Всё это определяло изменение динамики воздействия на путь и повышение на него нагрузки.

В связи с этим в данный период шло обновление железнодорожного пути и, в том числе, рельсов. У них менялся химический состав, механические свойства, технология выплавки металла, его прокатка и последующая термическая обработка, что в целом позволяло удовлетворить эксплуатационные требования, предъявляемые к рельсам.

3.4.1. Внедрение новой технологии производства рельсов

Начиная с 1947 г., все рельсы изготавливались только в соответствии с государственными стандартами [183, с. 106].

В 1948 г. было завершено проектирование и создан стандарт – ГОСТ 4224–48, на материалы для изготовления железнодорожных рельсов широкой колеи весом до 45 кг/пог. м. В соответствии с новым стандартом на рельсы, вводимым в действие с 1949 г., в отличие от ОСТ 4118–1932 требовалось полное раскисление стали, удаление усадочной раковины и ликвационной зоны, уменьшение допускаемой глубины волосовин и закатов в подошве с 1 до 0,5 мм и ряд других, более жёстких требований. Всё это способствовало снижению вероятности попадания в путь рельсов с металлургическими дефектами, опасными для эксплуатации. При этом химический состав рельсовой стали лишь немногим отличался от требований ОСТ 4118-1932 (таблица 20) [188, с. 145].

Таблица 20 – Химический состав мартеновской (М) и бессемеровской (Б) рельсовой стали для рельсов типов Ia, Iy (P-43) IIa (P-38) по ОСТ 4118 и ГОСТ 4224–48

Номер стандарта	Обозначение стали	Марка стали	Тип рельса	Сорт	Химический состав, %				
					C	Mn	Si	S	P
								не более	
ОСТ 4118 (с поправками 1938 г.)	М	-	Ia, Iy (P-43) IIa (P-38)	I	0,53-0,70	0,60-0,90	0,15-0,30	0,05	0,050
				II	0,50-0,73	0,50-1,00	Не нормир.	0,06	0,055
	Б	-	То же	I	0,40-0,54	0,60-1,10	Не нормир.	0,06	0,080
				II	0,37-0,54	0,50-1,20	Не нормир.	0,07	0,085
ГОСТ 4224–48	М	М62	Ia, Iy (P-43) IIa (P-38)	I	0,55-0,70	0,60-0,90	0,13-0,28	0,05	0,050
				II	0,52-0,73	0,50-1,00	0,13-0,35	0,06	0,055
	Б	Б48	То же	I	0,42-0,55	0,60-1,10	0,10-0,30	0,06	0,080
				II	0,39-0,58	0,50-1,20	0,10-0,37	0,07	0,085

Из таблицы 20 видно, что содержание марганца, серы и фосфора осталось без изменения. Содержание углерода незначительно увеличено, за счёт повышения в мартеновской стали нижнего предела содержания углерода на 0,02 %, и в бессе-

меровских – нижнего предела на 0,02 % и верхнего предела на 0,01 %. Более значительное повышение содержания углерода было не целесообразно, так как при существовавшей тогда технологии возникала опасность образования флокенов в мартеновской стали и опасность повышения хрупкости и хладноломкости бессемеровской стали.

Для полного раскисления стали и удаления ликвационной зоны в соответствии с требованиями нового стандарта было необходимо установить нормы содержания кремния в бессемеровской стали. Минимальный предел прочности в мартеновских сталях был повышен с 70 до 72 кгс/мм² [188, с. 144].

Выполнение требований ГОСТ 4224–48 для мартеновской стали не представляло трудностей для заводов. Для раскисления бессемеровской стали, в процессе её изготовления было предложено использовать ферросилиций, что несколько повысило её качество. Однако это не устранило основного недостатка – хрупкости и хладноломкости рельсовой стали, а, следовательно, не повысило её износостойкость и не уменьшило смятие. В тот период невозможно было повысить содержание углерода в бессемеровской рельсовой стали из-за её высокой хрупкости.

Во второй половине XX в. в СССР для улучшения качества бессемеровской рельсовой стали уменьшалось содержание фосфора, улучшалось раскисление, и азот связывался титаном. В зарубежных странах, например, в США и Англии, такие попытки по улучшению бессемеровской стали были прекращены ещё в начале XX в., и производство рельсов из бессемеровской стали прекратилось.

По свидетельству А.А. Байкова и В.Е. Грум-Гржимайло, рельсы, изготовленные из бессемеровской стали, выплавленной по «старому русскому» способу бессемерования, были отличного качества. Данный способ отличался от зарубежных тем, что продувка кислородом останавливалась на заданном уровне высокого содержания углерода [188, с. 149].

До 1977 г. были разработаны и внедрены ГОСТы на разные типы рельсов, использовавшихся в то время (см. таблицу 10). С 1 июля 1981 г. вступил в действие ГОСТ 24182-80, который объединил ранее действовавшие ГОСТ 8160-63, ГОСТ 6944-63, ГОСТ 7174-75 и ГОСТ 8161-75, так как за основные типы рельсов

были приняты железнодорожные рельсы из мартеновской стали типов Р75, Р65 и Р50 для широкой колеи.

К 1985 г. был разработан международный стандарт на рельсы для стран социалистического лагеря СТ СЭВ 4983-85 на основании созданного ГОСТ 24182-80 [190],

Производили рельсы двух групп. Рельсы первой группы изготавливали из спокойной мартеновской стали, раскисленной в ковше комплексными раскислителями без применения алюминия или других раскислителей, образующих в стали вредные строчечные неметаллические включения. Рельсы второй группы изготавливали из спокойной мартеновской стали, раскисленной алюминием или марганец-алюминиевым сплавом. Химический состав сталей для рельсов первой и второй групп должен был соответствовать нормам, указанным в таблице 21 [190].

Таблица 21 – Химический состав рельсовой стали по ГОСТ 24182-80

Группа рельсов	Тип рельсов	Марка стали	Массовая доля, %							
			углерода	марганца	Кремния	ванадия	Титана	циркония	фосфора	серы
I	Р75, Р65	М76В	0,71–0,82	0,75 – 1,05	0,25–0,45	0,03–0,07	–	–	0,035, не более 0,045, не более	0,045, не более
		М76Г			–	0,007–0,025				
		М76ВТ			0,01–0,02	0,005–0,025				
		М76Ц			–	0,001 – 0,050				
	Р50	М74Г	0,69–0,80		0,18–0,40	–	0,007–0,025	–		
		М74Ц	–		–	–	0,001 – 0,050	–		
II	Р75, Р65	М76	0,71–0,82	–	–	–	–	–	–	
	Р50	М74	0,69–0,80	–	–	–	–	–	–	

Рельсы, изготовленные из стали марки М76В, относят к рельсам с ванадием; из сталей марок М76Г, М76МТ – к рельсам с титаном; из сталей марки М76Ц – к рельсам с цирконием. По ГОСТ 24182-80 допускалось производство рельсов типа Р50 из кислородно-конверторной стали, при этом в обозначении марки стали ставилась буква К, вместо буквы М. Механические свойства сталей М74 и М76 для рельсов типов Р75, Р65 и Р50 должны были соответствовать нормам, указанным в таблице 22.

Таблица 22 – Механические свойства сталей для рельсов ГОСТ 24182-80

Тип рельса	Марка стали	Временное сопротивление, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %
P75	M76	≥ 90	≥ 4,0
P65	M74	≥ 86	≥ 5,0

В настоящее время железнодорожные рельсы изготавливаются в соответствии с ГОСТ Р 51685-2000 [158]. В данный стандарт, по сравнению с ГОСТ 24182-80, в обозначение марки стали введена буква Э, обозначающая способ выплавки стали в электропечах. В маркировке стали буквы Ф, С, Х, Т обозначают легирующие элементы ванадий, кремний, хром и титан, соответственно. Химический состав рельсовых сталей должен соответствовать данным, приведённым в таблице 23.

Таблица 23 – Химический состав рельсовой стали ГОСТ Р 51685-2000

Марка стали	C, %	Mn, %	Si, %	V, %	Ti, %	Cr, %	P, %	S, %	Al, %	
							Не более			
K78XCФ Э78XCФ	0,74 – 0,82	0,75 – 1,05	0,40 – 0,80	0,05 – 0,15	–	0,40 – 0,60	0,025	0,025	0,005	
M76Ф K76Ф Э76Ф	0,71 – 0,82		0,25 – 0,45	0,03 – 0,15		–	–	0,035	0,040	0,020
M76Т K76Т Э76Т				–	0,007			0,035	0,040	
M76 K76 Э76				–	–			0,030	0,035	
				0,025	0,025	0,030		0,030		
				0,035	0,040	0,035		0,035		
				0,025	0,030	0,025		0,030		

Технология изготовления рельсов должна гарантировать отсутствие в них флокенов, а также местных неметаллических включений (глинозёма, карбидов и нитридов титана или глинозёма, цементованного силикатами), вытянутых вдоль направления прокатки в виде дорожек – строчек длиной не более 2 мм для рельсов первой группы, и длиной более 8 мм – для рельсов второй группы [158, 191]. Поверхность рельса на его концах должна быть подвергнута закалке с прокатного нагрева или индукционного нагрева токами высокой частоты.

Таким образом, начиная с послевоенного периода и до начала XXI в. отечественными и зарубежными учёными проводились всесторонние исследования, как рельсовой стали, так и самих рельсов. На основании этих работ совершен-

становались стандарты на химический состав, механические свойства и геометрические параметры рельсов в направлении устранения хрупкости и хладноломкости и повышения предела прочности рельсовой стали.

3.4.2. Основные требования, предъявляемые к рельсам по условиям современной и перспективной эксплуатации

Железнодорожный путь работает в сложнейших условиях, определяющихся динамическими воздействиями на него подвижного состава и влиянием природно-климатических явлений и факторов.

Основными параметрами, обуславливающими, в первую очередь, динамику взаимодействия пути и подвижного состава, то есть уровень силовых воздействий и интенсивность его деформаций, являются скорости движения поездов, грузонапряжённость брутто и нагрузки на ось. Указанные параметры, действующие на путь от подвижного состава, существенно дополняются в его эксплуатации воздействиями суточных и годовых изменений температур и влажности, атмосферных осадков в виде дождя и снега, промораживанием балласта и земляного полотна, а также влиянием инженерно-геологических, гидрологических условий, сейсмичности и др.

Воздействие колёс подвижного состава, в зависимости от статической и динамической нагрузок на ось в общем виде может быть представлено следующим выражением [53]:

$$P_{\text{кол}} = P_{\text{ст ось}} \cdot (1 + k_{\text{д}}), \quad (1)$$

где: $P_{\text{кол}}$ – вертикальная нагрузка от колеса на рельс; $P_{\text{ст ось}}$ – статическая нагрузка на ось; $k_{\text{д}}$ – коэффициент вертикальной динамики, зависящий от скорости движения поезда, типа вагона (локомотива) и тележки.

Характерными статическими нагрузками на ось являются:

от локомотивов	– 230 кН (23 т);
от вагонов грузовых	– 210 кН (21 т);
от вагонов пассажирских	– 140 кН (14 т).

Среднестатистические нагрузки на ось современных грузовых вагонов с учётом их реальной загрузки составляют 195-198 кН/ось (расчётная нагрузка может

доходить до 250-270 кН/ось). Действующими «Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» (ПТЭ) [192, 193] установлены следующие наибольшие скорости движения поездов:

пассажирских	– 140 км/ч;
рефрижераторных	– 120 км/ч;
грузовых	– 90 км/ч.

Как видно из вышеуказанного источника, сочетания осевых нагрузок и скоростей движения, в первую очередь, определяют динамику воздействий на путь. Интенсивность эксплуатации пути, его работы определяется количеством динамических воздействий за единицу времени. Параметром, характеризующим загруженность, интенсивность работы пути является грузонапряжённость. В физическом смысле грузонапряжённость – это грузооборот, отнесённый к одному километру пути за год:

$$G = \sum 365 \cdot Q_i \cdot N_i \cdot 10, \text{ млн. ткм брутто/км-год,} \quad (2)$$

где: Q_i и N_i – вес и количество поездов i -того вида (соответственно), проходящих по участку пути в сутки.

В настоящее время средний вес грузового поезда составляет порядка 4000 т брутто. Нужно иметь в виду также, что с середины 1980-х гг. на отдельных направлениях обращаются поезда повышенного веса (до 9,0 тыс. т), поезда грузовые повышенной длины (350 осей и более), соединённые (из двух и более сцепленных между собой с действующими локомотивами в голове каждого поезда), грузовые тяжеловесные (весом, превышающим на 100 т и более установленную графиком движения весовую норму на участке следования). Веса пассажирских поездов составляют 0,8-1,2 тыс. т. При этом поезда, имеющие в составе 20 и более вагонов, в соответствии с ПТЭ, называются поездами пассажирскими длинно-составными. Веса пригородных поездов составляют порядка 500-600 т.

С 2004 г. техническая оснащённость инфраструктуры ОАО «РЖД» не претерпела существенных изменений. Между тем, нагрузка на инфраструктуру в этот период существенно росла в связи с увеличением объёмов и дальности перевозок.

Так, за период с 2004 г. густота движения грузов по сети выросла более чем на 17% [195, с. 111-112].

Основные эксплуатационные параметры, определяемые движением поездов, будут постоянно возрастать. Перспективы их роста определены долгосрочной программой «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [194]. Предусмотрены два этапа развития:

- первый этап 2008-2015 гг. – коренная модернизация производственной базы отрасли, которая позволит снять все ограничения в пропускных и провозных способностях и обеспечить растущий спрос на грузовые и пассажирские перевозки;
- второй этап 2016-2030 гг. – динамичное расширение железнодорожной сети страны, направленное на создание инфраструктурных условий для существенного роста показателей экономики.

В результате реализации Стратегии по максимальному (оптимистичному) варианту к 2030 г. должно быть:

- построено более 20,0 тыс. км новых железнодорожных путей;
- сооружена высокоскоростная (с v до 350 км/ч) линия Санкт-Петербург–Москва, обеспечено скоростное движение (с $v_{max} = 160$ км/ч и выше) на полигоне 10880 км;
- повышены среднесетевые маршрутные скорости с 56,3 км/ч (2006 г.) до 61-66 км/ч в 2030 г.;
- организовано тяжеловесное движение поездов (6,0-12,0 тыс. т) на полигоне протяжением 13,8 тыс. км;
- обеспечен рост к 2030 г. (по сравнению с 2006 г.): грузооборота в 1,7 раза – до 3300,0 млрд. ткм; пассажирооборота в 1,3 раза – до 231,0 млрд. пасс.км [194].

В Стратегии инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года (Белой книге ОАО «РЖД») прогнозируемый рост указанных показателей одновременно должен сопровождаться повышением осевых (до 25 тс) и погонных (до 10,5 т/м) нагрузок от подвижного состава, что существенным образом повлияет на эксплуатационные условия и усложнение работы железнодорожного пути, в 2012-2015 гг. [1, с. 17].

В соответствии с Программой инновационного развития ОАО «РЖД» предусмотрено применение рельсов с ресурсом до 1,5 млрд. ткм брутто и оптимальным профилем, а также рельсовых скреплений для высокоскоростного и тяжеловесного движения на ряде полигонов сети в 2011-2015 гг.; освоение отечественной промышленностью производства рельсов длиной 100 м и укладка рельсовых плетей длиной 800 м; производство рельсовых скреплений для высокоскоростного и тяжеловесного движения; применение при ремонтах пути малообслуживаемых рельсовых скреплений, рельсовых плетей, бесстыкового пути, сваренных из рельсов длиной 100 м, кубовидного щебня повышенной прочности - в 2014-2015 гг. [195].

В Государственной программе Российской Федерации «Развитие транспортной системы (2010-2020) на 2013 - 2020 годы» скорректированы данные по железнодорожному транспорту, в том числе планируется ввести в эксплуатацию 2,6 тыс. км железнодорожных линий и 1,9 тыс. км дополнительных главных путей, электрифицировать 2,4 тыс. км линий; долю протяжённости проблемных в отношении пропускной способности железнодорожных линий, составивших на начало 2012 г. более 7,6 тыс. км, сократить на 35 %. Тем самым скорость доставки грузовых отправок достигнет 309,1 км в сутки. Инвестиционной программой на развитие и модернизацию железнодорожного транспорта предусмотрено выделить 3,8 млрд. руб. [5, с. 13, 23, 37-38, 184].

В связи с этим путевому комплексу предстоит решать сложные проблемы дальнейшего совершенствования конструкций пути и системы его технического обслуживания. Важнейшей составляющей системы, обеспечивающей соответствие технического состояния пути параметрам перевозочного процесса, является классификация путей в зависимости от эксплуатационных условий, в частности, от сочетаний скоростей движения поездов и грузонапряжённости.

Типизация верхнего строения пути на дорогах СССР, с основным критерием – грузонапряжённость, впервые была введена в 1958 г. и доработана к 1964 г. Для главных путей она включала в себя три типа – нормальный, тяжёлый и особо тя-

жёлый. Г.М. Шахунянецом была также разработана методика для определения типа пути приближенным способом [196, с. 10-11].

В начале XXI в. применялась классификация, представленная в таблицах 24 и 25 [53, с. 103]:

Таблица 24 – Классы путей на участках совмещённого движения пассажирских до 140 км/ч, грузовых поездов до 80 км/ч

Группа пути	Грузонапряжённость, млн. ткм брутто/км в год ¹	Категория пути и допускаемые скорости движения поездов (числитель – пассажирские; знаменатель – грузовые)						Станционные, подъездные и прочие пути ²
		1	2	3	4	5	6	
		121-140 > 80	101-120 > 70	81-100 > 60	61-80 > 50	41-60 >40	40 и менее	
Главные пути							5	
А	> 80	1	1	1	1	2		3
Б	50-80	1	1	1	2	2		3
В	25-50	1	1	2	2	3		3
Г	10-25	1	2	3	3	3		3
Д	5-10	2	3	3	3	4		4
Е	менее 5	3	3	3	4	4	4	

Таблица 25 – Классы путей на участках совмещённого скоростного и высокоскоростного движения пассажирских и грузовых поездов

Группа пути	Грузонапряжённость, млн. ткм брутто/км в год ³	Категория пути и допускаемые скорости движения поездов (числитель – пассажирские; знаменатель – грузовые)			
		BC ₁	BC ₂	C ₁	C ₂
		251-300 –	201-250 120 ⁴	161-200 90 ⁵	141-160 90*
Ж	20 – 30		ВН	1	1
И	10 – 20	ВН	ВН	1	1
К	До 10	ВН	ВН	1	1

¹ Категории пути C₁ и C₂ – участки скоростного движения пассажирских поездов со скоростями 161-200 км/ч и 141-160 км/ч.

² Категории пути BC₁ и BC₂ – участки высокоскоростного движения пассажирских поездов со скоростями 251-300 км/ч и 201-250 км/ч.

³ Классы путей, представляющие собой сочетание групп и категорий, обозначены цифрами, например, путь (ВН)Ж(BC₂) – относится к внеклассному пути, группы Ж, категории BC₂; путь 1КC₁ – относится к 1 классу, группы К, категории C₁.имс

⁴ Скорость 120 км/ч для грузовых поездов принята на основании стратегии развития железнодорожного транспорта «Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г.» (Белая книга ОАО «РЖД»).

⁵ Скорость 90 км/ч для грузовых поездов принята на основании инструкции ЦРБ-393 от 19.07.96 г.

В настоящее время «Положением» о системе ведения путевого хозяйства (СВПХ), разработанном в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 02 мая 2012 г. № 1393р «Об утверждении методики классификации железнодорожных линий», установлена классификация путей (таблица 26), при обращении по ним пассажирских поездов с максимальной скоростью до 200 км/ч и грузовых – до 140 км/ч.

Таблица 26 – Классы путей на участках совмещённого движения пассажирских до 200 км/ч, грузовых поездов до 140 км/ч

Группа пути	Грузонапряжённость, млн. ткм брутто/км в год	Категория пути и допускаемые скорости движения поездов (числитель – пассажирские; знаменатель – грузовые)						
		С	1	2	3	4	5	6
		141-200 до 140	121-140 до 100	101-129 до 90	81-100 до 80	61-80 до 60	41-60 до 60	40 и менее
Главные пути								
А	> 80	1	1	1	1	2	2	3
Б	51-80	1	1	1	2	2	3	3
В	26-50	1	1	2	2	3	3	4
Г	11-25	1	1	2	3	3	4	4
Д	5-10	1	2	3	4	4	4	4
Е	5 и менее	-	-	-	4	4	5	5

Примечания к таблице 26

1. При количестве графиков пригородных и пассажирских поездов с максимальными скоростями движения 80 км/ч и выше, независимо от грузонапряжённости, более 100 поездов в сутки должен быть не ниже 1-го класса; 31-100 поездов в сутки – 2-го класса; 6-30 поездов в сутки – 3-го класса.

2. На участках со сложным планом, на которых кривых с радиусом менее 350 м более 20 % или всех кривых более 40 %, при прочих равных условиях класс пути повышается на один класс.

3. При совпадении условий по п. 1 и п. 2 изменяется только класс пути; группа и категория пути назначается в зависимости от существующей грузонапряжённости и установленной скорости движения.

Классы путей на участках совмещённого скоростного и высокоскоростного движения пассажирских и грузовых поездов устанавливаются в соответствии с изменением условий эксплуатации, усилением железнодорожного пути, повышением его надёжности, увеличением скоростей движения пассажирских поездов после проведения комплексной реконструкции железнодорожного пути (далее –

комплексная реконструкция). До конца 2011 г. классы путей утверждались Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» по представлению железной дороги.

Классы путей указываются в техническом паспорте каждой дистанции пути. Информация о них используется для планирования ремонтно-путевых работ.

Для скоростного движения поездов современные условия эксплуатации требуют бесстыкового пути на железобетонных шпалах. Для такого пути стрелочные переводы должны применяться также на железобетонном основании, а стыки с рельсами основного пути необходимо выполнять сварными. Контактная сварка для этих целей пока по ряду причин не может быть широко использована (сложность и высокая цена оборудования; невозможность сварки в зоне стрелочных переводов). В настоящее время, на действующих стрелочных переводах только алюминотермитная сварка позволяет получить соединение с необходимой прочностью и пластичностью [197].

Начиная с 1995 г. на отечественных железных дорогах было уложено и эксплуатируется более 41 тыс. стрелочных переводов на железобетонных брусках. Укладка их осуществлялась в пути первого и второго классов при выполнении усиленных (по действовавшей в те годы классификации путевых работ) капитальных и средних ремонтов пути.

В настоящее время на дорогах ежегодно при выполнении работ по капитальному ремонту верхнего строения или реконструкции железнодорожного пути укладывается порядка 5 тыс. стрелочных переводов на железобетонных брусках [183, с. 113].

Сведения об эксплуатационных условиях пути, в котором уложен стрелочный перевод и где выполнялась сварка стыков термитом, в обязательном порядке отражаются в специальном журнале учёта производства сварочных работ. Например, если сварка стыков произведена в стрелочном переводе на пути с грузонапряжённостью 63 млн. ткм/км год и скоростями движения: пассажирских поездов – до 120 км/ч, грузовых – более 70 км/ч, то этот путь, в соответствии с классификацией (по таблице 26) относится к первому классу, группе А, второй категории и обозначается следующим образом: 1А2. Если же в «Техническом паспорте ди-

станции пути» конкретный путь обозначен, например, 2ВЗ, то этот путь является путём второго класса, группы В, третьей категории.

Таким образом, повышение скоростей движения, комфорта пассажиров и увеличение нагрузок на ось требовало как улучшения конструкции верхнего строения пути, так и повышения качества металла, из которого изготавливают рельсы, проведения дополнительной термической обработки готовых рельсов, совершенствования их геометрических форм и размеров. Одновременно с этим необходимо было создать специальное рельсопрокатное производство, обеспечивавшее потребность железных дорог и гарантировавшее необходимое качество получаемых рельсов, так как оно напрямую определяло безопасность движения поездов.

3.4.3. Формирование специальных требований к рельсам

Назначение железнодорожных рельсов заключается в создании поверхности с наименьшими сопротивлениями для качения колёс подвижного состава, непосредственном восприятии и упругом перерабатывании и передаче нагрузки от колёс на подрельсовое основание, направлении ходовых частей локомотивов и вагонов. На участках с автоблокировкой рельсовые нити служат одновременно и проводниками сигнального тока, а на участках с электрической тягой – проводниками обратного тягового тока. Для соответствия назначению и надёжной работы железнодорожные рельсы должны обладать рядом свойств. Они должны быть прочными (иметь достаточные моменты инерции и моменты сопротивления, чтобы возникающие в них напряжения изгиба и кручения не превышали допустимых значений); долговечными (рельсовая сталь должна обладать высокой твёрдостью, износостойкостью и вязкостью); иметь высокую контактно-усталостную выносливость. К тому же, должны быть обеспечены прямолинейность в вертикальной и горизонтальной плоскостях, установлены допуски в размерах поперечного профиля, определены химический состав и твёрдость рельсовой стали, оговорены недопустимые дефекты металлургического производства и неметаллические строчечные включения [198 – 202].

Рельсы, предназначенные для сварки или других специальных целей, по требованию потребителя допускается изготавливать длиной не менее 6,0 м без закалки одного или обоих концов. Рельсы после полного остывания могут быть подвергнуты холодной правке на роликотправильных машинах и штемпельных прессах. После холодной правки не допускаются:

- повторная холодная правка рельсов на роликотправильных машинах в одной и той же плоскости;
- падение рельсов с высоты более 1,0 м;
- волнистость и скручивание рельсов; рельс считается скрученным, если при замере его на контрольном стеллаже он имеет по концам зазоры между краем подошвы и стеллажом (по диагонали) более $1/10000$ своей длины.

Концы рельсов должны быть отфрезерованы перпендикулярно продольной оси рельса. Перекос торцов не должен быть более 1,0 мм при изменении в любом направлении. Обрубать и ломать дефектные концы рельсов не допускается.

Болтовые отверстия на концах рельсов должны быть просверлены перпендикулярно к вертикальной продольной плоскости рельса. Поверхности болтовых отверстий и торцы рельсов должны быть без рванин, задиров и следов усадки в виде расслоений и трещин. Заусенцы и наплывы металла у болтовых отверстий и на торцах рельсов должны быть удалены зачисткой.

Пробный отрезок рельса для копровых испытаний должен выдержать при температуре от 0 °С до + 40 °С испытание на трёхточечный удар без излома, трещин и выколов подошвы (как в пролёте, так и на опорах). Пробный отрезок рельса для испытания на прочность подошвы должен выдержать без трещин или излома статическую нагрузку до получения стрелы прогиба 4,0 мм на базе 1 м.

Таким образом, жёсткое соответствие требованиям, предъявляемым к рельсам, обеспечивает их надёжность.

3.4.4. Применение упрочняющей термической обработки новых рельсов

Совершенствование нагревательных устройств и всесторонние исследования процессов термической обработки стали позволяют разрабатывать технологиче-

ские процессы, с помощью которых осуществляется поверхностная закалка головки рельсов:

1. с прокатного нагрева;
2. с повторного поверхностного нагрева газопламенными горелками;
3. с повторного поверхностного нагрева токами высокой частоты;
4. с повторного объёмного (печного) нагрева.

Стало возможным выполнять объёмную закалку по всему поперечному сечению рельса:

1. с прокатного нагрева,
2. с повторного объёмного (печного) нагрева.

Совершенствование способов термического упрочнения рельсов в 1940-1960-е гг. приведено в таблице 27 [35, с. 107-155].

Таблица 27 – Совершенствование способов термоупрочнения рельсов в 1940-1960-е гг.

Год	Автор, Страна	Вид закалки	Сущность	Способ нагрева	Результат
1	2	3	4	5	6
1948-1950	Грдин Ю.В. СССР	поверхностная		прокатный нагрев	321–388 НВ
1954	Япония	поверхностная	охлаждение водой после прохождения первого индуктора ($T=830-840\text{ }^{\circ}\text{C}$), отпуск после второго индуктора ($T=480-500\text{ }^{\circ}\text{C}$)	нагрев ТВЧ	сорбит, 320–370 НВ
1955	Омский механический завод, СССР	поверхностная	закалка острияковых и рамных рельсов	нагрев ТВЧ	
1956 – 1959	Кузнецкий металлургический комбинат (КМК) СССР	объёмная в масле	нагрев в трубчатой печи до $880-900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 25–30 мин., закалка, дальнейшее охлаждение в коробах замедленного охлаждения до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, правка	печной нагрев	269-335 НВ
1957-1964	Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК) СССР	объёмная в масле	нагрев в проходной печи до $890-930\text{ }^{\circ}\text{C}$ (8-10 мин), охлаждение на воздухе до $840-860\text{ }^{\circ}\text{C}$, погружение в масло подошвой вниз, отпуск при $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 ч)	печной нагрев	320-360 НВ,

Продолжение таблицы 27

1	2	3	4	5	6
1959	США	поверхностная	закалка водой	газопламенный нагрев	$h_{\text{зак.}}=6$ мм
1959	«Индукал Геллинге» ГДР	поверхностная	головка нагревается до 950 °С, охлаждение водовоздушной струёй до 400 °С, подошва подогревается до 500–600 °С, окончательное охлаждение – водяной душ	нагрев ТВЧ	$h_{\text{зак.}}=7-8$ мм $h=3-4$ мм – сорбит отпуска, глубже – сорбит закалки
1959 и дальше	Amer. Brack. Shou США	поверхностная	холодной струёй воздуха, смешанной со струёй воды	газопламенный нагрев	
1961	«Азовсталь», СССР	поверхностная	свободно лежащий на подвижном стенде рельс перемещался под индуктором; поверхность катания нагревалась, охлаждалась, проходил самоотпуск и повторное охлаждение, закалывающая среда – конденсат 35–45 °С	нагрев ТВЧ	неоднородности структуры и твёрдости по глубине закалённой зоны, высокие остаточные напряжения после правки
1962	США	поверхностная	обдув рельса сжатым воздухом	газопламенный нагрев	300–350 НВ $h_{\text{зак.}}=8$ мм
1962	ФРГ	поверхностная	охлаждение эмульсией масла в воде, отпуск за счёт тепла сердцевины	газопламенный нагрев	
1962	США	поверхностная	закалка непрерывно-последовательным способом сразу двух рельсов двумя индукторами ($T=1000-1030$ °С), охлаждение струёй сжатого воздуха, окончательное – струёй воды	нагрев ТВЧ	сорбит, 340 НВ
1962 и дальше	США	поверхностная	закалка изогнутого рельса перегретым до 450-500 °С паром	газопламенный нагрев	
1962 и дальше	КМК СССР	поверхностная	закалка концов рельсов	газопламенный нагрев	большой разброс значений твёрдости, до 75–80 НВ
1963	США	объёмная в масле		печной нагрев	320-380 НВ
1965-1966 гг.	«Азовсталь», УКРНИИМЕТ, СССР	поверхностная	предварительный упругий изгиб рельса, закалочная среда – водовоздушная смесь	нагрев ТВЧ	сорбит закалки

В связи с изменением химического состава рельсовой стали потребовалось внести уточнения в технологические процессы закалки, которые не меняли сущность процесса и значения твёрдости. Уточнение технологических параметров при закалке стало возможным благодаря проведению научных исследований процессов структурообразования рельсовых сталей при различных режимах термической обработки. Были проведены теоретические изыскания и экспериментальное изучение процесса охлаждения различных элементов профиля рельсов при разных способах закалки [36].

В настоящее время в России используются, в основном, объёмно-закалённые рельсы. За рубежом, при термическом упрочнении рельсов, как с прокатного, так и со специального, повторного, нагрева, широко используют экологически чистые окружающие среды (водо-воздушные смеси, сжатый воздух, воду или полимерные среды), с последующим самоотпуском, что позволяет получить свойства, дифференцированные по сечению рельсов [203]. В России разработана технология и специальная установка для термической обработки рельсов с двусторонним охлаждением, обеспечивающая лучшие показатели, по сравнению с существующими методами, по следующим параметрам:

- улучшение геометрических параметров;
- обеспечение дифференцированного уровня свойств по сечению (твёрдая головка, упрочнённая подошва, вязкая шейка);
- повышение сопротивления контактной усталости и износу;
- повышение сопротивления усталостным разрушениям в головке и подошве за счёт создания там сжимающих остаточных напряжений [37].

Рельсы, предназначенные для термической обработки, должны соответствовать требованиям, предъявляемым к рельсам первого сорта. Твёрдость на поверхности катания головки закалённых рельсов должна быть в пределах 321 – 401 НВ; твёрдость шейки и подошвы рельсов – не более 388 НВ [158]. Макроструктура закалённого металла головки рельса должна представлять собой сорбит закалки. Механические свойства закалённых рельсов должны соответствовать представленным в таблице 28 [31].

Пробный отрезок рельса должен выдерживать низкотемпературные испытания на удар под копром без излома и признаков разрушения. При неудовлетворительных результатах испытаний на удар под копром рельсы разрешается подвергать высокому отпуску на твёрдость 255 – 302 НВ и сдавать их как незакалённые [183, с. 112].

Таблица 28 – Механические свойства закалённых рельсов

Показатель	Значение
Временное сопротивление, МПа (кгс/мм ²)	≥ 1200 (≥ 120)
Предел текучести, МПа (кгс/мм ²)	≥ 810 (≥ 81)
Относительное удлинение, %	≥ 6
Относительное сужение, %	≥ 25
Ударная вязкость при 20 °С, Дж/ см ² (кгс·м/см ²)	≥ 25 (2,5)

Рельсы, подлежащие сварке между собой, должны быть одного типа и одинаковой группы годности. Новые и старогодные рельсы длиной 25 м должны иметь не более четырёх сваренных стыков, рельсы длиной 12,5 м – не более двух. При износе концов рельсов с болтовыми отверстиями более 2 мм перед сваркой производят их обрезку не менее 600 мм. Вырезают также дефектные места рельсов. При термитной сварке рельсов допускается оставлять ранее сваренные контактным способом стыки. При этом расстояние от места обрезки до существующего (старого) сварного шва должно быть не менее 3 м. Рельсы, сваренные термитным способом, при статическом поперечном изгибе должны иметь показатели прочности и пластичности не ниже регламентированных [191]. Сварка должна производиться при температуре окружающего воздуха не ниже – 5 °С.

Таким образом, совершенствование технологии обработки рельсов обеспечивает соответствие рельсов ужесточаемым условиям эксплуатации.

3.5. Выводы

1. Эксплуатация первых железных дорог с рельсами, изготовленными из чугуна, и имевшими разные профили поперечного сечения показала, что этот материал обладает высокой хрупкостью, низкой пластичностью и не способен выдерживать высокие нагрузки, действующие на рельсы и приводящие к их разруше-

нию, а разные типы, выпускаемые заводами по заказу дорог, затрудняют их сортировку. Это потребовало сокращения количества типов рельсов и использования для их изготовления более пластичного материала – стали.

2. Развитие металлургии, материаловедения показало, что за счёт правильной термической обработки можно значительно повысить прочностные характеристики рельсовой стали. Исходными материалами при выплавке стали являются чугун и стальной лом – для мартеновского процесса, и чугун – для бессемеровского способа. Мартеновская сталь по качеству лучше бессемеровской. Она менее хладноломка, так как имеет меньшее содержание фосфора, даёт более плотный слиток, её химический состав более однороден и содержит меньше примесей.

3. На эксплуатационные характеристики рельсов большое влияние оказывают химический состав и технология выплавки. В связи с этим Рельсовой комиссией под руководством Л.О. Николаи было принято решение о разработке технических условий на рельсы, регламентирующих содержание основных элементов химического состава рельсовой стали и её прочностные характеристики. Оптимизация химического состава и повышение прочностных характеристик проводится до настоящего времени, что требует периодической корректировки имеющихся технических условий и стандартов.

4. Всесторонний анализ условий эксплуатации различных участков железнодорожного пути, проведённый различными организациями и ведущими специалистами, показал, что на работоспособность пути оказывают большое влияние динамическое воздействие поезда и природно-климатические явления и факторы. В связи с этим принято классифицировать отдельные участки пути по категориям, в зависимости от грузонапряжённости, скоростей движения и виду обращающегося подвижного состава. До конца 2011 г. классы путей утверждались Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» по представлениям железных дорог.

4. ИСТОРИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТЫКОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ И СОЕДИНЕНИЙ СВАРКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Развитие железнодорожного транспорта и совершенствование рельсовой колеи показало, что для повышения плавности хода и продолжительности безремонтной эксплуатации пути необходимо не только улучшение поперечного профиля рельсов, их химического состава и механических свойств, но и увеличение длины рельсов, и уменьшение количества стыков [204; 205]. При строительстве первых железных дорог металлургическая промышленность не имела возможности изготавливать рельсы длиной более одного метра, так как их получали путём литья в песчано-глинистые формы [46; 206]. Использование коротких рельсов приводило к большому количеству стыков между ними, что не позволяло увеличивать скорость движения поездов. В связи с этим остро встал вопрос об увеличении длины рельсов, с одновременным снижением их веса. Данная задача была решена лишь при развитии прокатного производства в XIX в. Инженерами-металлургами были разработаны рельсопрокатные станы и технологии прокатки на них рельсов увеличенной длины. Одновременно, проводились работы по получению металла для изготовления рельсов более высокого качества и с лучшими механическими свойствами. Это позволило отказаться от производства рельсов литьём. С увеличением длины рельсов сократилось количество стыков, что положительно сказалось на эксплуатационных характеристиках, продолжительности безремонтной работы и т.п.

4.1. Современные виды и способы соединений рельсов

4.1.1. Болтовые и сварные (неразъёмные) соединения рельсов

В рельсовой колее стык является наиболее слабым и часто повреждаемым местом. Это связано с тем, что колесо, накатываясь на стык, прогибает рельс вниз,

а на принимающем рельсе образуется ступенька, приводящая к удару колеса по нему. В связи с этим уменьшение количества стыков повышает уровень безопасности и комфортность при перевозке грузов и пассажиров [19]. Создание бесстыкового пути даёт возможность не только повысить комфортность и безаварийность, но и одновременно увеличить скорость движения поездов.

Плоские и уголкового рельсы укладывались в путь без скрепления между собой, что могло приводить к их сдвигу и сходу подвижного состава. Впервые соединение рельсов между собой было произведено на грибовидных рельсах¹ [86].

Дальнейшее изменение профиля поперечного сечения рельсов потребовало и изменения конструкции накладок. Первоначально заводы России выпускали различные типы рельсов, и для их стыковки требовалось большое количество разных видов накладок. Это затрудняло проведение ремонтных и профилактических работ. Уменьшение номенклатуры рельсов позволило резко сократить количество и разнообразие видов накладок. С переходом на однотипные рельсы, эксплуатируемые и в настоящее время, соединительные накладки остаются практически без изменений.

В 1838 г. были предприняты первые попытки создания единой рельсовой нити за счёт использования жёстких соединительных накладок (болтового соединения рельсов) (рисунок 42) [46]. Несмотря на их наличие, из-за зазора между рельсами, ударно-динамическое воздействие на путь в месте стыка остаётся, поэтому стык считается самым напряжённым местом в пути [67]. При длине рельсов 12,5 м около 35 – 50 % затрат труда уходит на выправку пути в зоне стыков. Стыки создают значительное сопротивление движению поездов (около 10 % от основного).

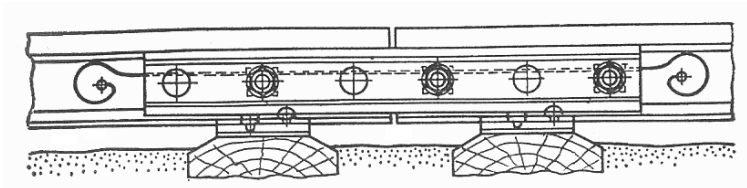


Рисунок 42 – Болтовое соединение рельсов (стык на весу)

¹ Подробно рассмотрено в разделе 1.2 (стр. 20).

К общим же недостаткам болтового соединения следует отнести:

- высокую шумность от удара колёс по стыкам рельсов;
- низкую скорость движения;
- наличие блуждающих токов;
- на электрифицированных линиях, оборудованных путевой автоматической блокировкой, наличие стыков ухудшает токопроводимость цепей, что вызывает нарушение в работе автоблокировки;
- интенсивный износ ходовых частей подвижного состава и рельсового пути – смятие и выколы головки рельсов в зоне стыка на расстоянии 60 – 80 мм от стыкового зазора, изломы рельсов по болтовым отверстиям, изломы накладок, болтов, подкладок и крепежителей.

Ослабление конструкции и ухудшение её состояния приводит к увеличению негативного воздействия стыка на путь.

По расположению стыков относительно опор наиболее распространены стыки на весу и стыки на сдвоенных шпалах.

Стык на весу (рисунок 42) зарекомендовал себя как упругий, при нем износ рельсовых концов меньше, чем при других стыках. В России он принят как стандартный, а также широко распространён на железных дорогах многих стран.

Недостаток стыка на весу состоит в том, что из-за большого прогиба рельсовых концов накладки работают на изгиб в более тяжёлых условиях, чем в стыках на сдвоенных шпалах.

Стык на сдвоенных шпалах (рисунок 43) [46] обладает большей сопротивляемостью горизонтальным и вертикальным перемещениям. В России такие стыки используют крайне редко.

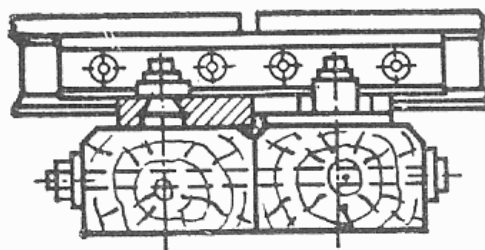


Рисунок 43 – Стык на сдвоенных шпалах

По сравнению со стыками на весу, стыки на сдвоенных шпалах более жёсткие, они требуют дополнительных затрат металла на объединение шпал, а в ряде случаев – применения специальных стыковых креплений (например, общей подкладки на обе шпалы). Кроме того, такие стыки трудно собирать на звеносборочной базе и подбивать.

В зависимости от взаимного расположения стыков разных рельсовых нитей одного пути различают стыки: по наугольнику, вразбежку и бессистемно расположенные.

При расположении по наугольнику (рисунок 44) стыки обеих рельсовых нитей находятся на одном перпендикуляре к продольной оси пути. Такое размещение принято как стандартное в России и во всех европейских странах.



Рисунок 44 – Расположение стыков по наугольнику

Преимущества такого расположения:

- меньшее число ударов в стыках при проходе подвижного состава, чем при других схемах;
- возможность индустриальной укладки (заготовки рельсошпальной решётки на звеносборочных базах) и разборки пути;
- более лёгкое содержание пути.

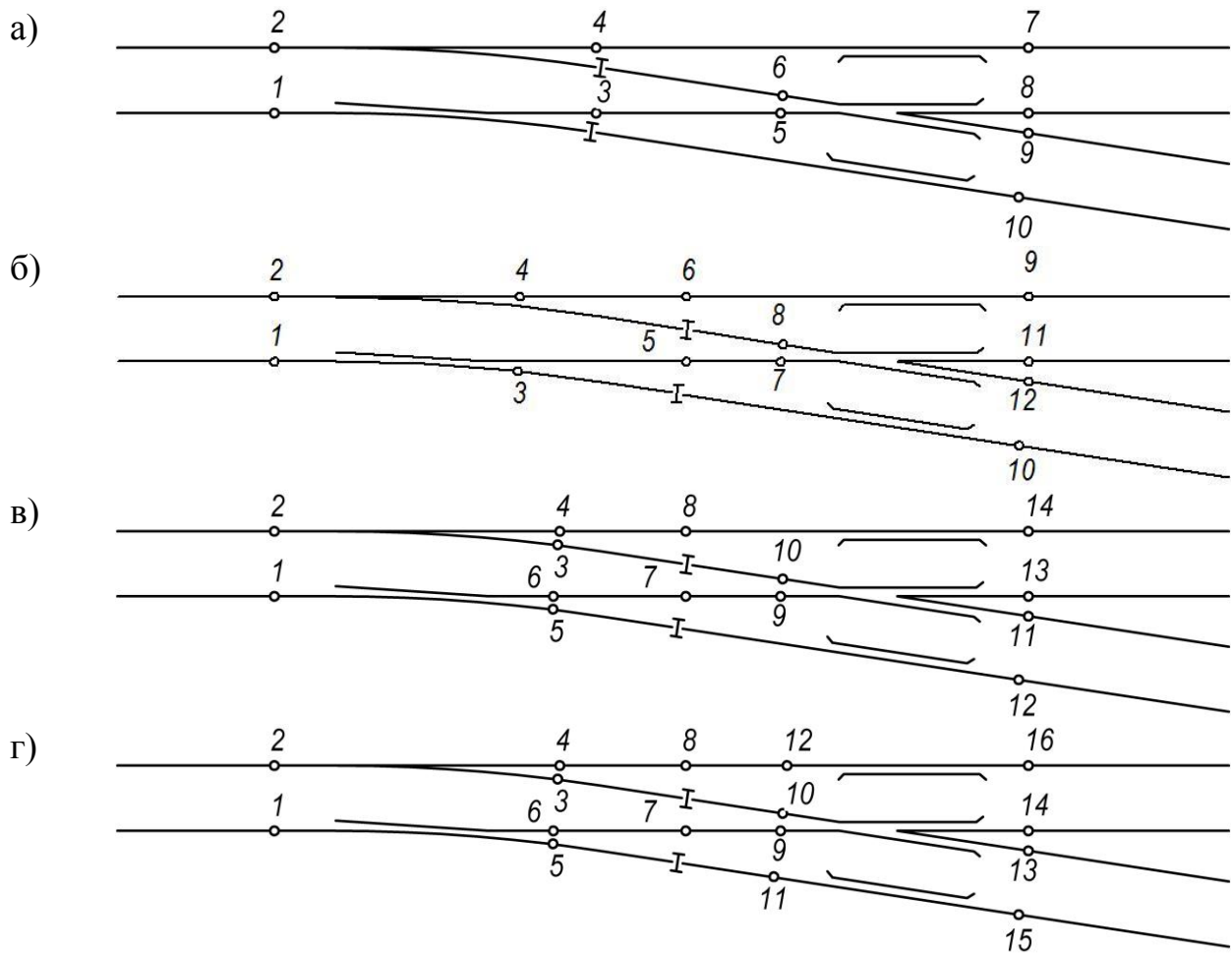
Недостаток – необходимость применения укороченных рельсов для укладки в кривых, чтобы обеспечить расположение стыков именно по наугольнику.

Основное преимущество стыков вразбежку в том, что они не требуют применения укороченных рельсов для укладки на внутренних нитях в кривых. К их недостаткам относятся вдвое большее, чем при стыках по наугольнику, количество ударных воздействий колёс, невозможность индустриальной укладки и разборки пути. Стыки вразбежку были распространены в США, но в настоящее время от них практически отказались.

Бессистемно расположенные стыки обладают теми же преимуществами и недостатками, что и стыки вразбежку.

Широкое внедрение клееболтовых стыков усиленной конструкции повышает эффективность бесстыкового пути с рельсовыми плетями длиной более 950 м по сравнению с участками, где ранее эксплуатировались короткие плети. В связи с этим и для таких участков рационально сваривать эксплуатируемые рельсовые плети, ликвидируя уравнительные пролёты с предварительным закреплением рельсовых плетей в оптимальном температурном интервале. Клееболтовые стыки применяют для изоляции блок участков друг от друга.

Бесстыковой путь предусматривает отсутствие стыков не только на перегонах, но и на стрелочных переводах. Современные стрелочные переводы (рисунок 45) [53, с. 71; 54, с.86] являются высоко ответственными и достаточно сложными конструкциями в путевом хозяйстве. В настоящее время они выполняются на железобетонных брусках, и для повышения их работоспособности требуется сварка с рельсами основного пути [53, 54].



- а) Р65 марок 1/11 и 1/9 проектов 2750, 2796, 2717, 2718
 б) Р65 и Р50 марок 1/11 и 1/9 проектов 2764, 2771, 2285, 2768,
 2561, 2773, 1848, 2766, 2721, 2769, 2772, 2642, 2643
 в) Р65 марки 1/18 проекта 2870
 г) Р65 марки 1/22 проекта 2832

Рисунок 45 – Схемы сварки рельсов в стрелочных переводах
 о 1 – стыки рельсов и их номер, свариваемых алюминотермитным способом;
 н – изолирующий рельсовый стык

Таким образом, применение жёстких стыковых накладок не позволило полностью решить проблему по созданию бесстыкового пути. Для создания бесстыкового пути необходимо неразъёмное соединение рельсов.

4.1.2. История разработки инновационных технологий для разных способов сварки рельсов

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения рельсов для железнодорожного транспорта, виды сварки разделяют на термический и термомеханический классы. К первому классу относятся термитная, электродуговая ваннным способом и электрошлаковая сварки; ко второму способу – электроконтактная и газопрессовая сварки [207].

Развитие промышленности и железнодорожного транспорта в XIX в. требовали увеличения объёмов производства стали и чугуна, поэтому учёными были предприняты попытки их получения внепечным способом. Наиболее перспективным способом являлось производство железа из руды с помощью химических реакций восстановления.

В 1865 г. основоположником современной физической химии русским учёным Н.Н. Бекетовым был впервые предложен метод получения металлов из их окислов [208]. Своими исследованиями о вытеснении из соединений одних элементов другими Н.Н. Бекетов превратил этот метод в научную теорию, заложив основу алюминотермии. Было установлено, что алюминий обладает высокой активностью, соединяясь с кислородом, и что при определённых условиях он легко восстанавливает из окислов другие металлы, в том числе и железо. На этом методе в дальнейшем был разработан способ алюминотермитной сварки массивных деталей между собой.

Большой вклад в создание термитной сварки внёс Г. Гольдшмидт, представитель Гейдельбергской школы химиков (Германия), ученик Р.В. Бунзена [209]. В 1888 г. он получил права на металлургический завод в Эссене, где в 1893 г. осуществил первый промышленный алюминотермический процесс с целью получения корубиса – шлака, по твёрдости соответствующего карборунду.

До успешного эксперимента Г. Гольдшмидта многие исследователи пытались применить алюминий для уменьшения оксидных включений в слитках стали, но процесс алюминотермии был трудно управляемым, смесь вспыхивала мгновенно или совсем не загоралась. Г. Гольдшмидт преодолел эту трудность, применив для холодной шихты запал из пероксида бария. Первый патент учёного (1897 г.) защитил способ производства технически чистых металлов [74].

Получение таким способом металлов было связано с рядом технологических трудностей и оказалось экономически не целесообразным по сравнению с общепринятым печным производством. Однако, в дальнейшем, данный метод получения жидкой стали был успешно применён для сварки крупногабаритных деталей между собой, в том числе и рельсов.

Первый патент, относящийся к соединению рельсов с помощью термитной сварки (рисунок 46) [210], получил Г. Гольдшмидт в 1901 г. Вскоре после этого была организована фирма «Гольдшмидт термит компани», и термитный процесс начали применять не только для сварки рельсов, но и для заварки дефектов отливок, ремонта треснувших рам двигателей, маховиков, штанг и т.п. В 1908 г. Г. Гольдшмидт усовершенствовал технологию сварки рельсов [33].

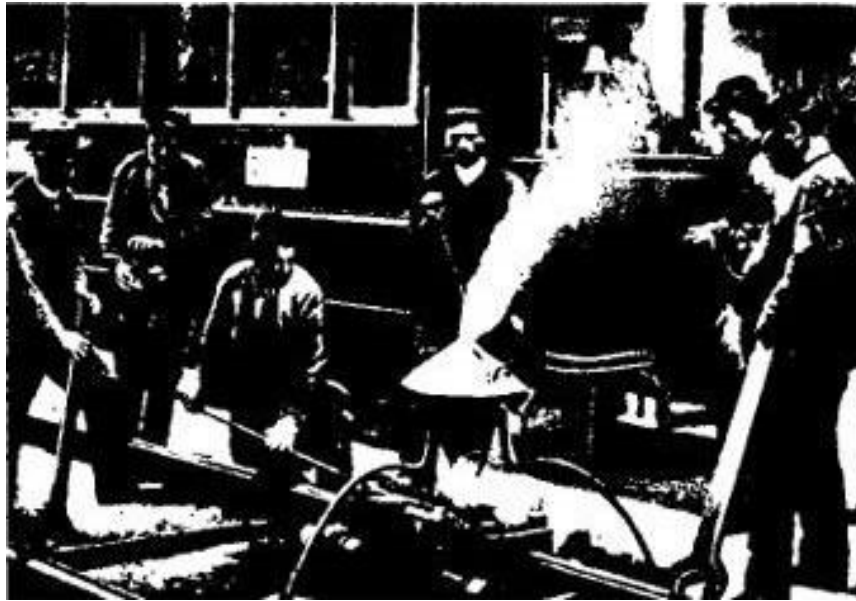


Рисунок 46. Сварка рельсов в Германии в 1899 г.

В это же время была предпринята попытка получения бесстыкового пути [204]. Для этой цели на железных дорогах США сварили рельсовую плетть длиной около 3 миль (5 км) [211].

Термитная сварка представляет собой процесс сварки металлических деталей путём заливки в зазор между соединяемыми деталями жидкого металла, требуемого химического состава, получаемого в результате алюминиотермической реакции.

Такие преимущества термитной сварки, как портативность оборудования и приспособлений, возможность соединять крупные заготовки на месте, и почти сразу же использовать сваренное изделие, были быстро оценены железнодорожниками. Термитом стали сваривать рельсы, поломанные тяги, штоки и др. В 1904 г. только австрийская фирма «Электрик тракшен» выполнила 10 тыс. стыков. Термитная сварка считалась выгодной для соединения деталей с площадью сечения более 5 см^2 . На сварку стыка уходило до 10 мин. В 1904 г. в

США термитная сварка была использована для соединения рельсов, деталей корабельных якорей, паровых машин и изготовления перекрытий мостов. Процесс оказался особенно выгодным при сварке соединений, сечение которых превышало 25 см^2 . Непревзойдённые в то время возможности термитной сварки были продемонстрированы при прокладке путей Парижского метрополитена.

Уже в первые два десятилетия XX в. были разработаны и нашли применение три технологические схемы термитной сварки, где сжигание смеси, получение железа и шлака производили в отдельном тигле, расположенном над местом сварки. При этом соединение получали:

- заливкой разделки жидким металлом без дополнительных технологических приёмов;
- заливкой разделки шлаком (иногда и металлом) с последующим сдавливанием деталей и вытеснением его (их) из зазора;
- комбинированным способом.

С 1915 г. в России стали применять термит для сварки трамвайных рельсов, и было сварено 126 стыков, в 1918 г. – 151 (рисунок 47)[212]. С 1923 г. стыки трамвайных рельсов столицы начали регулярно соединять с помощью термитной сварки [68].



Рисунок 47 – Капитальный ремонт в 1923 г.

Отечественный термит впервые был изготовлен в 1922 г. на Московском термитно-стрелочном заводе по технологии инженера М.А. Карасева и применён

сначала для сварки трамвайных рельсов, а с 1923 г. - и для сварки железнодорожных рельсов [34, с. 473; 53; 213].

В 1930 г. в СССР наиболее употребляемым был комбинированный способ термитной сварки стыков рельсов трамвайных и железнодорожных путей [214, 215]. При этом жидкий металл сплавляли с подошвой стыкуемых рельсов и нижней частью шейки, а шлаком нагревали головки рельсов и вставленную между ними стальную пластину до «сварочного жара», затем специальным прессом стягивали свариваемые рельсы, в результате чего осуществлялась сварка (рисунок 48).

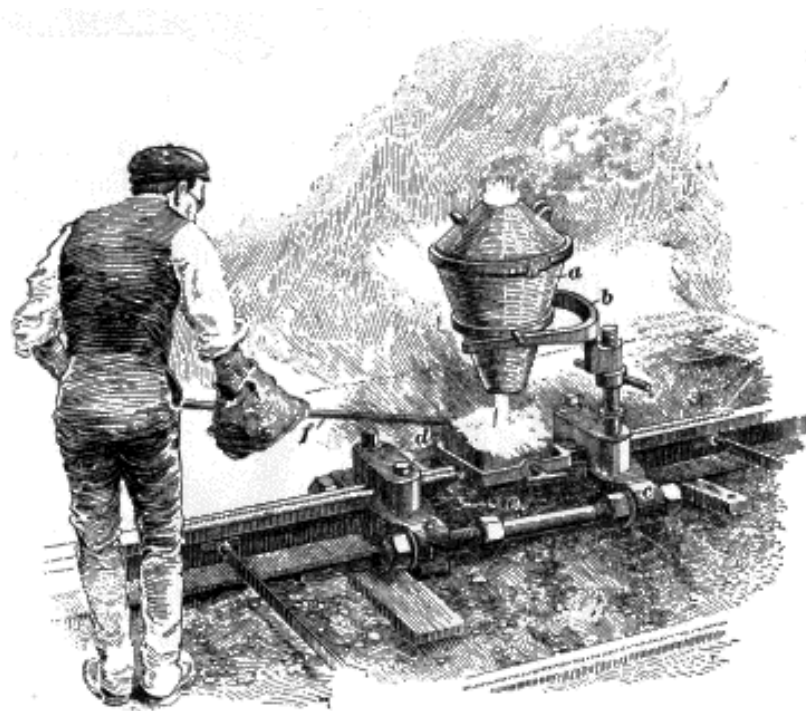


Рисунок 48 – Сварка рельсов комбинированным способом

Вплоть до середины 1950-х гг. сварка рельсов на железнодорожном транспорте осуществлялось в основном алюминотермитным способом.

Началом возрождения термитной сварки можно считать применение её в 1963 г. в Германии для ремонта крупных изделий, однако прочность алюминотермитных стыков составляла на тот период 50-60 % от прочности стыков, сваренных электроконтактным способом. Усовершенствование технологии производства и хранения термитной смеси, разработка новой оснастки, инструментов и приспособлений позволили фирмам Германии, Франции и Чехословакии ис-

пользовать термитную сварку для получения бесстыкового пути. На основе новых разработок бесстыковой путь начал появляться на железных дорогах других европейских государств [47].

В России вторично термитная сварка для соединения железнодорожных рельсов появилась в 1996 г., когда ЗАО «СНАГА», адаптировав данный метод для отечественных условий, стала активно внедрять его на всей сети железных дорог. В связи с этим было признано целесообразным использовать алюминотермитный способ для сварки рельсов в пределах стрелочных переводов, уложенных на железобетонных брусках. Это обеспечивает надёжную токопроводимость рельсовых цепей и повышает надёжность автоблокировки. Алюминотермитная сварка также используется для восстановления лопнувших рельсовых плетей бесстыкового пути.

В период с 2005 г. по настоящее время проводится алюминотермитная сварка рельсов по технологиям фирм ЗАО «СНАГА» и «Электро-Термит» в соответствии с ТУ 0921-127-01124323-2005 «Сварка рельсов алюминотермитная методом промежуточного литья» [197].

Газопрессовая сварка (рисунок 49) использовалась для сварки рельсов в стационарных условиях. Она характеризуется нагревом металла газовым пламенем и осадкой (сдавливанием) или проковкой нагретых деталей. Нагрев производится многопламенными сварочными горелками с большим количеством (до ста и более) небольших сопел, равномерно распределённых по торцевой поверхности, мундштука. Свариваемые поверхности за 1-2 мин частично оплавляются, после чего детали сдавливаются и соединяются. Нагрев ведётся обычно ацетиленокислородным пламенем, осадка производится гидравлическим устройством с зажимами для прочного захвата соединяемых деталей [32, с. 330-332].

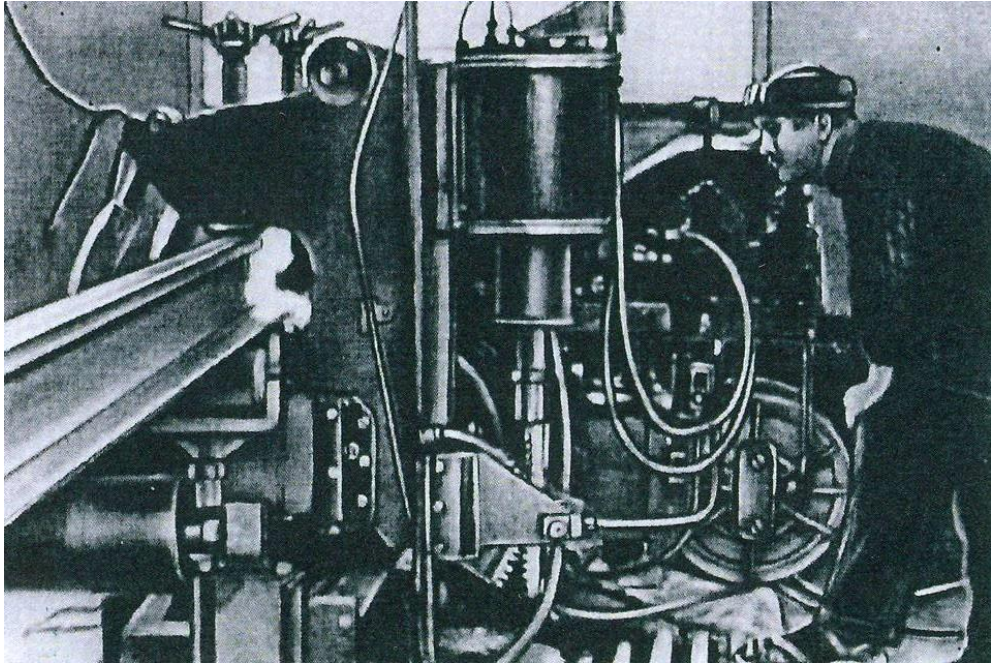


Рисунок 49 – Газопрессовая сварка рельсов¹

Оборудование для этого способа сварки было разработано во второй половине 1940-х гг. коллективом в составе Т.А. Владимирского, М.С. Никитина, Н.В. Бродовича, А.В. Обухова и А.К. Швылпова [30].

Для газопрессовой сварки характерны защита от окисления, низкая стоимость оборудования, ненужность присадочного металла и однородность сварного соединения.

В основе **электродуговой сварки рельсов** лежит метод использования тепловой энергии электрической дуги для расплавления металла, открытый в 1802 г. электротехником В.В. Петровым. В 1882 г. русский инженер Н.Н. Бенардос изобрёл «способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», а в дальнейшем - и основные способы дуговой электрической сварки. В 1888 г. Н.Г. Славянов разработал метод дуговой электросварки металлическим электродом, а в 1891 г. получил патент на «Способ и аппараты для электрической отливки металлов», тем самым усовершенствовал способы использования тепла электрической дуги для промышленного нагрева [34, с. 5-6].

Применение в 1907 г. шведским инженером О. Кьельбергом металлических электродов с флюсовым покрытием позволило предохранить металл шва от вред-

¹ Из отчёта ОАО «РЖД».

ного воздействия воздуха. В 1929 г. советский инженер-изобретатель Д.А. Дульчевский разработал способ автоматической дуговой сварки под флюсом. В 1932 г. коллективом Московского электромеханического института инженеров железнодорожного транспорта под руководством К.К. Хренова был создан способ дуговой электросварки под водой [207, с. 15-16].

Электродуговая сварка рельсов ванным способом (рисунок 50) применяется с середины 1930-х гг. В 1940-е гг. Институтом электросварки под руководством Е.О. Патона было разработано оборудование для автоматической сварки [216, с. 16-17]. Электродуговая сварка характеризуется увеличенными размерами сварочной ванны, удерживаемой в специальной стальной или керамической форме. Расплавление кромок свариваемых изделий происходит за счёт тепла жидкого металла. Стальную форму приваривают встык. Керамические формы делают разъёмными и после сварки удаляют. Электродуговую сварку применяют при сварке стержневых изделий (арматуры, рельсов и т.п.). Её можно вести одним или несколькими электродами, на повышенных режимах, что обеспечивает необходимый нагрев свариваемых элементов для создания большой ванны из жидкого металла. Сварку начинают в нижней части формы, в зазоре между торцами стержней (рельсов). Расплавленный в электрической дуге металл заполняет пространство между свариваемыми деталями. Технология отличается большим удельным расходом электродов (10-15 шт./стык) и меди (70-100 г/стык), низкой производительностью (8-10 стыков в смену) и весьма низким качеством сварки, что не позволило ей найти широкое применение при сварке рельсов [34; 217; 218].

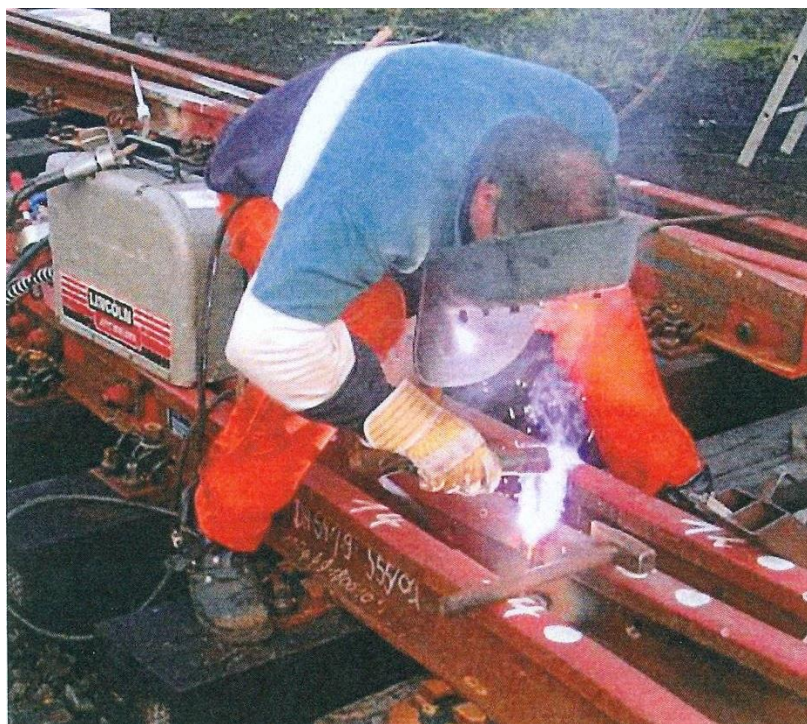


Рисунок 50 – Электродуговая сварка рельсов¹

В настоящее время данный вид применяют для сварки трамвайных рельсов, арматуры в строительных конструкциях и т.п.

Электрошлаковая сварка была разработана в 1950-х гг. в Институте электросварки им. Е.О. Патона АН УССР. Впервые электрошлаковую сварку осуществил в 1949 г. Г.З. Волошкевич, который в 1956 г. получил авторское свидетельство на данный способ соединения металлов [207 с. 158]. Попытки разработать технологию сварки рельсов электрошлаковым способом закончились неудачей, т.к. процесс сварки в поперечном сечении оказался ещё более трудоёмким, чем ванный способ рельсов [217].

Процесс получения соединения металлов путём контактной сварки был впервые применён У. Томсоном в Англии в 1856 г. и Э. Томсоном в США – в 1877 г. В этом же году Н.Н. Бенардос изобрёл контактную точечную сварку, а в 1885 г. получил патент на способ точечной электросварки клещами с угольными электродами, чем положил начало электроконтактной сварке. Появление роликовой, стыковой, рельефной сварок стало возможным благодаря замене угольных электродов на медные [207, с. 213-214].

¹ Из отчёта ОАО «РЖД».

При **электроконтактной сварке** (рисунок 51) электрический ток пропускают через место сварки, оказывающее омическое сопротивление прохождению тока. При этом происходит разогрев металла в месте контакта (стыка) за счёт выделения Джоулевого тепла. Разогретые и обычно оплавленные детали сдавливаются или осаживаются, способ отличается высокой степенью механизации, автоматизации и роботизации.



Рисунок 51 – Электроконтактная сварка рельсов¹

Электроконтактная сварка впервые была успешно применена в 1943 г. на железных дорогах СССР [219].

Разработка технологии контактных машин для сварки рельсов институтом электросварки им. Е.О. Патона и ВНИИЖТом позволили производить сварку рельсов в плети для бесстыкового пути в стационарных условиях. В дальнейшем была разработана передвижная рельсосварочная машина ПРСМ (рисунок 52)[221], позволяющая сваривать рельсы контактным способом непосредственно при их укладке. Развитие бесстыкового пути железных дорог показало, что не всегда можно или целесообразно использовать рельсосварочную машину. Так, например, при ремонтных работах использование контактной сварки рельсов связано с рядом неудобств: требуются продолжительные окна, расшивка пути, доставка рельсосварочной машины к месту сварки и т.п.

¹ Из отчёта ОАО «РЖД».



Рисунок 52 – Путьевая рельсосварочная машина ПРСМ-4

В таблице 29 сопоставляются различные способы сварок по показателям, достигнутым к концу XX в. [31, с. 5].

Учитывая, что алюминотермитная сварка рельсов с 1964 г. не применялась на отечественных железных дорогах, то приведённые для неё данные в таблице 29 являются несколько заниженными.

В начале XXI в. в Россию стали поступать рельсы импортного производства, которые при сварке контактным способом стали давать выходы по дефектам сварных стыков (рисунок 53) [220], а при алюминотермитной сварке качество стыков получалось высоким, при строгом соблюдении технологии сварки.

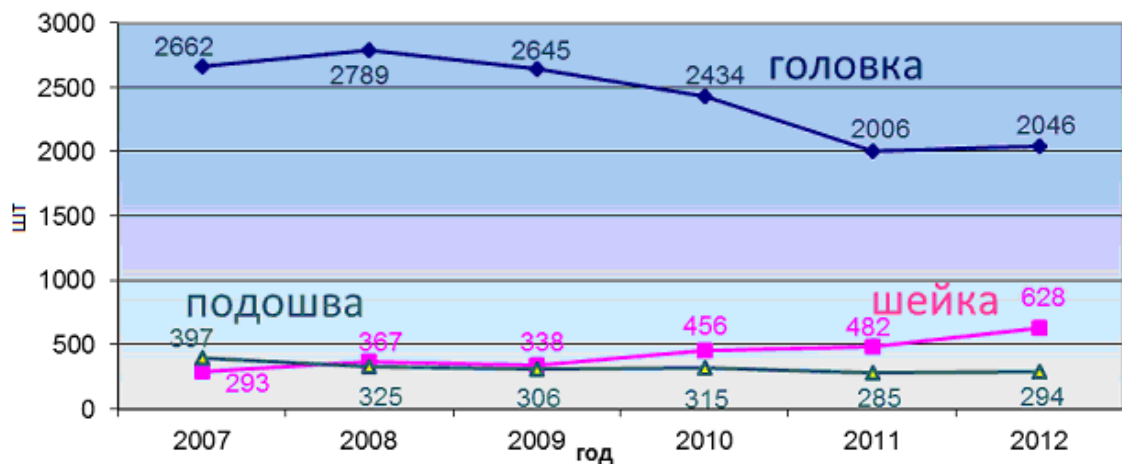


Рисунок 53 – Выход рельсов по дефектам сварных стыков

Таблица 29. Техничко-экономические показатели сварных рельсов при разных способах сварки

Наименование характеристик	Способ сварки			
	Контактный	Газопрессовый	Термитный	Дуговой
Прочность и пластичность при статическом изгибе				
Временное сопротивление, не менее, кгс/мм	90	90	60	60
Стрела прогиба на пролёте 1 м, не менее, мм	30	30	15	15
Усталостная прочность при циклическом изгибе				
Предел выносливости сварных стыков, % (по отношению к прокатным рельсам после холодной плавки)	95-110	90-100	60-70	55-70
Эксплуатационная стойкость				
Выход рельсов по дефектам сварных стыков по сравнению с контактным способом сварки	1	1,5	8,0	10,0
Хрупкие изломы сварных стыков без дефектов в главном пути	нет	нет	имелись	рельсы не укладывали
Трудоёмкость и стоимость сварных рельсов				
Затраты времени на сварку по сравнению с контактным способом сварки	1	2	2	1,7
Стоимость сварки с учётом транспортирования рельсов	1	1,8	1,2	1,1

Таким образом, в настоящее время для создания бесстыкового пути на железной дороге используются контактная и алюминотермитная сварка рельсов, а на трамвайных путях – термитная и электродуговая, которую постепенно вытесняет термитная.

4.2. Преимущества и недостатки бесстыкового пути и способов его получения в современных условиях

Многолетние исследования и опыт эксплуатации бесстыкового (сварного) пути (рисунок 54), как за рубежом, так и в России, подтвердили высокую эффективность бесстыковой конструкции температурно-напряжённого типа без сезонных разрядок напряжений [24; 26; 222 – 225].

К преимуществам бесстыкового, по сравнению со стыковым, относят:

- снижение динамического воздействия на путь;
- уменьшение износов рельсов и ходовых частей подвижного состава;



Рисунок 54 – Сварное соединение рельсов

- сокращение выходов из строя рельсов по стыковым дефектам;
- уменьшение сопротивления движению поездов и, соответственно, экономия топлива и электроэнергии на тягу;
- снижение расходов на содержание и ремонт пути и подвижного состава (примерно на 25 – 30 %);
- увеличение срока службы (примерно на 20 %);
- снижение интенсивности бокового износа наружной рельсовой нити в кривых и, соответственно, повреждений рельсов по этой причине;
- сокращение потребности в очистке щебёночного балласта на угольно-рудных маршрутах в 1,5-2,0 раза;
- сокращение расходов металла на стыковые скрепления (до 4,5 т·км);
- уменьшение расходов на ремонт ходовых частей вагонов и локомотивов;
- повышение комфортабельности проезда пассажиров;
- бесстыковая рельсовая цепь позволяет значительно сократить нарушения в работе автоблокировки, так как около 25 % из них происходит из-за неисправностей стыковых соединений. Износ рельсов бесстыкового пути по сравнению со стыковым происходит медленнее, в среднем на 14 % на кривых радиусом 600-700 м и на 12 % – на прямых, также увеличивается срок службы рельсов или период до капитального ремонта, с одновременным снижением расходов на содержание пути [47; 198; 224; 225].

К недостаткам бесстыкового пути следует отнести:

- большее время, затрачиваемое на оформление стыка;
- большая стоимость работ для выполнения стыка;
- требуется более высокая квалификация рабочих, собирающих стык;

- необходимо дополнительное оборудование для сварки.

Контактная сварка рельсов производится без использования присадочных материалов и без специальной подготовки торцов [35].

До недавнего времени контактная сварка рельсов выполнялась на контактных машинах двумя методами: с предварительным прерывистым подогревом и непрерывным оплавлением. Качество стыков зависит главным образом от степени пластической деформации и нагрева металла свариваемых изделий. В настоящее время разработан метод контактной сварки с нагревом импульсным током [163].

Контактные стыковые машины являются основным оборудованием для сварки рельсов, которая выполняется в стационарных условиях на машинах типов МСГР-500, К-1000 и К190ПК-1, а в пути – с помощью передвижных или самоходных агрегатов, оснащённых контактными головками К-900 и других моделей. Рельсосварочные машины типа МСГР-500 работают методом прерывистого подогрева, а К190ПК-1, К-900, К-900А и К-920 – методом непрерывного оплавления [226].

Преимущества:

- высокое качество сварного соединения;
- механизация и автоматизация работ (в стационарных условиях);
- высокая производительность процесса.

Недостатками являются:

- сложность и высокая цена оборудования;
- необходимость продолжительных окон;
- отсутствие разработанной технологии сварки при пониженных температурах;
- невозможность сварки в зоне стрелочных переводов.

При алюминотермитной сварке используется комплект специального оборудования, общий вес которого не превышает 250 кг.

Преимущества алюминотермитной сварки очевидны:

- удобство, манёвренность и универсальность применяющейся оснастки;
- небольшая продолжительность окон;

- проведение процесса сварки без потребления электроэнергии;
- возможность проведения в полевых условиях;
- высокая производительность;
- возможность сварки стыков рельсов в зоне стрелочных переводов;
- достаточная прочность получаемого сварного соединения.

В то же время недостатками являются:

- отсутствие разработанной технологии сварки при пониженных температурах;
- зависимость от качества термитной смеси.

Как стыковой, так и бесстыковой пути должны выполнять одни и те же задачи, основными из которых являются:

- обеспечение бесперебойной работы железнодорожного транспорта;
- обеспечение безопасности перевозки пассажиров;
- обеспечение сохранности грузов;
- долговечность как самого груза, так и подвижного состава и т.п.

Стыковой и бесстыковой пути находятся при одних и тех же условиях, которые оказывают различное влияние на их работоспособность.

Таким образом, экономически более выгодно для прокладки нового железнодорожного бесстыкового пути использовать контактную сварку, а для ремонта и текущего содержания пути и приварки стрелочных переводов – термитную.

4.2.1. Влияние внешних условий на сохранение работоспособности железнодорожного пути

Природные колебания температур в достаточно широком интервале от – 40 до + 60 °С влияют на эксплуатацию рельсовой колеи. При значительном понижении температуры происходит укорочение рельсов по длине. При таком укорочении зазоры в стыках увеличиваются [47].

В бесстыковом пути полное отсутствие зазоров приводит к возникновению значительных внутренних растягивающих напряжений при отрицательных температурах, что, в конечном итоге, может вызвать разрыв рельса по всей плоскости его поперечного сечения. Такие разрывы очень опасны, т.к. являются одной из

причин схода подвижного состава во время движения, приводящего к крупным авариям и крушениям [227].

При повышении температуры окружающей среды и отсутствии облачности рельсы могут нагреваться до 60 °С. При несоблюдении условий эксплуатации, отсутствие зазоров в рельсовых плетях вызывает возникновение значительных внутренних напряжений сжатия, которые приводят к выбросам рельсошпальной решётки (рисунок 55) [228]. Это вызывает необходимость приостановки движения поездов на данном участке и проведения внепланового ремонта и текущего содержания пути.



Рисунок 55 – Выброс рельсошпальной решётки

Таким образом, зазоры необходимы в бесстыковом пути, как при повышении, так и при понижении температуры окружающего воздуха. До недавнего времени такие зазоры предусматривались в бесстыковом пути через каждые 800 м [48, 57].

Применение температурно-напряжённого бесстыкового пути позволяет увеличить длину бесстыковой плети до длины перегона, однако требует ужесточения условий эксплуатации.

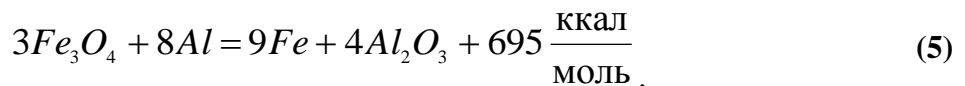
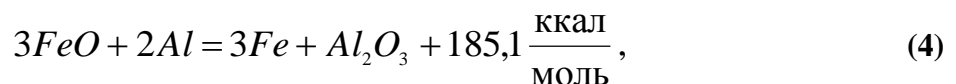
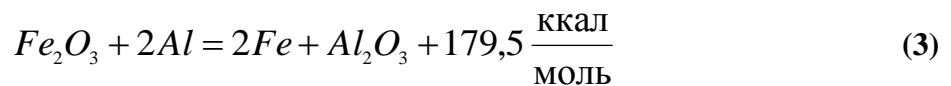
4.2.2. Описание процесса алюмотермитной сварки

Термит, употребляемый для сварки рельсов, изготавливается из железной окалины – отходов сталепрокатного производства и металлического алюминия. Их размельчают до получения зёрен диаметром от 0,1 до 2,5 мм. Первичный алюминий должен содержать не менее 98–99 % чистого алюминия. Перед размолом окалина должна быть хорошо обожжена с целью удаления из неё влаги и масла.

Пыль из размельчённой окалины и алюминия удаляется воздушным сепаратором. Окалина по своему химическому составу различна. Чем меньше в окалине кремния, тем она лучше для получения сварочного термита. Содержание в окалине кислорода не должно быть ниже 25 %.

Железо с кислородом может образовать три окисла: FeO – закись железа; Fe₂O₃ – окись и Fe₃O₄ – закись-окись.

При нормальных условиях составляющие термитной смеси не вступают во взаимодействие, но если термитную смесь подогреть до 1100–1200 °С, то между её компонентами начинается химическая реакция. В результате этой реакции металлический алюминий соединяется с кислородом окалины и превращается в окись алюминия, а окалина, отдавая кислород алюминию, превращается в железо. Эта реакция идёт с большим выделением тепла, поэтому если она уже началась, то далее продолжается произвольно, нарастающими темпами и прекратить её невозможно – она неуправляемая. Химическая реакция выражается следующим образом [34, с. 473; 53, с.72; 54, с. 88; 208; 217; 229; 230]:

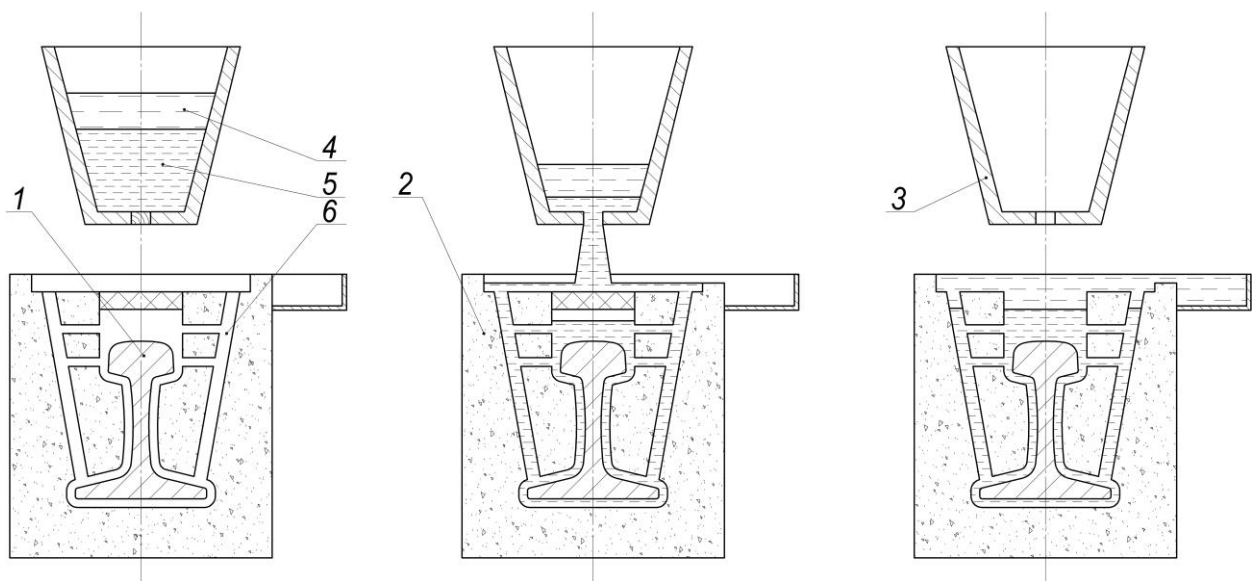


Термитная смесь содержит по весу 23,7 % алюминия и 76,3 % окалины. При сгорании 1,0 кг термитной смеси выделяет 762 ккал тепла, что позволяет получить температуру разогретого металла порядка 2700–3000 °С.

Окалина и алюминий могут содержать различные примеси. Поэтому процент содержания алюминия и окалины в термитной смеси рассчитывается с учётом чистоты алюминия и содержания кислорода в окалине. Практика термитной сварки показала, что окалины в термитной смеси должно быть на 7–8 % больше расчётного содержания. Тогда термитный металл получается плотнее и лучше сваривается с металлом рельса.

Чтобы лучше использовать образующееся при реакции тепло и увеличить выход металла, в термитную смесь для сварки рельсов при изготовлении добавляют мелко измельчённые кусочки стали – отходы гвоздильного производства. При расплавлении сталь увеличивает выход термитного металла и понижает начальную температуру продуктов реакции термита. В зависимости от веса порции термита в термитную смесь добавляют этих отходов (называемых обсечкой) от 12 до 20 % к весу предполагаемого выхода термитного металла. Для улучшения механических свойств металла сварного шва в термитную смесь вводят ферросплавы, в большинстве случаев ферромарганец, ферросилиций, ферромolibден, ферротитан, феррованадий. Ферросплавы обуславливают получение термитного металла с механическими свойствами, близкими к металлу свариваемых рельсов.

Для сварки рельсов в настоящее время применяется способ промежуточного литья (рисунок 56) [54, с. 89], при котором из продуктов термитной реакции используется только расплавленный металл 5 без шлака 4 [53, 54].



a – плавление термитной смеси; *б* – заливка расплавленной термитной смеси в форму; *в* – кристаллизация сварного шва
 1 – рельс, 2 – форма, 3 – тигель, 4 – расплавленный шлак,
 5 – расплавленный металл, 6 – литник

Рисунок 56 – Схема алюминотермитной сварки рельсов способом промежуточного литья

Жидкий металл является одновременно источником тепла и присадочным материалом, соединяющим концы рельсов 1. Свариваемые концы рельсов при

этом способе устанавливаются с зазором 25 ± 1 мм и заключаются в соответствующие для данного способа сварки формы 2. Для сжигания термита при сварке способом промежуточного литья применяется конический тигель 3 с выпускным отверстием в дне. Расплавленный металл заливается из тигля в форму и заполняет оставленный между торцами рельсов зазор, начиная с подошвы рельсов, куда попадает через специальный литник 6. Постепенно заполняя зазор и свободное пространство между рельсами и стенками формы, металл вызывает расплавление соприкасающихся с ним стенок рельсов, а, застывая, образует с рельсами одно целое – сварное соединение. Вытекающий из тигля за металлом шлак стекает по жёлобу, оставляя над металлом лишь слой небольшой толщины.

Этот слой шлака предохраняет термитный металл от быстрого остывания, чем способствует более свободному выделению газов из жидкого металла и получению более плотного металла.

В середине XX в. стыковая контактная сварка вытеснила алюминотермитную. В настоящее время в России алюминотермитная сварка получила своё второе рождение, в первую очередь, при соединении рельсов в районе стрелочных переводов, так как контактные машины по ряду причин не могут быть применены в этих местах. В их числе невозможность подсоединения захватов контактных машин в ряде стыков стрелочного перевода и невозможность в стрелочном переводе сделать петлю из рельсов, требуемую при контактной сварке.

Алюминотермитная сварка рельсов выполняется на всех типах стрелочных переводов, а собранных на железобетонных брусках в обязательном порядке – по схемам, приведённым на рисунке 45.

Кроме того, этот вид сварки, наряду с электроконтактной, применяется для окончательного восстановления лопнувшей бесстыковой плети или вваривания в неё взамен временной рельсовой рубки рельсовой вставки длиной от 3 м.

Алюминотермитная сварка железнодорожных рельсов должна выполняться в строгом соответствии с техническими условиями ТУ 0921-127-01124323-2005 [197]. Нарушение технологии сварки, использование некачественных сварочных материалов и т.п. приводит к дефектам в сварном соединении и может способ-

ствовать его разрушению. В таблице 30 приведены данные на начало 2008 г. по дорогам РФ по выявленным дефектам в сварных соединениях рельсов, сваренных алюминотермитной сваркой, с указанием причин образования дефектов [231, с. XIV-46].

Из приведённых данных видно, что основной причиной образования дефекта в стыке является нарушение технологического процесса сварки, причём общее количество дефектов не превышает 0,1 % от сваренных стыков данным методом, что является очень высоким показателем. Сравнивая технологии фирм ЗАО «СНАГА» и «ЭЛЕКТРОТЕРМИТ» видно, что больший процент брака относится к стыкам, сваренным по технологии фирмы «ЭЛЕКТРОТЕРМИТ». Поэтому руководством ОАО «РЖД» была принята технология ЗАО «СНАГА», как основная на сети железных дорог России.

Таблица 30 – Таблица дефектов

Дорога	Сварено стыков с начала внедрения			Выявлено дефектных стыков в условиях эксплуатации			Причины образования дефектов			
	Всего	в т.ч. по технологиям		Всего	в т.ч. по технологиям		Нарушение технологии сварки	Нарушение технологии шлифовки	Низкое качество термитной смеси	Без видимых причин
		Снага	Электро термит		Снага	Электро термит				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ОКТ	9824	4983	4841	17	15	2	16	1		
КЛНГ	1263	1263		4	4		4			
МОСК	14734	14734								
ГОРЬК	5416	3461	1955	12	3	9	3		9	
СЕВ	13156	11487	1669	2	2		2			
СКАВ	9343	9343		2	2		1			1
ЮВОСТ	6051	6051		1	2					
ПРИВ	4975	4797	178	16	16		16			
КБШ	9183	9183								
СВЕРД	2588	2558	30							
ЮУР	3001	1007	1994	3		3	3			
ЗСИБ	3464	3464		7	7		7			
КРАС	2454	2454		7	7		7			
ВСИБ	3383	3383		14	14		14			

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЗАБ	3150	2795	355	5	5		5			
ДВОСТ	3510	3510								
САХ	272	272								
ИТОГО	95767	84745	11022	90	77	14	78	1	9	1

Технология АТСП к настоящему моменту отработана и при её строгом соблюдении брак исключён, но каждое отклонение от заданных параметров может приводить к браку, что, в первую очередь, связано с плохой свариваемостью рельсовой стали. Был проведён (выполнен) ряд работ [56; 58 – 63; 69 – 71; 232 – 240], направленных на определение влияния технологических параметров, влияющих на качество сварного шва рельсов, сваренных алюминотермитным способом. Такими исследованиями занималась и автор этой работы.

4.3. Разработка оборудования и проведение эксперимента по алюминотермитной сварке рельсов

4.3.1. Создание элементов многопламенной горелки для предварительного подогрева концов рельсов и её испытания

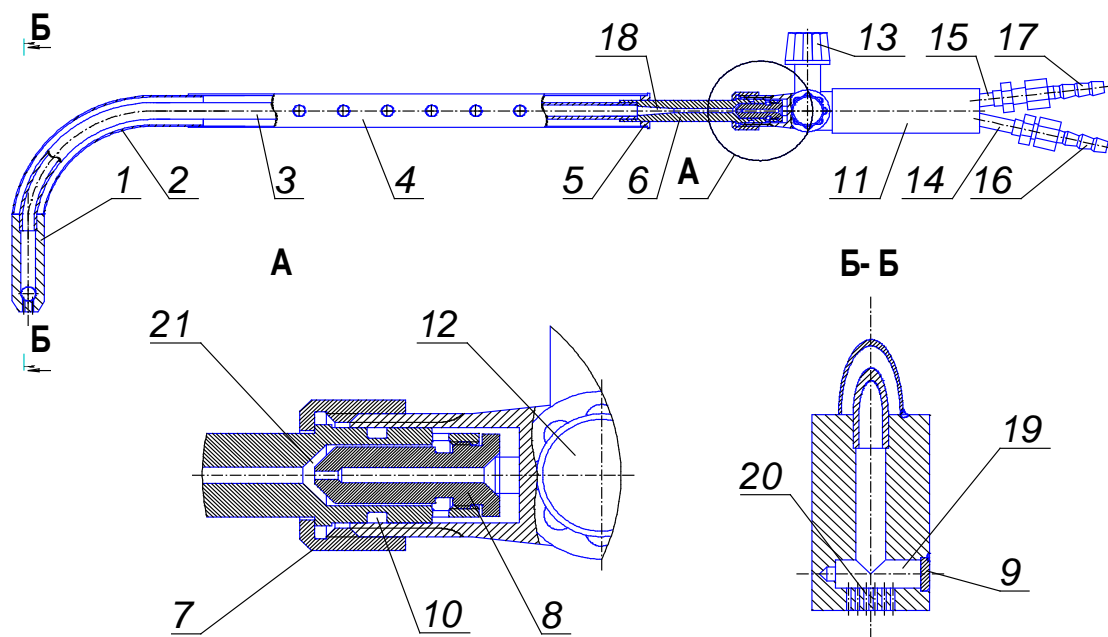
К 2004 г. алюминотермитная сварка рельсов приобрела большую популярность в России, поэтому остро встал вопрос о необходимости закупки железными дорогами комплектов оборудования за рубежом для её проведения [50, 51].

Перевод производства в Россию значительно снижал общие расходы на приобретение оборудования. ЗАО «СНАГА» были проведены все подготовительные работы для выпуска оборудования и большинства расходных материалов на предприятиях России. По заказу ЗАО «СНАГА» автором была проведена конструктивно-технологическая проработка, модернизация многопламенной горелки и изготовление опытного образца для предварительного подогрева торцов рельсов перед сваркой.

Было показано, что для выпуска таких горелок целесообразно использовать в качестве сборочной единицы стандартный корпус сварочной горелки, выпускаемой отечественными предприятиями и разработать конструкцию специального наконечника, стыкуемого с ним.

Из выпускаемых отечественной промышленностью разных типов горелок, наиболее подходящей по мощности является горелка ГЗУ-4. Корпус горелки ГЗУ-4 отличается от зарубежного образца посадочными местами и седлом инжектора. Поэтому был заново разработан стыковочный узел корпуса с горелкой, инжектор и инжекторная камера. Для ряда элементов горелки потребовалось проведение уточняющих расчётов, которые были выполнены по известной методике [242, 243].

Горелка для подогрева рельсов состоит из корпуса горелки, специального наконечника и многосоплового мундштука. Конструкция разработанной горелки представлена на рисунке 57.



1 – мундштук, 2 – каркас, 3 – трубка, 4 – оболочка, 5 – втулка,
 6 – корпус наконечника, 7 – гайка, 8 – инжектор, 9 – заглушка,
 10 – кольцо уплотнительное, 11 – корпус из комплекта горелки ГЗУ-4,
 12 – пропановый вентиль, 13 – кислородный вентиль, 14 – пропановый патрубок,
 15 – кислородный патрубок, 16 – пропановый ниппель,
 17 – кислородный ниппель, 18 – смешительная камера,
 19 – распределительная камера, 20 – сопла, 21 – инжекторная камера
 Рисунок 57 – Горелка для предварительного подогрева стыка рельсов
 (вырез А – увеличено, вид Б-Б – увеличено)

Кислород поступает в горелку по резиновому шлангу, надеваемому на ниппель 17, и патрубку 15, а пропан через ниппель 16 и патрубок 14. Количество по-

ступающего кислорода регулируется вентилем 13, а пропана – вентилем 12, расположенных в корпусе горелки 11. Кислород, пройдя вентиль 13 и инжектор 8, создаёт разрежение в пропановом канале корпуса горелки, благодаря чему пропан засасывается в инжекторную камеру 21 корпуса наконечника 6. В смесительной камере 18 происходит смешение пропана и кислорода, образуется горючая смесь, которая проходит по трубке наконечника 3 в многосопловый мундштук 1. Для получения заданной мощности и размеров газового пламени в конструкции мундштука необходимо иметь 3 ряда сопел (9 + 6 + 9) на базе 24 мм.

Проведённые расчёты позволили определить необходимый диаметр горлового отверстия инжектора и диаметр каждого из сопел мундштука.

Для повышения стойкости мундштука его изготовили из стали 12Х18Н10Т.

Наконечник, многосопловый мундштук и инжектор потребовали ряда конструктивных изменений стандартной горелки, на основании которых был разработан полный комплект чертежей. В него вошли сборочный чертёж, рабочие чертежи всех составляющих горелки, спецификация и технические условия на изготовление опытного образца [50, 51, Приложение Г (справка об участии автора в разработке горелки)].

4.3.2. Организация испытания разработанной горелки¹ и экспериментального определения температур при предварительном подогреве рельсов

Испытания опытного образца горелки проводились на опытном полигоне фирмы ЗАО «СНАГА» при участии автора, представителей фирмы и аттестованных сварщиков термитной сварки. Для данных испытаний были выбраны рельсы Р65. На специальном стенде были закреплены два куска рельсов с зазором 25 мм. Горелка, в соответствии с ТУ 0921-127-01124323-2005 [197] была закреплена на комбинированной стойке (рисунок 58).

В соответствии с технологией (Приложение Д), на стык была установлена форма, выполнена обмазка в местах соприкосновения формы с рельсами и прове-

¹ Этапы проведения данного эксперимента соответствуют [53].

дён предварительный подогрев концов рельсов в течение 8 минут (рисунок 59). Окончание подогрева соответствовало моменту времени, когда торцевые поверхности головок и шеек рельсов достигли температуры близкой к температуре солидус.

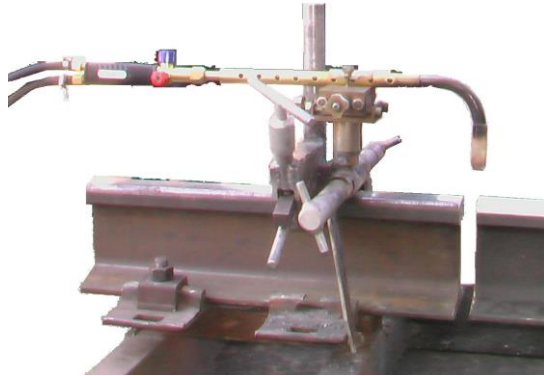


Рисунок 58 – Комбинированная стойка с опытным образцом горелки



Рисунок 59 – Предварительный подогрев торцов рельсов в стыке

Для анализа характера разогрева торцов рельсов, форма была разрушена и проведён визуальный осмотр характера распределения температур по поверхностям обоих рельсов. Характер распределения температур оказался одинаковым на обоих торцах, что является одним из необходимых условий при проведении прогрева. На рисунке 60 приведены рельсы с разогретыми концами, через некоторый промежуток времени, после разрушения формы.



Рисунок 60 – Подогретье концы рельсов

Зона высокотемпературного подогрева торцов свариваемых рельсов составила около 15–20 мм.

Технические параметры горелки представлены в Приложении Г.

Данная горелка обеспечивает достаточно равномерный подогрев торцов свариваемых рельсов до температуры 1200–1250 °С и имеет возможность плавной регулировки мощности пламени.

После полного охлаждения и зачистки стыка от окалины в одном из рельсов были подготовлены места для замера температур.

В данном эксперименте использовались хромель-алюмелевые термопары (ХА), соединённые с гальванометрами [241]. Температуры определялись в головке, шейке и подошве рельсов на расстоянии 42, 52, 62, 72 и 82 мм от торца рельса, который нагревался газовым пламенем при подогреве (рисунок 61). Из-за необходимости установки на стык рельсов формы расположить термопары ближе к поверхности нагреваемого торца рельса оказалось проблематично.

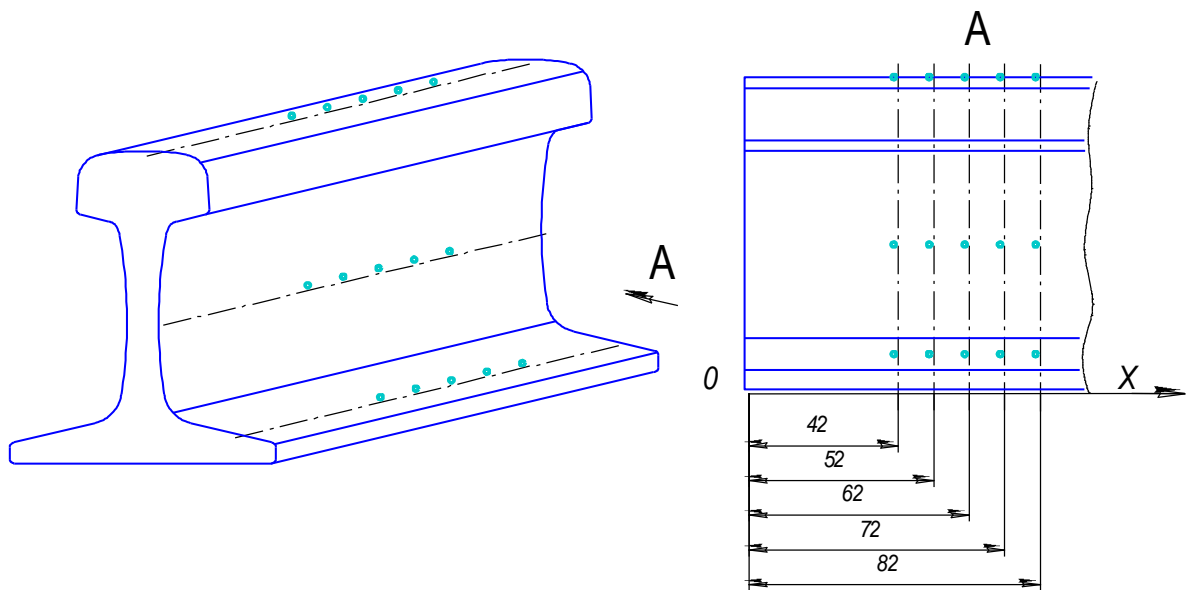


Рисунок 61 – Места замеров температуры контактной термопарой

Целью данных экспериментов было определение эффективной мощности разработанной горелки для предварительного подогрева рельсов при алюминотермитной сварке, чтобы впоследствии можно было проводить численные эксперименты.

На указанных рельсах эксперимент повторялся четыре раза после полного их охлаждения. Полученные результаты экспериментов были обработаны – вычислены средние значения температур в каждой точке. По средним значениям построены термические циклы для каждой точки и распределения температур по длине рельса в головке, шейке и подошве.

Полученные данные с помощью программы Microsoft Excel были обработаны с построением линий тренда термических циклов на этапе подогрева в соответ-

ствующих сечениях (рисунок 62). Аналогичные термические циклы были получены для других поперечных сечений [70].

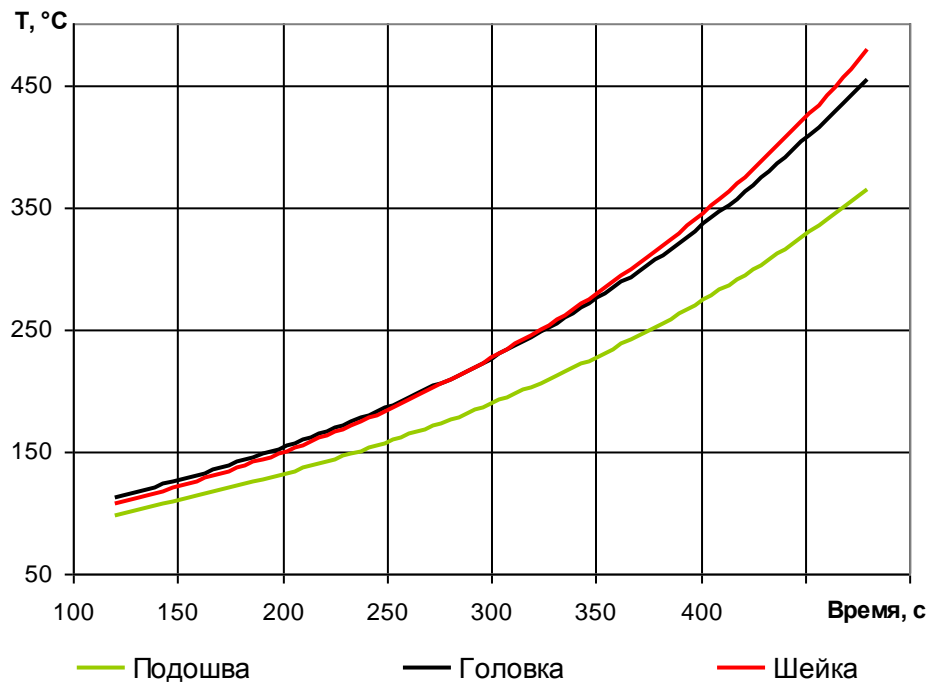


Рисунок 62 – Экспериментальные термические циклы в рельсе Р65 на расстоянии от торца 42 мм.

Из приведённых данных видно, что при выполнении подогрева торцевые поверхности свариваемых рельсов имеют неравномерное распределение температур. Головка и шейка рельса нагреваются быстрее, чем подошва, но по мере удаления от стыка, температура по сечению становится более равномерной.

4.3.3. Определение эффективной тепловой мощности пламени горелки при предварительном подогреве

Для проведения численных экспериментов по влиянию технологических параметров на изменение распределения температур и термических циклов в расчётной модели необходимо было задавать эффективную тепловую мощность (q_u), которая вводится в рельс при подогреве и может быть определена по зависимости [243, с. 141]

$$q_u = \eta \cdot q, \quad (6)$$

где q – мгновенная тепловая мощность газового пламени горелки;

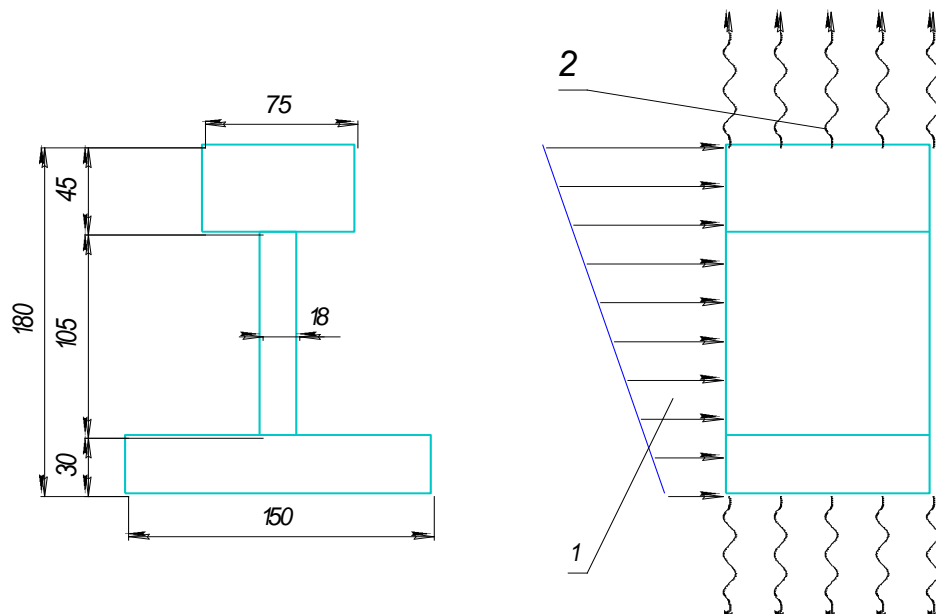
η – коэффициент полезного действия газового пламени горелки.

Однако задать к.п.д. горелки с учётом конкретных особенностей данного технологического процесса оказалось затруднительно, т.к. часть тепловой энергии поглощается формой, часть теряется за счёт конвективного и лучистого теплообмена с окружающей средой, значительная часть уносится газовым потоком. Торцы рельсов нагреваются боковыми частями пламени.

В связи с этим, имея экспериментальные значения, было решено провести численный эксперимент по определению температур в ряде точек (см. рисунок 61). Для этого была разработана расчётная модель по определению температур при подогреве торцов рельсов и, меняя в расчётной модели эффективную тепловую мощность, добились соответствия расчётных и экспериментальных значений температур. Вычисленное таким образом значение эффективной тепловой мощности принималось в дальнейших численных экспериментах, как соответствующее действительному вводу тепловой энергии в торцы рельсов.

Распространение теплоты существенно зависит от формы и размеров тела. Обычно формы рассматриваемого тела упрощаются и сводятся к простейшим.

В случае сварки стыка рельсов полученное сварное соединение можно представить в виде трёх полубесконечных стержней, по которым распространяется тепло (рисунок 63).



1 – зона введения тепла; *2* – отвод тепла с поверхностей

Рисунок 63 – Упрощённая модель рельса Р65, принятая при расчёте для определения эффективной тепловой мощности горелки

Теплота от мгновенного плоского источника в стержне распространяется в основном в направлении вдоль стержня. Температуру по поперечному сечению стержня можно принять равномерной, а процесс распространения теплоты – линейным, при котором теплофизические коэффициенты не зависят от температуры. Теплоотдача с боковых поверхностей рельсов незначительна, так как на стык и прилегающие участки, непосредственно перед подогревом, устанавливается литейная форма.

Широкое применение для решения задач теплопереноса имеют аналитические и численные методы: метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР).

Для получения распределения температур для рельса с известными физическими свойствами условия однозначности сводятся к заданию начального и граничного условий.

Начальные условия для уравнения теплопроводности состоят в задании температуры во всех точках M области G в момент $t=0$, от которого ведётся отсчёт времени.

В случае равномерного распределения температуры в теле начальное условие упрощается:

$$T(M, t) = T = const, \quad M \in G. \quad (7)$$

В задачах теплопроводности используются следующие типы граничных условий. Граничные условия первого рода – определяют закон об изменении температуры точек поверхности тела. Граничные условия второго рода – задаётся плотность теплового потока на поверхности тела как функция координат и времени [244, с. 147-148]:

$$q = \varphi(x, y, z, t) \quad (8)$$

или мощность источника тепла. Граничные условия третьего рода – задаётся температура окружающей среды и закон конвективного теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.

Для описания процесса теплообмена используется закон Ньютона, согласно которому количество тепла (q_2), отдаваемого единицей площади поверхности S с

температурой T в единицу времени в окружающую среду с температурой T_c в процессе охлаждения, пропорционально разности температур поверхности тела и окружающей среды [244, с. 148]:

$$q_2 = \alpha \cdot (T - T_c), \quad (9)$$

где α – коэффициент полной поверхностной теплоотдачи.

Коэффициент полной поверхностной теплоотдачи характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Он отражает совместные действия конвекции и излучения, и зависит от ряда факторов [244 - 246].

Применительно к рельсу можно реализовать граничные условия первого или второго рода, а на боковых поверхностях – граничные условия третьего рода.

Одним из основных факторов, определяющих распределение температур в рельсе при подогреве, является вводимая мощность. Для оценки распределения температуры в рельсе была выделена зона, в которую вводилось тепло от пропанно-кислородной горелки (рисунок 63).

В качестве базового, для последующего анализа влияния мощности теплового источника при подогреве, на распределение температур приняты следующие граничные условия: в рельс вводится тепло различной мощности; происходит конвективный теплообмен с окружающей средой; температура окружающей среды $T_c=20$ °С.

Расчёт производился с помощью программного комплекса «Поле-аналитик», разработанного на кафедре «Технология сварки, материаловедение, износостойкость деталей машин» (ТСМИ) МИИТ [247].

При расчётном определении температур в узлы расчётной модели, соответствующие торцевой поверхности рельса, вводилась тепловая мощность, соответствующая теплу, выделяемому пламенем горелки при подогреве рельсов. Теплофизические коэффициенты принимались не зависящими от температуры, расчёт выполнялся пошагово. Время нагрева составляло 480 с, что соответствовало времени подогрева рельса при экспериментальном замере температур на натуральных образцах.

При анализе температурных полей была выявлена их некоторая неравномерность распределения по сечению рельса.

Проведённое сопоставление результатов расчёта по МКЭ и экспериментальных данных (рисунок 64) показало удовлетворительное их соответствие – расхождение не превышает 12 – 15 %, что вполне приемлемо для подобных расчётов. Аналогичные результаты получены и для других точек рельсов, в которых были проведены экспериментальные замеры температур в разные моменты времени при их предварительном подогреве.

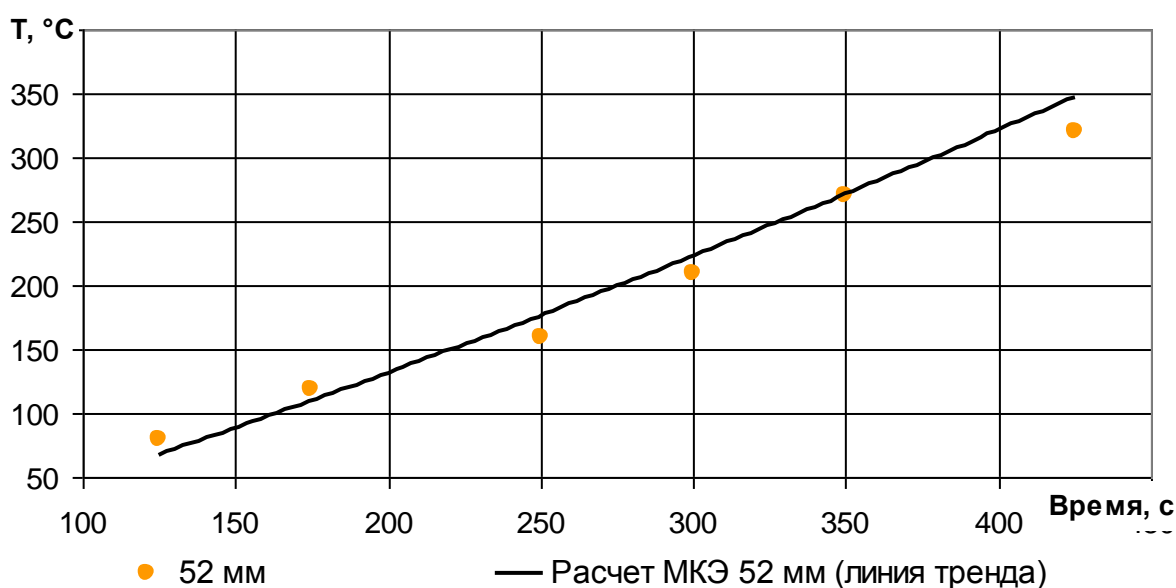


Рисунок 64 – Сопоставление результатов расчёта МКЭ и экспериментальных данных на расстоянии от торца 52 мм

Таким образом, в результате проведённых численных экспериментов, сопоставляемых с результатами натуральных экспериментов, была определена эффективная тепловая мощность, соответствующая реальной мощности, вводимой при подогреве в рельс – 5600 Дж/с.

4.4. Численный анализ температурных полей и скоростей охлаждения при алюминиотермитной сварке рельсов

Рельсы изготавливают из углеродистой спокойной раскисленной стали, которую выплавляют в конверторах, мартеновских и электропечах. Рельсовая сталь может легироваться: ванадием, кремнием, хромом и титаном.

В настоящее время большинство железнодорожных рельсов изготавливается из рельсовой стали марки М76 по ГОСТ Р 51685-2000, для которой стандартом определены следующие пределы содержания основных химических элементов: С – 0,71-0,82 %; Мn – 0,75-1,05 %; Si – 0,25-0,45 %; Р – 0,035 %; S – 0,040 %; Al – 0,025 %.

Наличие в рельсовой стали и металле сварного шва высокого содержания углерода при ускоренном охлаждении может приводить к образованию закалочных структур в отдельных зонах поперечного сечения рельса, снижающих пластичность. Поэтому важно знать скорости охлаждения в различных зонах сварного соединения.

Для проведения численных экспериментов по анализу тепловых процессов при алюминотермитной сварке рельсов была использована программа, разработанная на кафедре ТСМИ МИИТ Р.А. Королёвым [234], основанная на методе конечных разностей.

Разработанная расчётная модель повторяет форму поперечного сечения железнодорожных рельсов, используемых при проведении эксперимента. Свариваемые рельсы были заменены полубесконечными стержнями с площадью поперечного сечения F и периметром p , соответствующими площади поперечного сечения и периметру свариваемых типов рельсов. Распределение температуры в поперечном сечении стержней на этом этапе расчёта принималось постоянным для каждого поперечного сечения рельса, но переменным по его длине. Теплообмен нагретой части рельса с окружающей средой учитывался с помощью коэффициента поверхностной теплоотдачи и принимался равным [244, с. 151]:

$$b = \frac{\alpha p}{c \rho F} \quad (10)$$

где α – коэффициент поверхностной теплоотдачи; $c\rho$ – объёмная теплоёмкость; F , p – соответственно площадь поперечного сечения и периметр стержня.

Для расчёта распределения температуры в поперечном сечении свариваемых стержней в расчётную модель второго этапа было введено поперечное сечение, форма которого максимально приближена к форме поперечного профиля желез-

нодорожного рельса в зависимости от его типа, регламентированного ГОСТ Р 51685-2000. На рисунке 65 показана замена реального поперечного профиля железнодорожного рельса типа Р50 (сплошная линия) расчётным профилем поперечного сечения рельса (штриховая линия). При этом обязательным условием является равенство площадей обоих поперечных сечений.

Такой подход при решении задачи теплопроводности для рельса, имеющего постоянное поперечное сечение по длине, позволяет существенно уменьшить количество вводимой информации в расчётную модель и сократить время счёта, а для сечений, в которых необходимо проанализировать неравномерность распределения температур по поперечному сечению, выполняется второй этап расчёта. Такие приёмы часто используются в инженерной практике для решения сложных и громоздких задач [248].

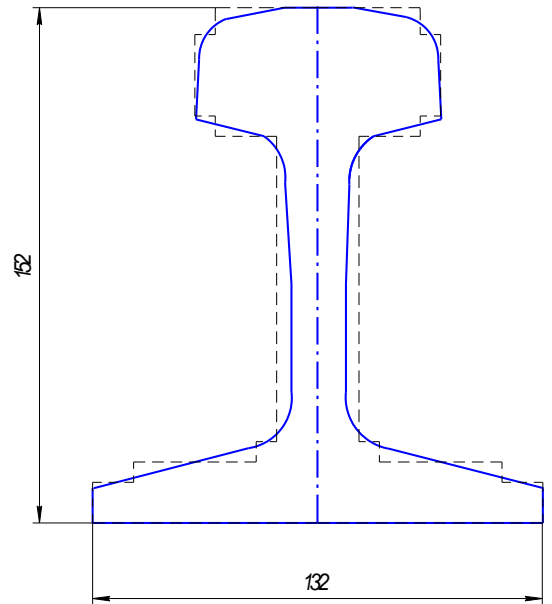


Рисунок 65 – Контур расчётной модели для рельса типа Р50

При решении температурной задачи сварки рельсов алюминотермитным способом, совместно с Р.А. Королевым была разработана методика с использованием данного подхода [56; 249; 250]. Данная методика подробно рассмотрена в [234].

В расчётах принималось, что свариваются одинаковые рельсы между собой, а, следовательно, тепловые процессы в них протекают симметрично относительно оси сварного шва, поэтому можно рассматривать только половину модели.

В качестве начальных условий первого этапа расчёта температура рельса принималась равной температуре окружающей среды, а на втором этапе – распределению температур, после этапа подогрева и технологической паузы. Граничными условиями первого этапа расчёта являлось граничное условие второго рода (постоянный удельный тепловой поток) – на нагреваемом торце рельса и граничное условие первого рода (изотермическая граница), а на втором этапе – частный случай граничного условия второго рода (адиабатическая граница).

На первом этапе (предварительный подогрев) в рельс с одного торца вводится количество теплоты, зависящее от мощности пламени газовой горелки, с помощью которой выполняется предварительный подогрев [243, с. 140; 244, с. 197]:

$$Q = q_u dt. \quad (11)$$

Введённая теплота в торец рельса за счёт теплопроводности перераспределяется по всей его длине к менее нагретым участкам. Этот процесс может быть описан линейным дифференциальным уравнением вида [244, с. 151]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) - b(T - T_0), \quad (12)$$

По данному уравнению совместно с проф. Н.Н. Прохоровым были выполнены расчёты теплопереноса с использованием метода конечных разностей по явной схеме на прямоугольной сетке. Уравнение (12) в этом случае трансформируется к форме:

$$T_{k+1,i} = T_{k,i} + \frac{2a\Delta t}{\Delta x^2} \left(\frac{T_{k,i+1} + T_{k,i-1}}{2} - T_{k,i} \right) - \frac{\alpha(T_{k,i})P}{c\rho F} \Delta t (T_{k,i} - T_0) \quad (13)$$

где $c\rho$ – объёмная теплоёмкость; λ – коэффициент теплопроводности; b – коэффициент поверхностной теплоотдачи; a – коэффициент температуропроводности; $T_{k,i}$ – температура в i -том узле на k -том слое по времени. Номера i соответствуют номерам узлов вдоль оси стержня (рельса), номера k соответствуют номерам слоёв по времени. Δx и Δt – шаги по координате x и по времени. Начало координат по оси x совпадает с центром разделки под сварку. В уравнении (13) $\alpha(T_{k,i})$ – значение коэффициента поверхностной теплоотдачи в i -том узле на k -том слое. F и P – соответственно, значение площади поперечного сечения стержня (рельса) и его периметр; T_0 – значение температуры окружающей среды.

Согласно технологическому процессу после окончания предварительного подогрева наступает «технологическая пауза», в период которой убирают газовую горелку, устанавливают тигель с термитом над формой, поджигают термитную спичку, а от неё термитную смесь в тигле. Заканчивается «технологическая пауза» завершением термитной реакции и выпуском расплавленного термитного металла в литейную форму. В период «технологической паузы» за счёт процессов тепло-

проводности происходит лишь перераспределение температуры, поэтому в расчётной модели это предусмотрено отсутствием ввода тепла в какие-либо её места.

Затем, наступает этап сварки, на котором тепло вводится однократно вместе с заливкой расплавленного термитного металла в форму. Для расчётной модели это соответствует вводу тепла в узлы сетки расчётной модели и перераспределения температуры в ней за счёт протекания процессов теплопроводности.

Перераспределение температуры в плоскости расчётного поперечного сечения представляет собой процесс, который описывается линейным дифференциальным уравнением вида [244, с. 151]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right], \quad (14)$$

где $a = \lambda/c\rho$ – коэффициент температуропроводности материала.

В каждом рассматриваемом расчётном поперечном сечении учтены процессы поверхностной теплоотдачи. Удельный тепловой поток с плоской поверхности при теплоотдаче описывается уравнением Ньютона [244, с. 148]:

$$q_2 = \alpha(T - T_0). \quad (15)$$

В расчётной модели учтено, что часть рельса находится в форме и теплообмен идёт в этом месте между рельсом и формой. Поэтому было принято допущение, что при подогреве часть рельса, заключённая в форме и сама форма имеют одинаковые температуры.

На этапе сварки, начиная с момента заливки расплавленного термитного металла и до момента разрушения формы, учитывается её влияние, что было замечено на ряде кривых, описывающих термические циклы.

Решение задачи теплопроводности с учётом нелинейности теплофизических коэффициентов [234] показало, что на этапе нагрева кривые термических циклов несколько отличаются по значениям температур от термических циклов рассчитанных с постоянными теплофизическими характеристиками материала. На этапе охлаждения эти расхождения температур незначительны – особенно при определении скоростей охлаждения. На основании этих исследований в данной работе

теплофизические характеристики материала принимались постоянными, а расчёт проводился по линейному дифференциальному уравнению (12).

Для верификации были проведены экспериментальные замеры температур с помощью термопар и пирометра. Пирометр не дал возможность получить значения температур с необходимой точностью [237].

С учётом возможного повреждения средств измерения температуры во время проведения операций монтажа сварочной формы и уплотнения мест сопряжения формы с рельсом, минимально возможное расстояние расположения термопар составило 50 мм от торца рельса.

С точки зрения безопасности, нахождение людей вблизи горелки на этапе подогрева нежелательно, а на этапе сварки нахождение персонала ближе 5 м от места сварки – запрещено, так как горение термитной смеси происходит бурно и сопровождается выбросом искр. Поэтому, разработка методики определения температур была разработана с учётом описанных выше технологических особенностей процесса алюминотермитной сварки рельсов способом промежуточного литья.

Схема расположения термопар разрабатывалась с учётом возможности подтверждения или опровержения полученных ранее значений. Расчёт температур в поперечном сечении показал неравномерное распределение температуры. Максимальные значения температуры достигаются в головке рельса, а при переходе к шейке рельса происходит заметное понижение максимальных значений температур. Поэтому, термопары были расположены следующим образом. Вдоль рельса на поверхности катания головки рельса были расположены три термопары. На расстоянии 50 мм, 60 мм и 70 мм от торца рельса. И одна термопара была расположена в средней части шейки рельса на расстоянии 60 мм от торца рельса (рисунок 66). Такое расположение термопар позволило провести измерение температур во время проведения всего процесса сварки как по длине рельса (термопары, расположенные на поверхности катания головки рельса), так и в поперечном сечении

рельса (термопары, расположенные на расстоянии 60 мм от торца рельса, соответственно в шейке и головке рельса)¹.

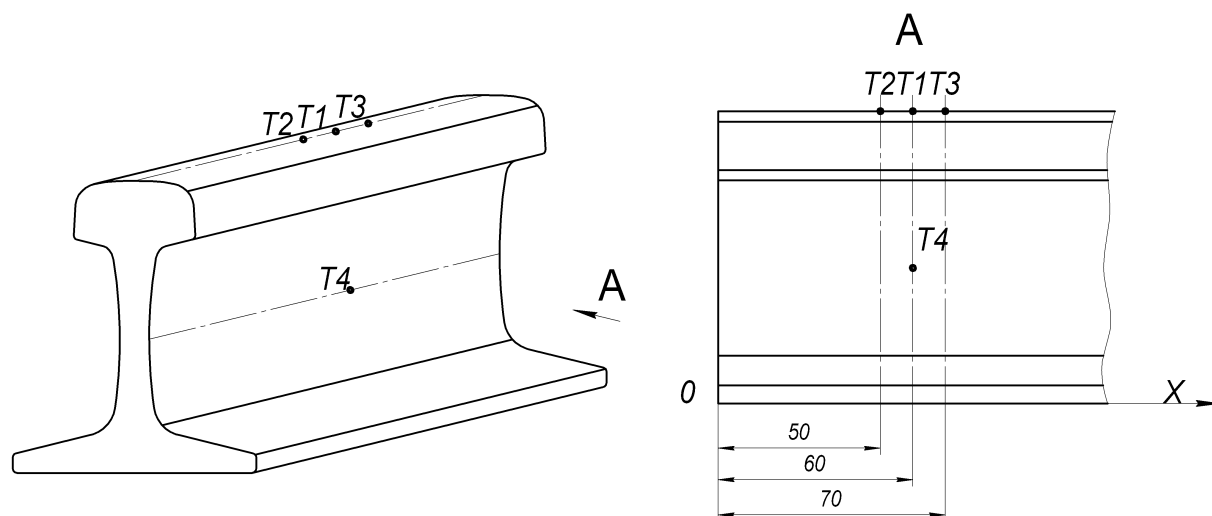


Рисунок 66 – Схема расположения термопар на свариваемых рельсах, при проведении эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований из стандартных железнодорожных рельсов типа Р50, соответствующих требованиям ГОСТ Р 51685-2000 “Рельсы железнодорожные. Общие технические условия”, были изготовлены натурные образцы, длиной 1 м каждый.

Для размещения и закрепления термопар как на поверхности катания головки рельса, так и в средней части шейки рельса выполнялись отверстия, соответствующие диаметрам термопар, глубиной 5 мм.

Закрепление термопар производилось с помощью специальных клиньев. В качестве инструмента для записи получаемых данных использовался ноутбук “Toshiba”, а для анализа и обработки – специальная приставка “Dock Station”². Применение данного оборудования дало возможность производить и регистрировать 154 измерения температуры в секунду с каждой термопары. Измерение температуры производилось на протяжении всего процесса проведения алюминотермитной сварки как на этапе предварительного подогрева и технологической паузы, так и на этапе сварки, после заливки расплавленной термитной смеси и последующей кристаллизацией и охлаждением сварного соединения. Погрешность из-

¹ Эксперимент и верификация проводились совместно с Р.А. Королёвым [69; 233].

² Запись температур в эксперименте помогали проводить А.В. Саврухин, А.Н. Неклюдов.

мерений составляет ± 15 °С. Краткое описание технологического оборудования и основные операции. При проведении эксперимента, предварительный подогрев производился на протяжении 7 мин; технологическая пауза длилась 1 мин; разрушение сварочной формы было произведено через 4 мин после заливки расплавленной термитной смеси. Для исключения повреждения термопар, завершающие операции по доводке полученного сварного соединения не проводились.

В результате проведённых экспериментальных исследований для каждого из технологических этапов, были построены термические циклы (рисунок 67). Окончанию предварительного подогрева газовой горелкой соответствует момент времени 420 с, а завершению технологической паузы – 480 с. Результаты измерений температур, полученные на этапе сварки, приведены для первых 300 с.

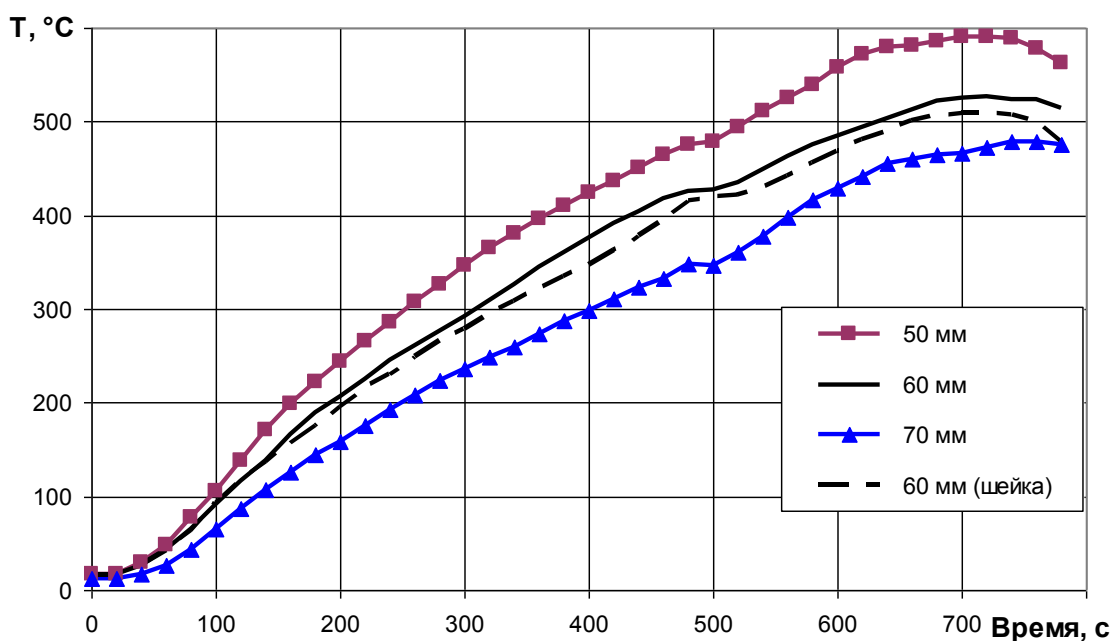


Рисунок 67 – Термические циклы на этапе подогрева и сварки, построенные на основе экспериментальных данных

Все кривые имеют одинаковый характер: монотонно возрастают на всем временном промежутке (как во время предварительного подогрева, так и во время технологической паузы). Это объясняется тем, что термопары расположены на расстоянии от нагреваемого торца, нагрев данных точек происходит за счёт тепла перераспределяющегося от торца рельса за счёт процессов теплопроводности. Теплота подходит к данным точкам с некоторым «запозданием по времени» поэтому, хотя предварительный подогрев прекращается в момент времени 420 с и до

момента времени 480 с длится технологическая пауза, кривые термических циклов продолжают возрастать.

На этапе сварки температуры во всех точках расположения термопар продолжают увеличиваться. Через 250 с после заливки расплавленного термитного металла начинается постепенное понижение температур во всех точках замера температур, к этому моменту сварочная форма разрушена.

Для сопоставления данных, получаемых при расчёте с использованием разработанных моделей и вычислительных алгоритмов с данными, полученными в результате экспериментальных исследований, были проведены расчёты, моделирующие условия эксперимента [237].

Сопоставление экспериментальных данных и расчётных, полученных с использованием разработанных моделей и алгоритмов, на этапах предварительного подогрева и сварки приведено на рисунке 68.

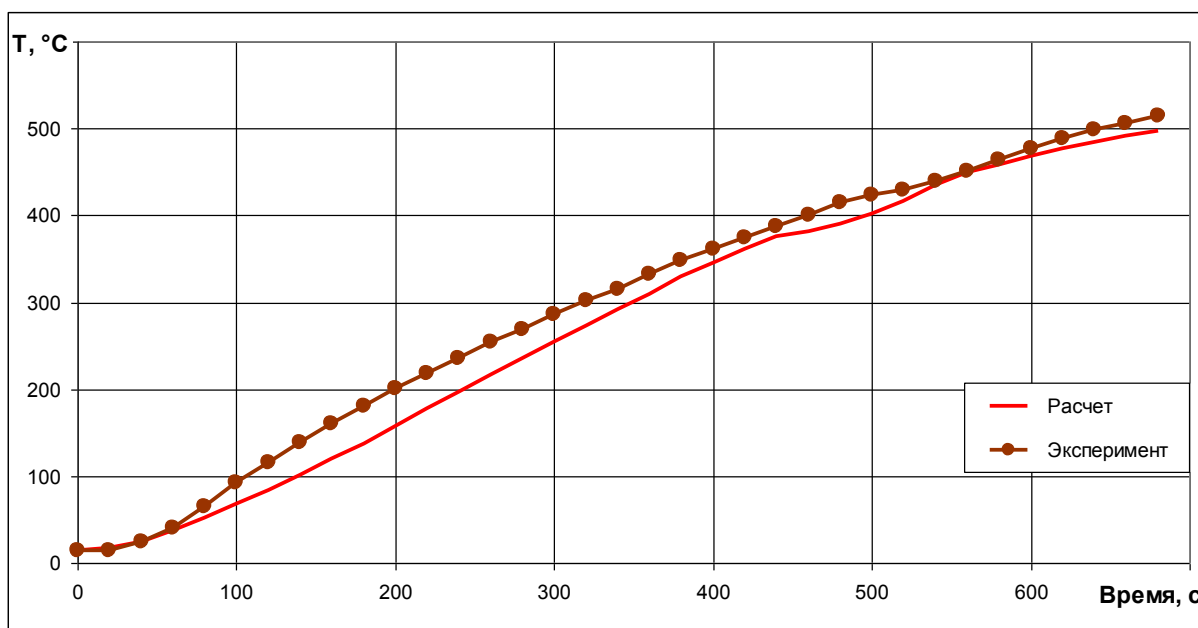


Рисунок 68 – Сопоставление изменения экспериментальных и расчётных температур в свариваемом рельсе на расстоянии 60 мм от торца при предварительном подогреве и сварки

При сопоставлении средних температур, полученных экспериментально со средними температурами, полученными при расчёте с использованием разработанных расчётных моделей и вычислительных алгоритмов, было установлено следующее. На этапе предварительного подогрева максимальное процентное расхождение между экспериментальными значениями и значениями, полученными

при расчёте температурных полей, термических циклов и скоростей охлаждения составляет 15-16 %.

4.5. Особенности распределения температур и скоростей охлаждения по длине рельса при их алюминиотермитной сварке

При анализе распределения температур по длине рельса были выполнены различные математические эксперименты отличающихся мощностью источника предварительного подогрева, продолжительностью технологической паузы, температурой окружающей среды и т.п. В качестве примера на рисунке 69 приведены распределения температур для мощности источника предварительного подогрева в 4 и 7 кВт. Изменения температур показаны в виде аксонометрических поверхностей, в периодах предварительного подогрева, перераспределения теплоты залитого термитного металла и последующего охлаждения.

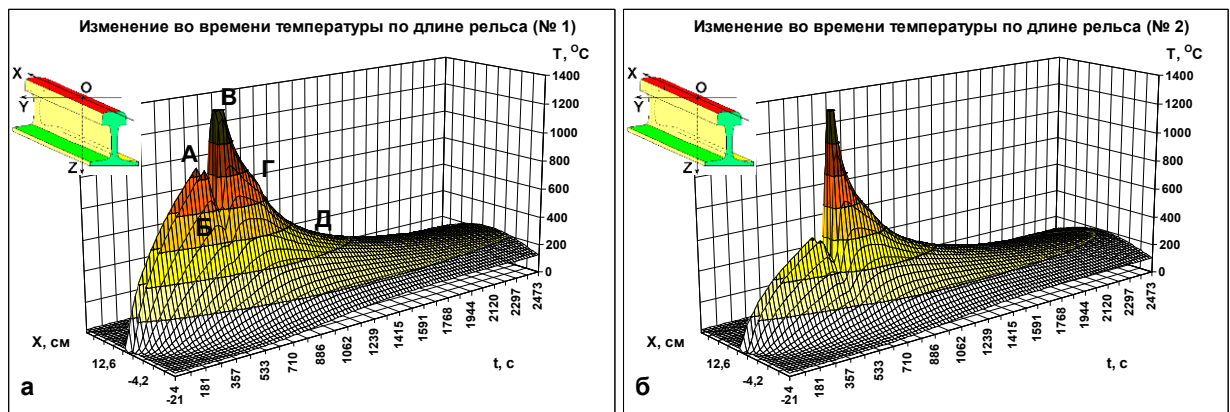


Рисунок 69 – Распределение скоростей охлаждения по длине рельса

На рисунке 69а показаны перераспределение температур по длине рельса во времени когда мощность источника предварительного подогрева составляет 7 кВт, длительность подогрева – 447 с, длительность технологической паузы – 60 с и длительность существования формы после заливки термитного металла – 250 с. Соответствующие моменты времени на рисунке отмечены буквами А – Д.

Из рисунке 69а видно, что в период действия источника предварительного подогрева, температура на поверхности нагреваемого торца рельса возрастает от 0 до температуры выше 1000 °С (точка А). В зазоре на этапе предварительного по-

догрева металл отсутствует, поэтому между двумя отмеченными точками А температура воздуха не показана. После окончания предварительного подогрева, во время технологической паузы, происходит неизбежное остывание торцов рельса это явление отражено снижением температуры «от точки А до точки Б». Далее следует заливка термитного металла и происходит соответствующее возрастание температуры до $T_{злв}=2700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После заливки металла происходит остывание сварного соединения, причём центральная его часть остаётся, защищена керамической формой. Соответствующий фрагмент на рисунке 69а находится в интервале между точками В и Г. В момент, соответствующий точке Г, когда происходит удаление керамической формы, на кривой $T(0, t)$ наблюдается излом. До точки Г скорость охлаждения (производная dT/dt) оказывается ниже по абсолютной величине, после точки Г эта скорость оказывается выше.

Последующее остывание рельса приводит к тому, что температура на оси шва становится все ниже и распределение её по длине рельса становится все более пологим. Оценка скоростей охлаждения металла $\Omega_{6/5}$ выполняется при остывании до температуры ниже $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Соответствующая точка на рисунке 69а отмечена буквой Д.

Аналогичный расчёт поверхности $T(X, t)$ выполнен при мощности источника предварительного подогрева 4 кВт. Остальные параметры, характеризующие условия сварки, оставлены без изменения (пример №2). Результаты расчёта температур для примера №2 показаны на рисунке 69б. Здесь так же наблюдаются все выше отмеченные эффекты, однако, как это отчётливо видно, температура, обеспеченная предварительным подогревом на торце рельса, оказывается существенно ниже и составляет около $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Общий характер изменения во времени распределения мгновенных скоростей охлаждения по длине рельса, применительно к примеру №2, проиллюстрирован в виде аксонометрической поверхности на рисунке 70.

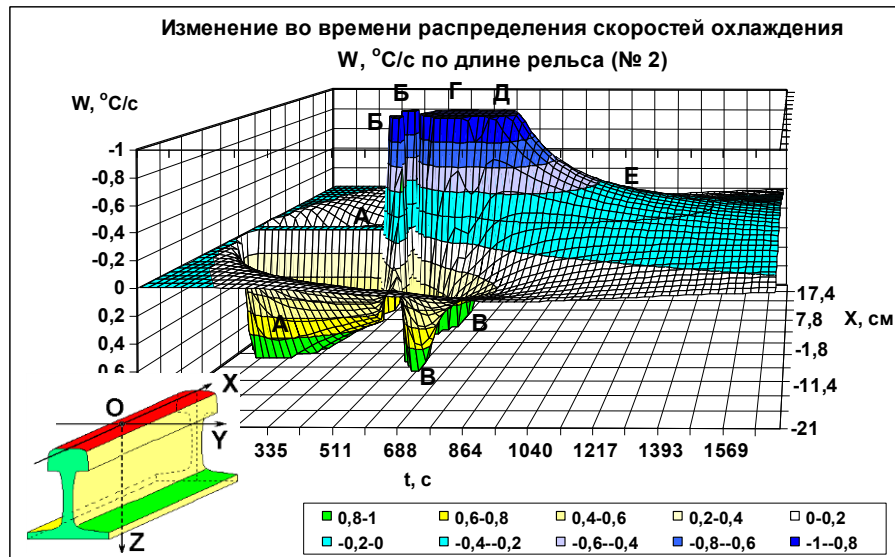


Рисунок 70 – Распределение скоростей охлаждения по длине рельса

Окончание этапа предварительного подогрева торцов рельсов на рисунке 70 буквой А. После окончания подогрева происходит интенсивное остывание металла. Соответствующие области на рассматриваемой поверхности отмечены буквами Б. По окончании технологической паузы, после заливки термитного металла он претерпевает нагрев. Этому эффекту соответствуют две области, отмеченные буквой В. На рисунке 70 скорости охлаждения металла ограничены значением $-1\text{ }^{\circ}\text{C/c}$, а скорости нагрева значением $+0,6\text{ }^{\circ}\text{C/c}$. На самом деле эти скорости значительно выше и могут при определённых условиях достигать десятков [$^{\circ}\text{C/c}$]. Периоду остывания рельса соответствуют области отмеченные буквами Д и Е. Следует указать, что благодаря удалению керамической формы, как отмечено выше (см. рисунок 69а, точка Г), происходит скачкообразное изменение скорости остывания металла. На рисунке 70 видно, что в соответствующий момент и близкие интервалы времени, изменение температуры в точках, прилежащих к сварному шву, происходит по кривым не с одним, а несколькими точками перегиба.

Область Е на рисунке 70 соответствует периоду процесса равномерного остывания металла шва и околошовной зоны. Именно в этой области, в дальнейшем, необходимо найти значения скоростей охлаждения соответствующие минимальной устойчивости аустенита.

4.6. Перспективы использования алюминотермитной сварки для получения бесстыковых соединений рельсов

На процесс сварки большое влияние оказывают низкие температуры окружающей среды. С понижением температуры увеличивается скорость охлаждения и ускоряется кристаллизация расплавленного металла сварочной ванны, в результате чего частички шлака и выделившиеся газы могут не успевать всплыть, насыщая металл порами и шлаковыми включениями.

Повышенный отвод тепла от нагретого металла и увеличение содержания в нём газов способствуют образованию микротрещин в шве и околошовной зоне. На сварочных материалах возможна конденсация влаги, что также способствует попаданию водорода в металл шва.

С понижением температуры сталь становится все более чувствительной к концентраторам напряжений; ими могут быть мельчайшие внутренние и внешние дефекты наплавленного металла, которые в условиях отрицательных температур могут привести к образованию микротрещин. Остаточные сварочные напряжения, особенно в зонах их концентрации, таких, как переходы от наплавленного металла к основному, наплывы, поры, выходящие на поверхность и другие подобные дефекты, оказывают большее влияние на зарождение и образование трещин. Кроме того, сварщики вынуждены выполнять ряд технологических операций голыми руками, что в условиях низких температур может привести к их переохлаждению.

Для определения качества сварного стыка рельсов, сваренного при низкой температуре, были проведены контрольные эксперименты в отапливаемом цехе при температуре воздуха плюс 19 °С и в ангаре, имеющем температуру минус 15 °С, такую же как и у окружающей среды в момент проведения эксперимента [238]. Процесс сварки рельсов Р65 Нижнетагильского завода алюминотермитным способом в данных экспериментах выполнялся согласно существующим техническим условиям [197]. После сборки стыка на специальном стенде, был проведён подогрев формы и концов рельсов газовой горелкой в течение 10 минут до температуры приблизительно 1200 °С. Так как температура окружающей среды была

ниже, чем предусмотрена техническими условиями [197], то продолжительность подогрева потребовалось увеличить, а мощность пламени использовать максимальную из рекомендуемых.

После кристаллизации термитного металла форма была разрушена, для удаления прибыльной части сварного шва. При дуговой сварке, в том числе и ванным способом, ответственных конструкций для снижения скорости охлаждения стыки закрывают асбестом, который можно снимать только после остывания шва до 100 °С и ниже. При алюминотермитной сварке прибыльную часть необходимо удалить практически сразу после кристаллизации, иначе потребуется мощное дополнительное оборудование и значительные трудозатраты.

После проведения шлифовки головки рельса его оставили остывать на холодном воздухе. Когда рельс полностью остыл, провели испытание на малогабаритном специализированном прессе МПС-300, предназначенном для испытания сваренных образцов рельсов методом статического изгиба до их полного разрушения с автоматической регистрацией величин разрушающего усилия (прочности) и стрелы прогиба (пластичности) сварного стыка. Испытание проводилось при приложении усилия к головке рельса. Результаты испытаний приведены в таблице 31, из которой видно, что как по прочности, так и по пластичности стык, сваренный при температуре окружающей среды минус 15 °С, не удовлетворяет существующим нормативным требованиям.

Таблица 31 – Результаты испытаний сваренных рельсов

Температура окружающей среды при сварке, °С	Разрушающее усилие (прочности), кН	Стрела прогиба (пластичность), мм
Нормативные значения (-5, не менее)	1340, не менее	16, не менее
+19	1400	17
-15	1250	13

Используя разработанную программу, было проанализировано влияние температуры окружающей среды на скорость охлаждения в диапазоне от +40 до -40 °С. Результаты расчётов проиллюстрированы на рисунке 71, где показаны средние скорости охлаждения в различных поперечных сечениях рельсов.



Рисунок 71 – Влияние температуры окружающей среды на скорость охлаждения

Из приведённых данных видно, что с повышением температуры окружающей среды (T_0) скорости охлаждения металла в интервале температур 600-500 °С ($\omega_{6/5}$) на базе значений X , соответствующих зон термического влияния (ЗТВ), уменьшаются, при этом протяжённость ЗТВ, как и следовало ожидать, увеличивается. В поперечном сечении имеет место неравномерное распределение скоростей охлаждения (рисунок 72): в головке меньше средних, а на периферии подошвы (в пере) – возрастают.

Из рисунка 72 видно, что в крайних точках подошвы скорости охлаждения почти в два раза выше, чем в головке рельса, что подтверждает (объясняет) полу-

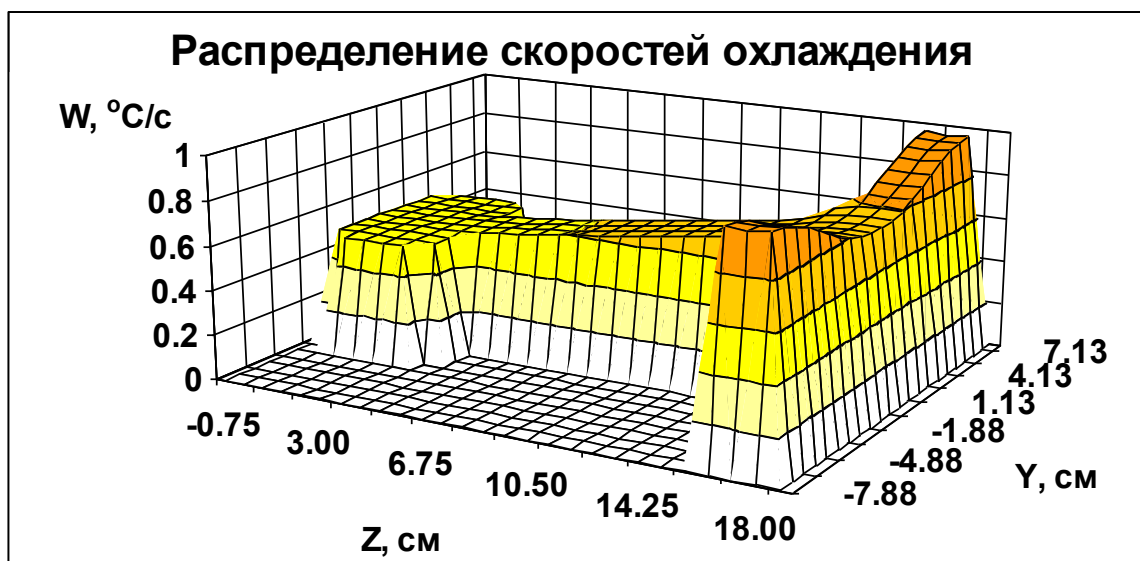


Рисунок 72 – Распределение скоростей охлаждения в поперечном сечении рельса

ченные экспериментальные значения снижения разрушающего усилия и стрелы прогиба при испытании рельсов сваренных при отрицательной температуре.

Проведённые исследования показали, что при некотором усложнении технологии сварки рельсов алюминотермитным способом их можно будет сваривать не только при положительных температурах, но и при любых отрицательных. Это даст возможность восстанавливать лопнувшие рельсы в зимний период, не дожидаясь среднесуточных положительных температур окружающей среды, тем самым сократить продолжительность пребывания плети в состоянии временно восстановленной и снизить затраты на её содержание, а также продлить сроки выполнения сварочных работ алюминотермитным способом и в зимний период.

На основании проведённых исследований была подана заявка на предполагаемое изобретение, по которой получен патент РФ на изобретение № 2464141 «Способ алюминотермитной сварки рельсов при отрицательных температурах» [52; 71; 237; 238].

4.7. Основные результаты и выводы

1. Проведённый анализ рельсовых креплений показал, что за период существования железных дорог было предложено несколько вариантов соединения рельсов. Наиболее распространённым является болтовое соединение. К его недостаткам относятся:

- высокая шумность от удара колёс по стыкам рельсов;
- низкая скорость движения поездов;
- наличие блуждающих токов и др.

2. Неразъёмные (сварные) стыки лишены недостатков, присущих болтовым, и позволяют повысить скорость движения поездов, комфортабельность перевозки пассажиров и грузов, существенно снизить износ рельсов и ходовых частей и т.п. Однако трудозатраты по укладке новых и замене старых рельсов увеличиваются, но окупаются за счёт существенного снижения затрат на ремонт деталей ходовых частей вагонов и локомотивов и восстановление разрушенных торцов рельсов.

3. Анализ эксплуатации бесстыкового пути и лабораторные исследования показали, что наилучшими прочностными характеристиками обладают стыки, сваренные контактным способом, однако в ряде случаев рельсы могут быть сварены только алюминотермитным способом (стрелочные переводы, ремонт и т.п.). Таким образом, в настоящее время бесстыковой путь получают с использованием контактной и алюминотермитной сварки, другие виды требуют больших трудозатрат и не обеспечивают необходимого качества.

4. Проведённый анализ технологии и оборудования, используемого при алюминотермитной сварке рельсов, показал, что единственной технологической операцией, влияющей на получение необходимой структуры и обеспечивающей необходимое качество сварного соединения, является предварительный подогрев, осуществляемый специальной горелкой. В связи с этим основное внимание при данном способе сварки должно уделяться этой технологической операции и строго соблюдаться требования технических условий по подогреву.

5. Анализ существующих конструктивных особенностей горелки, используемой для подогрева стыков рельсов при алюминотермитной сварке рельсов, позволил разработать её новый вариант, в котором за основу принят стандартный корпус от существующей сварочной горелки отечественного производства. Проведённые испытания опытного образца модернизированной горелки показали, что она позволяет получить одинаковый подогрев двух концов свариваемых рельсов и обеспечивает необходимые условия их подогрева.

6. Экспериментально установлено, что глубина высокотемпературной области на момент окончания подогрева составила 15-20 мм, а наиболее интенсивный разогрев происходит в головке и верхней части шейки рельсов.

7. Многочисленные натурные испытания сварных образцов рельсов подтвердили, что несоблюдение технологических параметров при выполнении АТСР приводит к хрупким разрушениям по зоне сплавления, начинающимся от периферийных участков подошвы рельса, расположенных в зоне сплавления. Дальнейшее распределение трещин происходит по зоне сплавления с возможным переходом в основной металл рельса или сварной шов.

8. Численными экспериментами установлено, что при недостаточном подогреве или низкой температуре окружающей среды температура торцов рельсов резко снижается, что приводит к повышению скоростей охлаждения металла шва и околошовной зоны. Это способствует образованию закалочных структур, повышению хрупкости и образованию микротрещин, снижающих прочность стыка рельсов. Так, например, при сварке рельсов при температуре окружающей среды равной – 15 °С скорости охлаждения на периферийных участках подошвы рельса почти в два раза выше, чем в головке.

9. Проведённые экспериментальные исследования показали, что с понижением температуры окружающей среды повышается скорость охлаждения металла периферии подошвы рельса, приводящая к образованию хрупких структур, резко снижающих прочностные характеристики. Сваренные по утверждённой технологии образцы рельсов при температуре – 15 °С не выдержали нормативных требований при испытаниях.

10. Создание благоприятных условий в процессе сварки и последующем охлаждении сварного стыка с меньшими скоростями охлаждения позволили предложить технологию, обеспечивающую образование равновесных структур, исключаящих снижение его прочности и пластичности. На данный способ получен патент РФ на изобретение № 2464141 «Способ алюминотермитной сварки рельсов при отрицательных температурах».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе историко-технического анализа выявлено, что периоды, в которые происходили существенные изменения конструкций рельсов, не совпадают с периодами истории развития российских железных дорог. Поэтому для выявления закономерностей в разработке и совершенствовании железнодорожных рельсов автором была впервые разработана периодизация, отражающая изменения состава материала, геометрических параметров конструкции рельсов, что нашло отражение в нормативах стандартов.

2. На основании разработанной автором периодизации установлено, что в рамках соответствующих периодов применяли деревянные лежни, в том числе с металлическим покрытием, чугунные и стальные рельсы. В качестве конструкций колеиных дорог использовали лежни круглого и прямоугольного сечения; чугунные, в том числе уголковые, грибовидные, широкоподошвенные, двухголовые рельсы, а также стальные рельсы с трапецидальной формой головки и головкой с вертикальными боковыми гранями. Процесс унификации стандартов был направлен на выработку единых требований к широкоподошвенным рельсам широкой колеи. Приоритет в содержании обозначений условных знаков типизации сместился от веса рельса к его функциональному назначению, с сохранением весовой характеристики.

3. Поставка отечественных рельсов, необходимых для обеспечения строительства российских железных дорог, осложнялась в XIX в. из-за конкуренции с зарубежными аналогами, которые были дешевле, но проигрывали по качеству и срокам службы; в XX в. – из-за политических и экономических последствий Октябрьской революции, Гражданской, Первой и Второй мировых войн, распада СССР.

4. За счёт оптимизации химического состава путём легирования и повышения содержания углерода, а также совершенствования термической обработки, в том числе применения двухсторонней закалки, можно повысить прочностные ха-

рактеристики рельсовой стали, обеспечивающие в данный исторический период требования по перевозкам грузов и скоростям движения поездов.

5. Наиболее повреждаемым местом является стык рельсов. В связи с этим разрабатывались различные виды скреплений рельсов между собой, которые изменялись вместе с ними. Болтовое соединение является наиболее распространённым на железнодорожном транспорте. Однако, неразъёмные (сварные) стыки, которые использовались с начала XX в., позволяют повысить скорость движения поездов, комфортность перевозки пассажиров и грузов, существенно снизить износ рельсов и ходовых частей и т.п.

6. Анализ эксплуатации бесстыкового пути и лабораторные исследования показали, что наилучшими прочностными характеристиками обладают стыки, сваренные контактным или алюминотермитным способом. В конце 1950-х гг. контактная сварка полностью вытеснила алюминотермитную при соединении рельсов. Однако, в конце XX в. с вводом стрелочных переводов на железобетонном основании потребовалось их вваривать в бесстыковой путь, что невозможно сделать контактной сваркой, и было принято решение МПС РФ об использовании алюминотермитной сварки.

7. В ходе историко-технического анализа выявлено, что алюминотермитная сварка является впервые применённым способом сварки рельсов. Основной технологической операцией, обеспечивающей качество сварного шва, является предварительный подогрев, при котором используется специальная горелка. В ходе разработки конструкции и технологии изготовления отечественного варианта такой горелки для предварительного подогрева рельсов, а также при проведении её лабораторных и натурных испытаний принимала участие и автор. Лабораторные, натурные и численные эксперименты позволили обосновать необходимость проведения корректировки технологических процессов сварки в зависимости от внешних условий. Установлено, что кроме строгого соблюдения равномерности и продолжительности подогрева торцов рельсов, необходимо учитывать температуру окружающей среды. В результате проведённых исследований был разработан способ алюминотермитной сварки рельсов, дающий возможность проводить её

практически при любых погодных условиях и обеспечивать необходимое качество сварного соединения (патент РФ на изобретение № 2464141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года (Белая книга ОАО «РЖД») [Электронный ресурс] / Утверждена Президентом ОАО «РЖД» В.И. Якуниным 26 ноября 2010 г. // М.: ОАО «РЖД», 2010. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&refererLayerId=5103&id=4038 (Ссылка актуальна на 24.01.2014)
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. // М.: Минтранс России, 2008. – 116 с. Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=11775 (Ссылка актуальна на 24.01.2014)
3. Якунин, В.И. Доклад президента открытого акционерного общества «Российские железные дороги» / В.И. Якунина / Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 1. – С. 7-19.
4. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] / Проект. // М.: Минтранс России, 2008. – 183 с. Режим доступа: http://www.mintrans.ru/upload/iblock/3cc/ts_proekt_16102008.pdf (Ссылка актуальна на 24.01.2014)
5. Государственная программа «Развитие транспортной системы России (2010-2020) на 2013 - 2020 годы». [Электронный ресурс] / Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012г. № 2600-р. // Минтранс России, 2012. Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=19443 (Ссылка актуальна на 24.01.2014)
6. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука [Текст] / Г.С. Альтшуллер. – Петрозаводск : Скандинавия, 2004. – 133 с.
7. Симоненко, О.Д. История техники и технических наук: философско-методологический анализ эволюции дисциплины [Текст] / О.Д. Симоненко. – М.: ВИИЕТ РАН, 2005. – 218 с.

8. Аничков, М.В. Рельсовое хозяйство железных дорог и рельсовые заводы. Вероятная будущность рельсового дела в России [Текст] / М.В. Аничков – СПб.: 1882. – 18 с.
9. Любимов, Л. К вопросу об упорядочении заводского производства рельсовой стали [Текст] / Л. Любимов // Железнодорожное Дело. – 1905. – №2-3. – 4 с.
10. Чертежи типов рельс железных и стальных утверждённых г. Министром Путей Сообщения [Комплект] : чертежи. – СПб.: 1874. – 7 листов.
11. Энрольд, Ф.И. Нормальные типы рельсов [Текст] / Ф.И. Энрольд // Инженерные записки. – Т. 1, Вып. 2. – СПб.: 1874. – 507 с.
12. Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. [Текст] – Варшава, 1883. – 22 с.
13. Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода [Текст] / Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д., 1894. – 89 с.
14. Тышка, К. Стальной рельс весом 24 фунта в пог. футе и скрепления к нему [Текст] / К. Тышка // С.-Петербург, 1899. – 34 с.
15. Славянов, А.Г. Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах [Комплект] : чертежи / А.Г. Славянов – СПб., 1904-1905. – 138 листов.
16. Кеппен, А.П. Материалы для истории рельсового производства в России. [Текст] / А.П. Кеппен // Вырезки из «Журнала Министерства Путей Сообщения». По архивным материалам горного департамента – СПб., 1899. – 131 с.
17. Кислянский, В.Н. Технические заметки о стальных рельсах. [Текст] / Кислянский В.Н. – СПб.: 1876. – 38 с.
18. Исследование рельсового дела в СССР [Текст] – М., 1928. – 324 с.
19. Ваттман, И. Бесстыковой железнодорожный путь (перевод с немецкого) [Текст] / И. Ваттман, С. Бирман – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 184 с.

20. Андреев, Г.Е. Неиспользованные резервы бесстыкового пути [Текст] / Г.Е. Андреев, Т.А. Лапидус // Железнодорожный транспорт. – 1981. – № 10. – С. 48-52.
21. Мищенко, К.Н. Бесстыковой рельсовый путь [Текст] / К.Н. Мищенко – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 80 с.
22. Сакмауэр, Л. Теоретическое исследование бесстыкового пути при разных способах и системах верхнего строения полотна в ЧССР [Текст] / Л. Сакмауэр – Исследовательский институт железнодорожного транспорта. Братислава, 1958-59. – 38 с.
23. Коган, А.Я. Продольные силы в железнодорожном пути [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦНИИ МПС, – вып. 332. – М.: ЦНИИ МПС, 1967. – 168 с.
24. Альбрехт, В.Г. Бесстыковой путь [Текст] / В.Г. Альбрехт, Н.П. Виногоров, Н.Б. Зверев и др. : под ред. В.Г. Альбрехта, А.Я. Когана – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
25. Кантор, И.И. Строительно-путейское дело в России XX в. [Текст] : учеб. пособие для вузов ж.-д. тр-та / И.И. Кантор, Э.В. Воробьев, Н.А. Зензинов и др. : под ред. И.И. Кантора – М.: УМК МПС России, 2001. – 276 с.
26. Альбрехт, В.Г. Бесстыковой путь [Текст] / В.Г. Альбрехт, Е.М. Бромберг, Н.Б. Зверев и др. : под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга – М.: Транспорт, 1982. – 206 с.
27. ГОСТ 8141-56. Скрепления рельсовые для железных дорог узкой колеи. Накладки. Общие технические условия [Текст]. – Взамен ОСТ НКТП 7696/672, ОСТ НКТП 7697/673, ОСТ НКТП 7698/674, ОСТ НКТП 7699/675, ОСТ НКТП 7700/676 ; введ. 1957–04–01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.
28. ГОСТ 4133-73. Накладки рельсовые двухголовые для железных дорог широкой колеи. Технические условия [Текст]. Взамен ГОСТ 4133-54 ; введ. 1975–01–01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.

29. ГОСТ 19127-73. Накладки двухголовые к рельсам типа Р43. Конструкция и размеры [Текст]. Взамен ГОСТ 4133-54 ; введ. 1975–01–01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1998. – 2 с.
30. Владимирский, Т.А. Результаты опытов по сварке стали газопрессовым способом [Текст] / Т.А. Владимирский // Труды ЦНИИ МПС. – М.: ЦНИИ МПС, 1947. – 232 с.
31. Генкин, И.З. Сварные рельсы и стрелочные переводы [Текст] / И.З. Генкин – М.: Интекст, 2003. – 94 с. ISBN 5-89277-045-1.
32. Глизманенко, Д.Л. Газовая сварка и резка металлов [Текст] / Д.Л. Глизманенко, Г.Б. Евсеев – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1954. – 532 с.
33. Термитная сварка [Электронный ресурс] / ГТ-Алюминотермитная сварка // Режим доступа: www.at-svarka.rutermittnaya_svarka.shtml (Ссылка актуальна на 24.01.2014)
34. Справочные материалы для сварщиков [Текст] / под ред. Г.А. Николаева – М.: МАШГИЗ, 1951. – 584 с.
35. Золотарский, А.Ф. Термически упрочнённые рельсы [Текст] / А.Ф. Золотарский, Я.Р. Раузин, Е.А. Шур и др. : под ред. А.Ф. Золотарского – М.: Транспорт, 1976. – 264 с.
36. Шур, Е.А. Термическая обработка рельсов. [Текст] / Е.А. Шур // Материаловедение и термическая обработка стали : в 3-х т. / под ред. Берштейна М.Л., Рахштадта А.Г.: справ. изд. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. –Т. 3 / Термическая обработка металлопродукции / – С. 113–136.
37. Шур, Е.А. Новый метод термической обработки рельсов с использованием двустороннего охлаждения [Текст] / Е.А. Шур, В.М. Федин, И.Г. Жигалкин и др. / Материалы юбилейной рельсовой комиссии // Сборник докладов – Новокузнецк, 2002. – С. 149–155.
38. Сюсюкин, А.Ю. Повышение качества рельсов на основе применения малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева непрерыв-

нолитых заготовок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 / Сюсюкин Андрей Юрьевич. – Новокузнецк, 2007. – 128 с.

39. Дмитриева, О.В. Возможности повышения долговечности рельсов за счёт рациональных режимов и условий шлифования их в пути [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.08 / Дмитриева Ольга Викторовна. – Новосибирск, 2003. – 139 с.

40. Суслов, А.Г. Новый подход к повышению долговечности и качества поверхности катания железнодорожных рельсов и колёс [Текст] / А.Г Суслов // Тяжёлое машиностроение. – 2000. – №11. – С. 21-23.

41. Мелентьев, Л.П. Содержание и ремонт рельсов [Текст] / Л.П. Мелентьев, В.Л. Порошин, С.И. Фадеев – М.: Транспорт, 1984. – 231 с.

42. Захаров, Л.А. Новые технологии для текущего ремонта поверхностей катания железнодорожных рельсов [Текст] / Л.А. Захаров, В.А. Маслюков // Обработка металлов, 2001. – № 1 (12). – С. 19–21.

43. Козырев, Н.А. Разработка и внедрение технологии выплавки в дуговых электропечах, внепечной обработки и непрерывной разливки стали предназначенной для производства железнодорожных рельсов [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.16.02 Николай Анатольевич Козырев. – Новокузнецк, 2004. – 338 с.

44. Громов, В.Е. Актуальные проблемы производства рельсов [Текст] / В.Е. Громов, Н.М. Кулагин, С.М. Кулаков и др. : под ред. В.Е. Громова – Новокузнецк: СибГИУ, 2001. – 260 с.

45. Амелин, С.В. Устройство и эксплуатация пути [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. / С.В. Амелин, Г.Е. Андреев – М.: Транспорт, 1986. – 286 с.

46. Першин, С.П. Развитие строительного-путейского дела на отечественных железных дорогах [Текст] / С.П. Першин – М.: Транспорт, 1978. – 296 с.

47. Игнятич, Д. Анализ исследований напряженно-деформированного состояния и выбор методов его расчёта для применения на железных дорогах Югославии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук в 2-х т./ Душан Игнятич // М., 1966. I – 276 с., II – 322 с.

48. Шахунянец, Г.М. Железнодорожный путь [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд. перераб. и доп. / Г.М. Шахунянец – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

49. Шахунянец Г.М. Верхнее строение пути [Текст] / Г.М. Шахунянец – М.: Трансжелдориздат, 1939. – 452 с.

50. Трынкова, О.Н.¹ Разработка оборудования для создания бесстыкового пути [Текст] / О.Н. Трынкова, Н.Н. Воронин / Образование, наука, производство: сб. тез. докл. II Междунар. студенческого форума. Ч. 5. // Белгород: БГТУ, 2004, – с. 75.

51. Трынкова, О.Н. Разработка конструкции пропано-кислородной многопламенной горелки «ФАКЕЛ» для подогрева рельсов / О.Н. Трынкова, Н.Н. Воронин // Неделя науки–2004 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2005, – с. IV-33.

52. Пат. 2464141 Российская Федерация, МПК В23К, Е04Н, Е01В. Способ алюминотермитной сварки рельсов при отрицательных температурах [Текст] / Воронин Н.Н., Карабанов В.И., Трынкова О.Н., Кабалина О.В.; Заявитель и патентообладатель Московский государственный университет путей сообщения (RU). - № 2010126929; заявл. 02.07.2010; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29. – 5 с.

53. Воронин, Н.Н. Технология алюминотермитной сварки рельсов: учеб. пособие [Текст] / Н.Н. Воронин, В.В. Засыпкин, В.И. Коненков, Э.В. Воробьев, О.Н. Трынкова; под ред. Н.Н. Воронина. – М.: МИИТ, 2008. – 117 с.

54. Воронин, Н.Н. Алюминотермитная сварка рельсов: учеб. пособие [Текст] / Н.Н. Воронин, В.В. Засыпкин, В.И. Коненков, Э.В. Воробьев, О.Н. Трынкова; под ред. Н.Н. Воронина. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. - 195 с. ISBN 978-5-89035-650-5.

55. Тарасова, В.Н. Изучение дисциплины «История науки и техники» на примере создания и развития бесстыкового пути в России [Текст] / В.Н. Тарасова,

¹ В 2012 г. автор диссертации сменила фамилию Трынкова на фамилию Воронина

О.Н. Трынкова / Управление инновациями: теория, инструменты, кадры: материалы 2-ой всероссийской научно-практич. конф. – СПб., 2009, – с. 69-71

56. Королев, Р.А. Применение метода конечных разностей для расчёта температурных полей при сварке рельсов алюминотермитным способом / Р.А. Королев, О.Н. Трынкова // IV Международная конференция ЮНЕСКО «Участие молодых учёных, инженеров и педагогов в разработке и реализации инновационных технологий»: сборник научн. докладов МГИУ. – М., 2003, – с. 235-236.

57. Трынкова, О.Н. Влияние выбора способа стыкового скрепления рельсов на безопасность движения поездов [Текст] / О.Н. Трынкова / Безопасность движения поездов: труды 13-ой научно-практич. конференции; МГУПС (МИИТ), ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2012, – с. III-22 – III-23.

58. Прохоров, Н.Н. Расчетное исследование влияния температуры окружающей среды на скорость охлаждения и структуру металла шва при алюминотермитной сварке [Текст] / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, О.В. Кабалина, О.Н. Трынкова / Безопасность движения поездов: труды 11-ой научно-практич. конф.; МИИТ, ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2010, – с. X-5.

59. Воронин, Н.Н. Определение продольной усадки рельсов при выполнении алюминотермитной сварки [Текст] / Н.Н. Воронин, О.Н. Трынкова, Н.Н. Прохоров / Безопасность движения поездов: труды 8-ой научно-практич. конф.; МИИТ, ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2007, – с. IX-28.

60. Прохоров, Н.Н. Распределение мартенсита и феррито-перлитной смеси в металле шва и зоны термического влияния при алюминотермитной [Текст] / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, О.Н. Трынкова / Безопасность движения поездов: труды 7-ой научно-практич. конф.; МИИТ, ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2006, – с. V-29–V-30.

61. Прохоров, Н.Н. Распределение бейнита и твёрдости металла в объёме шва и зоны термического влияния при алюминотермитной сварке [Текст] / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, О.Н. Трынкова / Безопасность движения поездов: труды 7-ой научно-практич. конф.; МИИТ, ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2006, – с. V-28–V-29.

62. Прохоров, Н.Н. Влияние условий алюминотермитной сварки на структуру металла рельса [Текст] : в 2 т. / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, А.И. Сысоева, О.Н. Трынкова // Безопасность движения поездов: труды 6-ой научно-практич. конф.; МГУПС (МИИТ), ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2005, – Т.2, – с. X-11.

63. Прохоров Н.Н., Трынкова О.Н., Воронин Н.Н. Расчётный анализ условий теплообмена между металлом рельса и формой при алюминотермитной сварке. [Текст] : в 4 т.: труды Первой Моск. городской научно-практич. конф. «Вузы-наука-город». – М., МИИТ, 2005, – Т. 3-4, – с. IV-152–IV-154.

64. Трынкова, О.Н. Методика проведения исследования по выявлению типов рельсов, эксплуатировавшихся в 1920-е гг. [Текст] / О.Н. Трынкова, В.П. Кальщикова, Е.В. Кобеца, К.А. Стрельцова, Н.В. Третьякова / Неделя науки–2009 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2009, – с. I-74 – I-75.

65. Трынкова, О.Н. Исторический период перехода к нормальным типам рельсов [Текст] / О.Н. Трынкова / Неделя науки–2009 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2009, – с. I-73 – I-74.

66. Трынкова, О.Н. Анализ изменения геометрии поперечного профиля рельсов [Текст] / О.Н. Трынкова / Неделя науки–2010 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2010, – с. I-26.

67. Трынкова, О.Н. Совершенствование технологии сварки рельсов в России в XX-начале XIX вв. [Текст] / О.Н. Трынкова, В.Н. Тарасова / Неделя науки–

2008 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2008, – с. IV-28.

68. Абидов, И.Р. Современные способы сварки рельсов [Текст] / И.Р. Абидов, О.Н. Трынкова, Н.Н. Воронин / Неделя науки–2006 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2006, – с. V-1.

69. Королев, Р.А. Расчётно-экспериментальная методика определения эффективной мощности подогрева при алюминотермитной сварке рельсов [Текст] / Р.А. Королев, Е.В. Плаксина, О.Н. Воронина, Н.Н. Воронин // Неделя науки–2003 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2004, – с. IV-6.

70. Трынкова, О.Н., Скляр В.М. Расчётное определение температур при подогреве рельсов [Текст] / О.Н. Трынкова, В.М. Скляр / Неделя науки–2004 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2005, – с. IV-33– IV-34.

71. Кабалина, О.В. Разработка технологии сварки рельсов при отрицательных температурах [Текст] / О.В. Кабалина, О.Н. Трынкова, Ю.А. Машарипова / Неделя науки–2010 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2010, – с. I-53.

72. Трынкова, О.Н. Исторические аспекты создания инновационных технологий применительно к алюминотермитной сварке рельсов [Текст] О.Н. Трынкова / Неделя науки–2010 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2005, – с. IV-32–IV-33.

73. Воронина, О.Н. Анализ изменения геометрии поперечного профиля рельсов в период становления железных дорог (1866-1902 гг.) [Текст] / О.Н. Воронина / Неделя науки–2013 «Наука – транспорту»: труды научно-практич. конф.; под общ. ред. проф. В.М. Круглова; МИИТ. – М.: МИИТ, 2013, – с. III-105.

74. Трынкова, О.Н. Внедрение новаций при создании бесстыкового железнодорожного пути [Текст] / О.Н. Трынкова / «Trans-Mech-Chem» : труды IV Международной научной студенческой конф. – М.: МИИТ, 2006, – с. 161-162.

75. ВСН 94-77 «Инструкция по устройству верхнего строения железнодорожного пути» Министерство транспортного строительства Министерство путей сообщения Инструкция по устройству верхнего строения железнодорожного пути ВСН 94-77 Минтрансстрой [Текст], [Электронный ресурс] : Утверждена Министерством транспортного строительства и Министерством путей сообщения 27 октября 1977 г. № М-1274/А-33619 :ввод в действие 1978-06-01. – М., 1978 // Режим доступа: http://snipov.net/c_4677_snip_98630.html (Ссылка актуальна на 16.10.2013).

76. Лукашев В.И. Научно-технический прогресс и экономическая эффективность транспортного производства (макроэкономическая оценка) [Текст] / В.И. Лукашев – М.: Интекст, 2003. – 351 с.

77. Трынкова, О.Н. Биография дорог: конструкции твёрдых покрытий [Текст] / О.Н. Трынкова // Мир транспорта. – 2010. – №1 (29). – С. 176-182.

78. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия [Текст] / Гл. ред. Н.С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.

79. Победа пара. [Электронный ресурс] / Погружаясь в историю – Режим доступа: <http://itogi-progressa.ru/tekhnika-i-nauka/perevorot-v-transporte-i-svyazi/vozniknovenie-zheleznodorozhnogo-transporta/256> (Ссылка актуальна на 15.09.2013)

80. Колейная дорога [Электронный ресурс] / ООО "Стальные и алюминиевые конструкции" // Режим доступа: <http://www.sak.ru/reference/dictionary/dictionary4-14.html> (Ссылка актуальна на 12.03.2008)

81. Энциклопедия узкоколейных железных дорог бывшего СССР «Младший Брат» [Электронный ресурс] / 2278. Петрозаводск («Чугунный колесопроевод») // Д. Щукин Фото сделано 7.V.2005, опубликовано 8.VII.2008 / Режим доступа: Постоянная ссылка на фотографию: <http://narrow.parovoz.com/newgallery/?ID=116623&LNG=RU> <http://narrow.parovoz.com/emb/index.php?ID=2278> (Ссылки актуальны на 15.09.2013)

82. Забаринский, П. СТЕФЕНСОН. М. [Электронный ресурс] / П. Забаринский // Журнально-газетное объединение, – 1937. Серия "Жизнь замечательных людей", выпуск 11-12 (107-108) – Режим доступа: http://vivovoco.rsl.ru/vv/books/Stephenson/chapter_04/chapter_04.htm. (Ссылка актуальна на 15.09.2013)
83. История рельса [Электронный ресурс] / Термист. Термомеханическое упрочнение арматурного проката // Режим доступа: http://www.termist.com/bibliot/popular/mezenin/mezenin_038.htm (Ссылка актуальна на 15.09.2013)
84. Петровский, Александровский и Онежский заводы [Электронный ресурс] / Вездеход // Режим доступа: <http://vezde.karelia.ru/okarelii/dostoprimechatelnosti-karelii/146-petrovskiy-alexandrovskiy-onezhskiy-zavodi> (Ссылка актуальна на 09.01.2010)
85. Соловьёва, А.М. Железнодорожный транспорт России во второй половине XIX в. [Текст] / А.М. Соловьёва. – М.: Наука, 1975. – 316 с.
86. Борисова, Н. «Грибное» изобретение. [Электронный ресурс] / Н. Борисова // Гудок. – Выпуск 24.07.2009. 7 полоса | Путь | Эволюция : Режим доступа: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=711539&archive=2009.07.24> (Ссылка актуальна на 15.09.2013)
87. Фролов, Пётр Козьмич [Электронный ресурс] / Большая биографическая энциклопедия // Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/30367. (Ссылка актуальна на 15.09.2013)
88. Большая советская энциклопедия [Текст] : Второе издание в 52 т. / под ред. Введенского Б.А. / М.: Государственное научное издательство «Большая советская энциклопедия», 1949-1960. Т. 45 : Фидер – Фурьеризм, 1956. – С. 670.
89. Вид в прошлое [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://рейлтек-волга.рф/page/page1.html>, (<http://railtech-volga.ru/about.html>) (Ссылка актуальна на 20.08.2013)
90. Воронин, М.И. П.П. Мельников – инженер, учёный, государственный деятель [Текст] / М.И. Воронин, М.М. Воронина, И.П. Киселёв и др. – СПб.: Гуманистика, 2003. – 472 с.

91. Лобнов-Ростовский. Рельс Николаевской железной дороги. Вычислял князь Лобнов-Ростовский студент Института Инженеров Путей Сообщения 3 курса, 1 отделения [Текст] : рукопись. – СПб.: – 19 октября 1873. – 43 с.
92. Исследование рельсовой стали [Текст] : Журналы комиссии, образованной при Инженерном совете для выработки новых технических условий на поставку стальных рельсов. – СПб., 1906. – 152 с.
93. Исследование рельсовой стали [Текст] : Сводная таблица результатов исследования рельсовой стали. – СПб.: Мех. Лаб. И.И.П.С. – 1906. – 28 с.
94. По вопросу о типах рельсов, которые могут быть допущены к укладке на различных железных дорогах [Текст] : Журнал инженерного совета МПС. – СПб., 1901. – № 57. – 34 с.
95. Совещательные съезды инженеров служб пути русских железных дорог [Текст] : в 3 т. – М.: Путь Арт. – 2005.
96. Рудченко, П.И. Гужевые и водные пути [Текст] / П.И. Рудченко. – СПб., 1904. – 285 с.
97. Рудченко, П.И. Очерк развития и современного состояния местных путей сообщения местных путей сообщения в некоторых иностранных государствах и в России [Текст] / П.И. Рудченко. – СПб., 1904. – 144 с.
98. Михальцев, Е. Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог [Комплект] : чертежи / Е. Михальцев. Петроград, 1916. – 12 листов.
99. Российский государственный архив экономики (РГАЭ). – Ф. 1884. – Оп. 42. – Д. 292.
100. Железнодорожный транспорт СССР [Текст] // Таблицы. – М., 1931. – 72 с.
101. Железнодорожный транспорт в годы индустриализации СССР (1926-1941) [Текст] // Сборник документов. – М., 1970. – 432 с.
102. РГАЭ. – Ф. 1884. – Оп. 42. – Д. 74.
103. Народное хозяйство СССР в 1958 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1959. – 960 с.

104. Железнодорожный транспорт: XX век [Текст] : – М.: Железнодорожное дело, 2001. – 268 с.
105. Железнодорожный транспорт СССР 1946-1955 [Текст] : стат. сб. – М., 1994. – 431 с.
106. Железные дороги СССР в цифрах [Текст] : стат. сб. – М., 1935. – 192 с.
107. Железные дороги СССР в 1990 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1991. – 32 с.
108. Железные дороги России [Текст] : справочник МПС РФ ЦНИИТЭИ ж.-д. транспорта. – М., 1998. – 156 с.
109. Железные дороги Российской Федерации в 1991 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1992. – 52 с.
110. Железные дороги Российской Федерации в 1992 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1993. – 48 с.
111. Железные дороги Содружества Независимых Государств в 1993 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1994. – 48 с.
112. Железные дороги Российской Федерации в 1994 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1995. – 38 с.
113. Железные дороги Российской Федерации в 1997 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1998. – 34 с.
114. Железные дороги Российской Федерации в 1998 г. [Текст] : стат. сб. – М., 1999. – 38 с.
115. Железные дороги Российской Федерации в 1999 г. [Текст] : стат. сб. – М., 2000. – 42 с.
116. Железные дороги Российской Федерации в 2000 г. [Текст] : стат. сб. – М., 2001. – 34 с.
117. Железные дороги Российской Федерации в 2001 г. [Текст] : стат. сб. – М., 2002. – 34 с.
118. Железнодорожный транспорт СССР в документах коммунистической партии и советского правительства [Текст] : стат. сб. – М., 1957. – 384 с.

119. Постановление Совнаркома СССР и ЦК ВКП(б) от 3 июля 1933 г. №1367 «О работе железнодорожного транспорта» (СЗ СССР, 1933. – № 40, 237 с.)
120. Народное хозяйство РСФСР в 1958 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1959. – 508 с.
121. Народное хозяйство РСФСР в 1959 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1960. – 600 с.
122. Народное хозяйство РСФСР [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1957. – 372 с.
123. Народное хозяйство СССР в 1959 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1960. – 896 с.
124. Народное хозяйство СССР в 1962 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1963. – 736 с.
125. Народное хозяйство СССР в 1963 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1964. – 760 с.
126. Народное хозяйство СССР в 1965 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1966. – 912 с.
127. Народное хозяйство СССР в 1967 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1968. – 1008 с.
128. Народное хозяйство СССР в 1969 году [Текст] : стат. сб. – М.: Госстатиздат, 1970. – 736 с.
129. Народное хозяйство СССР в 1973 году [Текст] : стат. сб. – М.: Статистика, 1974. – 880 с.
130. Народное хозяйство СССР в 1975 году [Текст] : стат. сб. – М.: Статистика, 1976. – 846 с.
131. Народное хозяйство СССР в 1977 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1978. – 654с.
132. Народное хозяйство СССР в 1979 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1980. – 615 с.

133. Народное хозяйство СССР в 1980 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1981. – 583 с.
134. Народное хозяйство СССР. 1922 – 1982 году [Текст] : юбил. стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1982. – 624 с.
135. Народное хозяйство СССР в 1982 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1983. – 574 с.
136. Народное хозяйство СССР в 1983 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1984. – 607 с.
137. Народное хозяйство СССР в 1985 году [Текст] : стат. сб. / ЦСУ СССР. – М.: Статистика, 1986. – 655 с.
138. Народное хозяйство СССР в 1987 году [Текст] : стат. ежегодник / Госкомстат СССР. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 736 с.
139. Народное хозяйство СССР в 1989 году [Текст] : стат. ежегодник / Госкомстат СССР. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 766 с.
140. Российская Федерация в 1992 году [Текст] : стат. Ежегодник / Госкомстат России. – М.: Республиканский информационно-издательский центр, 1993. – 654 с.
141. Российский статистический ежегодник. 1994 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 1994. – 799 с.
142. Российский статистический ежегодник. 1995 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 1996. – 976 с.
143. Российский статистический ежегодник. 1997 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 1997. – 749 с.
144. Российский статистический ежегодник. 1999 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 1999. – 621 с.
145. Российский статистический ежегодник. 2000 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 2000. – 642 с.
146. Российский статистический ежегодник. 2007 [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат России, 2007. – 826 с.

147. Российский статистический ежегодник. 2008 [Электронный ресурс]: стат. сб. – М.: Росстат, Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_13/IssWWW.exe/Stg/d3/13-79.htm. (Ссылка актуальна на 20.08.2013)
148. Российский статистический ежегодник. 2012 [Текст] : стат. сб. – М.: Росстат, 2012. – 786 с.
149. Шур, Е.А. Повреждения рельсов [Текст] / Е.А. Шур. – М.: Интекст, 2012. – 192 с.
150. Отчёты ОАО «РЖД» за 2003-2013 гг.
151. Транспорт и связь в России [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат, 1995. – 240 с.
152. Транспорт и связь в России [Текст] : стат. сб. – М.: Госкомстат, 2001. – 222 с.
153. Транспорт в России. 2007 [Текст] : стат. сб. – М.: Росстат, 2007. – 198 с.
154. Исследование рельсового дела в СССР [Текст] / М., 1929. – 250 с.
155. Капорцев, Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути [Текст] / Н.В. Капорцев. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 212 с.
156. Исследование рельсов и стыковых креплений [Текст] / под ред. В.Н. Данилова – М.: Трансжелдориздат, 1955. – 192 с.
157. Ашпиз, Е.С. Железнодорожный путь: учебник / Е.С. Ашпиз, А.И. Гасанов, Б.Э. Глюзберг и др.; под ред. Е.С. Ашпиза. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 544 с.
158. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. [Текст]. Введ. 2001–07–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 24 с.
159. Deutsche Eisenbahnen 1835-1985 [Text] / Autorenkoll. unter Ltg. von Elfriede Rehbein ... - 1. Aufl. Berlin: Transpress. – 1985 – 288 s.
160. Каталог продукции [Электронный ресурс] /Нижнетагильский металлургический комбинат Режим доступа: http://www.ntmk.ru/ru/production/catalogue.php?iAction=1&pri_id=14&pri_type=0 (Ссылка актуальна на 25.08.2011)

161. ГОСТ 6368-82. Рельсы железнодорожные узкой колеи типов Р8, Р11, Р18 и Р24. Конструкция и размеры [Текст]. – Взамен ГОСТ 6368-52 ; введ. 1984–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.<http://standartgost.ru/ГОСТ%206368-82#page-1> (Ссылка актуальна на 25.08.2011)

162. ГОСТ 4121-96 Рельсы крановые. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 4121-76 ; введ. 2002-07-01. – Минск: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.<http://files.stroyinf.ru/Data1/3/3926/> (Ссылка актуальна на 25.08.2011)

163. Николин, А.И. Совершенствование процессов сварки и термической обработки рельсов магистральных железных дорог [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01, 05.03.06 Николин Аркадий Игоревич – М., 2004. – 199 с.

164. Рельсовая проблема [Текст] : (к соединённому заседанию коллегии НКПС и Главчермета), 1927. – 84 с.

165. Комаров, О.Н. Использование термитных материалов в технологиях получения стальных отливок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 Комаров Олег Николаевич – Комсомольск-на-Амуре, 2006. – 268 с.

166. Фефелов, В.Н. Повышение эксплуатационных свойств поверхности катания рельсов за счёт оптимизации режимов шлифования и параметров абразивного инструмента [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 Вадим Николаевич Фефелов – Новосибирск,– 2006. – 126 с.

167. Ильинский, Д.П. Из истории паровозостроительной и вагоностроительной промышленности России [Текст] / Д.П. Ильинский, В.П. Иваницкий // По материалам книги «Очерк истории русской паровозостроительной и вагоностроительной промышленности». НКПС – 1929. – М., 2007. – 217 с.

168. Тарасова, В.Н. Становление рельсопроката в России [Текст] / В.Н. Тарасова, О.Н. Трынкова // Мир транспорта. –2012. – № 5 (43). – С. 144-155.

169. Садчиков, П.И. Первый русский паровоз Черепановых [Текст], [Электронный ресурс] / П.И. Садчиков, Т.Н. Зайцева / Из истории железных дорог // Железнодорожный транспорт, 2009. – №12. – Режим доступа: <http://www.zdt-magazine.ru/publik/history/2009/12-09.htm> (Ссылка актуальна на 25.08.2011).

170. Козырев, Н.А. Железнодорожные рельсы из электростали [Текст] / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. – Новокузнецк, 2006. – 387 с.

171. Афолина, Г.М. Краткие сведения о развитии отечественных железных дорог с 1838 по 2000 гг. [Текст] / Г.М. Афолина // изд. 2-е, доп. – М., 2001. – 232 с.

172. Железные дороги [Электронный ресурс] / История создания железных дорог России. – Режим доступа: <http://www.rrh.agava.ru/allrails.htm> (Ссылка актуальна на 25.08.2011)

173. История железнодорожного транспорта России [Текст] / в 3-х т. – Т.1. 1836-1917 / под ред. Красковского Е.Я., М.М. Уздина – СПб. : АООТ «Иван Фёдоров», 1994. – 336 с.

174. Мительман, М.М.И. История Путиловского завода (1801 – 1917) [Текст] / М.М.И. Мительман, Б.Д. Глебов, А.Г. Ульяновский и др. // 3 изд. – М.: Издательство социально-экономической литературы, 1961. – 720 с.

175. Мнения различных авторов о рельсах со стальной головкой [Текст] / СПб., 1874. – 11 с.

176. Посьет Константин Николаевич [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Посьет,_Константин_Николаевич (Ссылка актуальна на 25.08.2011)

177. Перспективы развития металлургии черных металлов [Текст] // Материалы к пятилетнему плану промышленности ВСНХ СССР на 1928/29 – 1932/33. 3 т. – Ленинград, 1929. – С. 438-461.

178. Социалистическое строительство СССР [Текст] : стат. ежегодн. ЦЦУНХУ ГОСПЛАНА СССР. – М.: В/О СОЮЗОРГУЧЕТ, 1935. – 690 с.

179. Болдырев, М.Н. Состояние рельсов на сети СССР в последнее время [Текст] / М.Н. Болдырев // Исследование рельсового дела в СССР. М.: Транспечать, 1928 – С. 15-25.

180. Доклад товарища Куйбышева о втором пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР [Электронный ресурс] / XVII съезд ВКП(б) (Заседание шестнадцатое 3 февраля 1934 г., вечернее). – Режим доступа: http://www.hrono.ru/vkpb_17/16_1_1.html (Ссылка актуальна на 25.08.2011).

181. Кемеж, Н.П. Состояние и перспективы поставок рельсов и рельсовых скреплений [Текст] / Н.П. Кемеж, Сборник докладов по материалам заседания НП «Рельсовая комиссия» 26-27 октября 2007 г. Новокузнецк. Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений. – Екатеринбург, 2008. – С. 20-24.

182. По вопросу об изменении технических условий на изготовление и приёмку стальных рельсов [Текст] / Журнал инженерного совета министерства путей сообщения № 9 – 1899 г. – СПб., 1901. – 82 с.

183. Тарасова, В.Н. Эволюция технических требований к рельсам в Российской Империи – СССР – Российской Федерации (конец XIX – начало XXI в.) [Текст] / В.Н. Тарасова, О.Н. Воронина // Вопросы истории естествознания и техники. – 2013. – № 1. – С. 99-114.

184. Неразрушающий контроль металлов и изделий [Текст] : под ред. Г.С. Самойловича // Справочник. – М: Машиностроение, 1976. – 456 с.

185. Гурвич, А.К. Дефектоскопия рельсов [Текст] : учебник для техн. школ ж.-д. транспорта. / А.К. Гурвич, Б.Л. Довнар, В.Б. Козлов и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 440 с.

186. Исследование рельсовой стали [Текст] / Запросы председателя комиссии по исследованию рельсовой стали инженерам отдела по испытанию и освидетельствованию заказов М-ва Путей Сообщения, а также Заводоуправлениям и полученные на них ответы. – СПб., 1906. – 214 с.

187. Манган [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Mn> (Ссылка актуальна на 25.08.2011).

188. Скаков, А.И. Качество железнодорожных рельсов [Текст] / А.И. Скаков М.: Metallurgizdat, 1955. – 368 с.

189. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] : учебник для вузов / А.П. Гуляев // 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1986. – 544 с.

190. ГОСТ 24182-80. Рельсы железнодорожные широкой колеи типов Р75, Р65 и Р50 из мартеновской стали. (СТ СЭВ 4983-85). Технические условия

[Текст]. – Взамен ГОСТ 8160-63 и ГОСТ 6944-63 ; введ. 1981–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.

191. Технологическая инструкция [Текст] / Технология сварки рельсов алюминотермитным способом // Фирма «Снага». – Словакия, 1997. – 11 с.

192. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Текст] / С изм. и доп., внес. приказами МПС России от 03.07.01 г. № 16, от 27.05.2002 г. № 24: Утв. М-вом путей сообщения Рос. Федерации 26.05.2000 г.: офиц. изд. – М.: Техинформ, 2002. – 189 с.

193. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Текст], [Электронный ресурс] / Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286. Опубликовано 25 декабря 2010 г. на сайте «Российской Газеты». Вступает в силу 29 сентября 2011 г. Зарегистрирован Минюстом России 28 января 2011 г. Регистрационный №19627. // Режим доступа:

www.rg.ru/2010/12/25/zheldor-site-dok.html

http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?structure_id=704&layer&id=5104&id=4051#6135

(Ссылки актуальны на 25.08.2013).

194. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Текст] / Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 года. № 877-р. – Текст официально не опубликован.

195. Программа инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период 2011-2015 гг. [Текст] / Концепция программы одобрена Минэкономразвития России и утверждена решением Совета директоров ОАО «РЖД» от 29 ноября 2010 г. № 26.

196. Бельфер, С.М. Путевое хозяйство [Текст] : Учебник для вузов ж.-д. тр-та / С.М. Бельфер, Э.В. Воробьёв, Л.М. Дановский и др. : под ред. И.Б. Лехно – М.: Транспорт, 1981. – 447 с.

197. Сварка рельсов алюминотермитная методом промежуточного литья. Технические условия ТУ 0921-127-01124323-2005 [Текст]. – М.: ВНИИЖТ, 2005. – 16 с.

198. Карпущенко, Н.И. Железнодорожный путь [Текст] / Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря и др. : под ред. Т.Г. Яковлевой – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.
199. Железнодорожный транспорт [Текст] : Энциклопедия / под. ред. Н.С. Конарева. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.
200. Яковлев, В.Ф. Железнодорожный путь: конструкции верхнего строения пути рельсовых дорог [Текст] / В.Ф. Яковлев, Л.А. Андреева – СПб.: Издательство Петербургского гос. ун-та путей сообщения, 2002. – 149 с.
201. Крейнис, З.Л. Железнодорожный путь [Текст] / З.Л. Крейнис, И.В. Федоров – М.: ИГ «Вариант», 1996. – 368 с.
202. Крейнис, З.Л. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути [Текст] / З.Л. Крейнис – М.: РГОТУПС, 1997. – 78 с.
203. Галицын, Г.А. Технология термообработки железнодорожных рельсов и накладок при охлаждении в воде [Текст] / Г.А. Галицын, А.Б. Добужская, Е.А. Муравьев / Материалы юбилейной рельсовой комиссии. // Сборник докладов – Новокузнецк, 2002. – С. 156-167.
204. Ольденборгер, А.И. Сплошной рельсовый путь без зазора в стыке [Текст] / А.И. Ольденборгер // Железнодорожное дело, – СПб., 1904. – № 14-15. – 40 с.
205. Першин, С.П. Методы расчёта устойчивости температурно-напряжённого пути и способы её повышения [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : Першин Сергей Петрович. – М., 1959. – 271 с.
206. Евдокимов-Рокотовский, И.И. Рельсовый путь за сто лет [Текст] / И.И. Евдокимов-Рокотовский. – б.м. – б.г., – 20 с.
207. Ковалев, Н.А. Справочник сварщика [Текст] / Н.А. Ковалев – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 350 с. ISBN 978-5-222-17065-6.
208. Шепелев В.Н. Термитная сварка рельсов [Текст] / В.Н. Шепелев – М.: Транспорт, 1963. – 56 с.
209. Hans Goldschmidt [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Goldschmidt (Ссылка актуальна на 25.08.2011).

210. Корниенко, А.М. История сварки. XV-середина XX ст. [Электронный ресурс] / А.М. Корниенко, – К, Феникс, – 2004 // «Автогенная обработка». Термитная сварка. История развития. – Режим доступа: <http://www.autowelding.ru/publ/1/1/1/9-1-0-58>. (Ссылка актуальна на 12.12.2013)
211. Новакович, В.И. Становление бесстыкового пути. // Путь и путевое хозяйство. – 2003. – № 9. – С. 17-19.
212. Набережная Обводного канала. Сварка стыков термитом. (Капитальный ремонт в 1923 г.) [Электронный ресурс] / Фотографии старого Санкт-Петербурга // Архив ленинградского ТТУ – Режим доступа: <http://oldsp.ru/old/photo/view/23379> (Ссылка актуальна на 12.12.2013)
213. Малкин, Б.В. Термитная сварка [Текст] / Б.В. Малкин, А.А. Воробьёв – М.: Министерство Коммунального Хозяйства РСФСР, 1963. – 105 с.
214. Чистяков, Б.П. Термитная сварка рельсовых стыков на железнодорожных путях в СССР и за границей [Текст] / Б.П. Чистяков // Лекции, прочитанные в Ленинградском институте инженеров путей сообщения на курсах по поднятию квалификации инженеров железнодорожного транспорта в 1928 г. – М.: Транспечать НКПС, 1929. – 91 с.
215. Рукавцов, К.А. Мой опыт сварки термитом [Текст] / К.А. Рукавцов – М.: Трансжелдогиздат, 1940. – 64 с.
216. Проблемы дуговой и контактной электросварки [Текст] // Сборник, посвящённый памяти Е.О. Патона. – Москва-Киев: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1956. – 318 с.
217. Сварка в машиностроении [Текст] : справочник в 4-х т. / редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. // Т. 1. / под ред. Н.А. Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978. – 504 с.
218. Болдырев, А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов [Текст] : учебник / А.М. Болдырев, А.С. Орлов – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 432 с.

219. Сварка в СССР [Текст] : в 2-х т. / под ред. Г.К. Николаева, К.С. Колесникова // Т. 1. Развитие сварочной техники и науки о сварке, технологических процессах, сварочных материалах. – М.: Наука, 1981. – 150 с.

220. Резанов, В.А. Разработка метода оплавления контактной сварки легированных рельсовых сталей [Текст] : автореф. дис. канд. тех. наук: 05.02.10 / Резанов Виктор Александрович, М., – 2013. – 20 с.

221. Рельсосварочная машина [Электронный ресурс] : Режим доступа: http://p.www.pz.gov.ua/news/img/prsm4_big.jpg (Ссылка актуальна на 12.12.2013)

222. Новакович, В.И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями [Текст] : учеб. пособие для вузов ж.-д. тр-та / В.И. Новакович. – М.: Маршрут, 2005. – 144 с.

223. Новакович, В.И. Бесстыковой железнодорожный путь с рельсовыми плетями неограниченной длины [Текст] / В.И. Новакович. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1984. – 100 с.

224. Севостьянова, Л.Л. Бесстыковой путь в условиях Дальневосточного региона [Текст] : учеб. пособие / Л.Л. Севостьянова. – Хабаровск: ДВГУПС, 1997. – 101 с.

225. Клименко, Л.В. Бесстыковой путь – прогрессивная конструкция железнодорожного пути [Текст] / Л.В. Клименко // Соискатель: приложение к журналу «Мир транспорта» МКЖТ МПС РФ, 2004. – № 1 – С. 88-93.

226. Номенклатурный справочник каховского завода электросварочного оборудования на 1999 г.

227. Авария поезда в Амурской области [Электронный ресурс] / Lenta.ru : Режим доступа: <http://lenta.ru/news/2008/07/23/rail/>. (Ссылка актуальна на 12.12.2013)

228. Выброс пути [Электронный ресурс] // Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : Режим доступа: <http://railways.id.ru/doc/norm/pte.htm>. (Ссылка актуальна на 12.12.2013)

229. Малкин, Б.В. Термитная сварка рельсов [Текст] / Б.В. Малкин, А.А. Воробьев – М.: Транспорт, 1963. – 272 с.

230. Шепелев, В.Н. Термитная сварка рельсов [Текст] / В.Н. Шепелев – М.: Транспорт, 1963. – 55 с.

231. Воронин, Н.Н. Роль сварки в обеспечении безопасности бесстыкового пути [Текст] / Н.Н. Воронин, Н.Н. Прохоров // Безопасность движения поездов: труды 9-ой научно-практич. конф.; МИИТ, ОАО «Российские железные дороги», Министерство транспорта Российской Федерации и др. – М.: МИИТ, 2008, – с. XIV-45 – XIV-47.

232. Королев, Р.А. Расчётное обоснование технологических параметров сварки рельсов алюминотермитным способом [Текст] / Р.А. Королев, Воронина О.Н. // Московская конференция Молодых учёных «Научно-технические проблемы развития Московского мегаполиса» : тезисы докладов – М.: ИМАШ РАН, 2002, – с. 65-66.

233. Королев, Р.А. Экспериментальное определение термических циклов при сварке рельсов алюминотермитным способом [Текст] / Р.А. Королев, Воронина О.Н. // «Юбилейная XV Международная Интернет-конференция молодых учёных, аспирантов и студентов по современным проблемам машиноведения» : тезисы докладов – М.: ИМАШ РАН, 2003, – с. 58.

234. Королев, Р.А. Обоснование технологических параметров и обеспечение их контроля при алюминотермитной сварке рельсов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 Королев Роман Александрович – М., 2006. – 201 с.

235. Воронин, Н.Н. Алюминотермитная сварка рельсов [Текст] / Н.Н. Воронин, Н.Н. Прохоров, О.Н. Трынкова // Ремонт, инновации, технологии, модернизация. – 2009. – № 6 (44). – С. 27-29.

236. Трынкова, О.Н. Применение алюминотермитной сварки на железнодорожном транспорте [Текст] / О.Н. Трынкова // «Инновации в науке, образовании и производстве» : труды СПбГТУ № 492. – СПб.: СПбГТУ. – 2004, – с. 201-206.

237. Воронин, Н.Н. Резервы алюминотермитной сварки рельсов [Текст] / Н.Н. Воронин, Н.Н. Прохоров, О.Н. Трынкова // Мир транспорта. – 2012. – № 2 (40). – С. 76-82.

238. Воронин, Н.Н. Алюминотермитная сварка рельсов зимой [Текст] / Н.Н. Воронин, О.Н. Трынкова, О.В. Фомичёва // Мир транспорта. – 2012. – № 4 (42). – С. 56-59.

239. Воронин, Н.Н. Кинетика формирования поля скоростей охлаждения металла при температуре минимальной устойчивости аустенита при алюминотермитной сварке [Текст] : в 4 т. / Н.Н. Воронин, Н.Н. Прохоров, О.Н. Трынкова // Вузы-наука-город : труды первой Моск. городской научно-практич. конф. «Вузы-наука-город»; МИИТ. – М.: МИИТ, 2005, – Т. 3-4, – с. IV-124 – IV-128

240. Прохоров, Н.Н. Влияние мощности источника теплоты на характер подогрева рельса перед алюминотермитной сваркой [Текст] / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, О.Н. Трынкова / «Состояние, проблемы и перспективы развития металлургии и обработки металлов давлением» : сборник трудов МГВМИ и Союза кузнецов. – М.: МГВМИ, 2004, – Вып. 4, – с. 153-157.

241. ГОСТ Р 8.585-2001 ГСИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. [Текст]. – Взамен ГОСТ Р 50431-92, МИ 2559-99 : введ. 2002-07-01. – Госстандарт России: ИПК Издательство стандартов № 2002. М.: Стандартиформ, 2010. – 84 с.

242. Рыкалин, Н.Н. Нагрев металла газовым пламенем [Текст] / Н.Н. Рыкалин, М.Х. Шоршоров, А.К. Нинбург // Руководящие материалы.– М.: МХП СССР, Главкислорд, ВНИИАвтоген, Госхимиздат, 1954. – Вып. 2. – 118 с.

243. Глизманенко, Д.Л. Газовая сварка и резка металлов [Текст] / Д.Л. Глизманенко, Г.Б. Евсеев. – М.: МАШГИЗ. 1961. – 448 с.

244. В.Н. Волченко, В.Н. Теория сварочных процессов [Текст] : учебник для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с. ISBN 5-06-001473-8.

245. Теория сварочных процессов [Текст] : учебник для вузов / под ред. В.М. Неровного. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с. ISBN 978-5-7038-3020-8

246. Петров, Г.Л. Теория сварочных процессов (с основами физической химии) [Текст] : учебник для вузов / Г.Л. Петров, А.С. Тумарев // Изд. 2-е, перераб. – М.: Высшая школа, 1977. – 392 с.

247. Петров, С.Ю. Методические указания по использованию программы «Поле-аналитик» [Текст] / С.Ю. Петров, М.: МИИТ, 1996. – 12 с.

248. Воронин, Н.Н. Анализ повреждаемости и оценка работоспособности несущих сварных конструкций грузовых вагонов [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.07, 05.03.06 / Воронин Николай Николаевич, М., – 1994. – 348 с.

249. Прохоров, Н.Н. Анализ перераспределения температур в поперечном сечении рельса путём математического моделирования тепловых процессов при его предварительном нагреве перед выполнением алюминотермитной сварки [Текст] / Н.Н. Прохоров, Н.Н. Воронин, Р.А. Королев // Состояние, проблемы и перспективы развития металлургии и обработки металлов давлением: сборник научн. трудов МГВМИ; М.: МГВМИ, 2005, – Вып. 5, – с. 312-317.

250. Воронин, Н.Н. Обоснование основных технологических параметров алюминотермитной сварки рельсов [Текст] / Воронин Н.Н., Р.А. Королев // Сварка на рубеже веков: тезисы докладов научно-технической конференции 20-21 января 2003; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, – с. 40.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (СПРАВОЧНОЕ)

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬСОВ

Таблица А-1 – Основные показатели рельсов

Тип рельса	1	P75	P65	P50	P75	P65	P65	P50	P50
	2				стр. 23	стр. 24	стр. 25	стр. 26	стр. 27
Документ, год	3	ГОСТ 2000	ГОСТ 2000	ГОСТ 2000	Проект 1956	ГОСТ 8161-56	Проект 1950	ГОСТ 7174-54	ГОСТ 3542-47
Материал	4					сталь по ЧМТУ 8160-56	сталь по ЧМТУ 3410-53	сталь по ГОСТ 6944-54	сталь по ЧМТУ 3440-53
Масса 1 фута рельса, фунтов	5								
Масса 1 м рельса, кг	6	74,41	64,64	51,67	75,1	64,93	64,9	51,514	51,504
Высота рельса, мм	7	192	180	152	192	180	180	152	152
Высота головки	8	55,3	45	42	48,5	45	45	42	42
Высота шейки	9	104,4	105	83	110	105	105	83	83
Высота подошвы	10	32,3	30	27	33,5	30	30	27	27
Ширина головки рельса, мм:	11						76	70	70
Вверху	12	72	73	70,2	72	72,8			
Внизу	13	75	75	72	75	75			
Ширина подошвы, мм	14	150	150	132	160	150	150	132	132
Толщина шейки в средней части, мм	15	20	18	16	20	18	17	15,5	14,5
Толщина шейки вверху, мм	16								
Толщина шейки внизу, мм	17								
Площадь поперечного сечения, см ²	18	95,04	82,65	65,99	95,8	82,9	82,9	65,8	64,5
Распределение площади по профилю, %:	19	100	100	100	100	100	100	100	100
Головки	20	37,4	34,1	38,1	32,3	34,5	35,5	38,7	39,5
Шейки	21	26,5	28,5	24,5	28,5	28,3	27,1	23,8	22,2
Подошвы	22	36,1	37,4	37,4	39,2	37,2	37,4	37,5	38,3
Расстояние от центра тяжести, мм:	23								
До низа подошвы	24	88,2	81,3	70,5	84,1	81,7	83,1	70,5	70,8
До верха головки	25	103,8	98,7	81,5	107,9	98,3	96,9	81,5	81,2
Момент инерции относительно осей, см ⁴ :	26								
Горизонтальной	27	4489	3540	2011	4597	3573	3588	2037	2016
Вертикальной	28	665	564	375	771	572	576	377	
Момент сопротивления, см ³ :	29								
По низу подошвы	30	509	435	285	547	437	432	287,2	284,7
По верху головки	31	432	358	247	426	363	370	251,3	248,3
По боковой границе подошвы	32	89	75	55					
	33								
Момент площадей относительно подошвы рельсов	34								
Момент инерции относительно подошвы рельсов	35								
Источник	36	ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. Введен с 01.07.2001. – М.: Изд-во стандартов. 24 с. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. Введен с 01.07.2001. – М.: Изд-во стандартов. 24 с. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. Введен с 01.07.2001. – М.: Изд-во стандартов. 24 с. Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33 Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33 Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33 Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33							

Продолжение таблицы А-1

1	P43	P43	I a	P38 (II a)	P33 (III a)	IV a	O ^I	O ^{II}	O ^{III}	O ^{IV}	I a
2	стр. 28	стр. 29	стр. 30	стр. 31	стр. 32	стр. 33	Ориентировочные новые типы рельсов разработаны проф. К.А. Оппенгеймом				
3	ГОСТ 7174-54	ГОСТ 3542-47	ОСТ 119	ГОСТ 3542-47	ГОСТ 6726-53	ОСТ 122	стр. 241-248 (табл. стр. 247)	стр. 241-248 (табл. стр. 247)	стр. 241-248 (табл. стр. 247)	стр. 241-248 (табл. стр. 247)	1-2/06/1910 №14733
4	сталь по ГОСТ 4224-54 5633-51	сталь по ГОСТ 4228-48 5633-51	сталь по ОСТ 4118	сталь по ГОСТ 4228-48	сталь по ОСТ 4118 ГОСТ 7521-55	сталь по ОСТ 4118 и ТУ	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь
5											32,426
6	44,653	43,613	43,567	38,416	33,48	30,89	57,15	50,08	42,13	35,86	43,567
7	140	140	140	135	128	120,5	155	145	135	130	140
8	42	42	44	40	37	40	50	47	39	36	44
9	71	71	71	71	68	59	76	72	72	72	71
10	27	27	25	24	23	21,5	29	26	24	22	25
11	70	70	70	68	60	53,5					70
12							70	68	68	60	
13							74	72	72	64	
14	114	114	125	114	110	100	140	130	120	110	125
15	14,5	13,5	14	13	12	12					14
16							15	14	13	12	
17							17	16	15	14	
18	57	55,7	55,6	49,1	42,8	39,5	72,99	63,96	53,89	45,67	55,64
19	100	100	100	100	100	100					0
20	42,8	43	45,9	45,4	43	44,9					
21	21,3	20,5	19,3	19,8	19,9	23,7					
22	35,9	36,5	34,8	34,8	37,1	31,4					
23											
24	68,52	68,63	69,63	67,81	62,09	59,24					69,626
25	71,48	71,37	70,37	67,19	65,91	61,26					70,374
26							2390	1820	1340	1030	
27	1489	1472	1476	1223	968	751					1476,11
28	260	357	284	209	167	120					
29							300	245	195	15	
30	217,3	214,5	212	180	155,9	126,8					212
31	208,3	206,2	209,7	182	146,9	122,6					209,75
32											
33											
34											
35											
36	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Капорцев Н.В. Альбом чертежей верхнего строения железнодорожного пути. – М.: Трансжелдориздат, 1960 г., 212 с. Используются стр. 22-33										
	Исследование рельсового дела в СССР. М. Транспечать. 1928, 324 с. Ориентировочные новые типы рельсов в связи с повышением давлений на оси паровозов и вагонов. Инж. М.Н. Болдырев. Стр. 241-248										
	Исследование рельсового дела в СССР. М. Транспечать. 1928, 324 с. Ориентировочные новые типы рельсов в связи с повышением давлений на оси паровозов и вагонов. Инж. М.Н. Болдырев. Стр. 241-248										
	Исследование рельсового дела в СССР. М. Транспечать. 1928, 324 с. Ориентировочные новые типы рельсов в связи с повышением давлений на оси паровозов и вагонов. Инж. М.Н. Болдырев. Стр. 241-248										
	Исследование рельсового дела в СССР. М. Транспечать. 1928, 324 с. Ориентировочные новые типы рельсов в связи с повышением давлений на оси паровозов и вагонов. Инж. М.Н. Болдырев. Стр. 241-248										
	Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей										

Продолжение таблицы А-1

1	II а	III а	IV а	Владикавказская ж.д.	Нормальные типы казенных ж.д.	Нормальные типы казенных ж.д.	Нормальные типы казенных ж.д.	Нормальные типы казенных ж.д.	Моск.-Яросл.-Арханг.	Моск.-Яросл.-Арханг. Моск.-Яросл., Ярославской, Александровской, Моск.-Савел., Нерехто-Ермолинской линий и ветвей Киржачской и Мытищинской	
2					I	II	III	IV	Шуйско-Ивановской линии		
3	1-2/06/1910 №14733	1-2/06/1910 №14733	1-2/06/1910 №14733	28/10/1898 № 240	лист 60-61	лист 58-59	лист 56	лист 21, 134 том 3	лист 64	лист 65	
4	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	
5	28,592	24,918	22,991	24	32,5	28,5	24,33333	22,5	24,25	23,83	
6	38,416	33,48	30,89	32,24409	43,68	38,57	32,69193	30,11	32,57997	32,01569882	
7	135	128	120,5	126	140	135	127	119,25	127	127	
8	40	37	39,95	39,22	44	40	37	39,95	42	42	
9	71	68	59,1	66,13	71	71	68	59,09	63,52	63,42	
10	24	23	21,45	20,65	25	24	22	20,21	21,48	21,58	
11	68	60	53,5	58	70	68	60	53,5			
12									57	57	
13									47	47	
14	114	110	100	108	125	114	110	100	101,5	101,5	
15	13	12	12	12	14	13	12	12	12	12	
16											
17											
18	49,063	42,758	39,451	41,060	55,64	49,063	41,67	38,354			
19	0	0	0	100							
20				45,57							
21				22,67							
22				31,76							
23									?		
24	67,81	62,09	59,24	63,54	69,626	67,81	62,7	59,86	55,25	55,25	
25	67,19	65,91	61,26	62,46	70,374	67,19	64,3	59,39	71,75	71,75	
26					1476,11	1222,54	925,67	707,032			
27	1222,54	967,98	751	877,18							
28				143,39							
29											
30	180,29	155,9	126,77	138,05	212	180,29	147,63	118,115			
31	181,95	146,86	122,59	140,44	209,75	181,95	143,96	119,049			
32											
33											
34											
35				1936,15							
36	Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			К. Тышка. Стальной рельс весом 24 фунта в пог. фуле и скрепления к нему. С.-Петербург. 1899 г., 31 с.	
	Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	
	Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	
	Альбом рельсов и скрепления нормальных типов русских железных дорог. Издание Е. Михальцева. Петроград. 1916 г. 12 листов чертежей			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.			Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	

Продолжение таблицы А-1

1	Сам. Злат. ж.д.								Рельс Николаевской ж.д.	Русские правительственные типы	Русские правительственные типы	Русские правительственные типы
2	Крот.-Серг. Ветвь									Русские правительств. типы	Русские правительств. типы	Русские правительств. типы
3	лист 1	лист 4	лист 3	лист 2	лист 5	лист 1	лист 7	лист 6				
4	сталь	железо	железо	железо	сталь	сталь	сталь	сталь		сталь	сталь	сталь
5	8,32	24	22	20	21,66667	20	18,33333	17		21,66667	22,5	24
6	11,17795	32,24409	29,55709	26,87008	29,10925	26,87008	24,63091	22,83957		29,12	30,24	32,26
7	80	120	114	108	114	108	102	100	127	114	119,25	119,25
8	22,5	30,25	28,5	26,75	26,75	25,25	23,75	22,5	47	35	39,4	39
9	45	76	72	68	75	70,5	66	65,75	50	58,5	59,6	58,45
10	12,5	13,75	13,5	13,25	12,25	12,25	12,25	11,75	30	20,5	20,25	21,8
11	32	54,5	52	49,5	56,5	54,5	52,5	50,5		56,5	53,5	54,5
12									58			
13									55			
14	66	100	95	95	95	95	90	90	102	95	100	103
15	7	15	14	13	13	12	11	10	17	13	13	14
16												
17												
18		42	38,1	34,9	36,62	33,8	30,8	28,54			38,354	
19		100	100	100	100	100	100	100				
20		37,19	36,67	35,54	38,72	38,02	37,65	36,86				
21		33,20	32,87	31,99	32,89	31,45	30,44	30,38				
22		29,60	30,46	32,47	28,39	30,53	31,92	32,76				
23	?											
24	35	57,8	54,6	50,8	56,7	52,8	49,4	47,8		56,6	59,55	57,35
25	45	62,2	59,4	57,2	57,3	55,2	52,6	52,2		57,4	59,7	61,9
26												
27										626	704,4	736,4
28												
29												
30										109,2	118,1	119,1
31												
32												
33												
34		242929	208073	177219	207956	178331	152173	136592				
35		21662561	17676369	14126073	18032805	14711620	11862659	10523949				
36	<p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 г. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Пу-тей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Рельс Николаевской железной дороги. Вычислял князь Лобнов-Ростовский студент Института Инженеров Путьей Сообщения 3 курса, 1 отделения. С.-Петербург. 19 октября 1873 г. Рукопись</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фунтга в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фунтга в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фунтга в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p>											

Продолжение таблицы А-1

1	Американские железные дороги Американского Инженерного Союза	Американские железные дороги Американского Инженерного Союза	Американские железные дороги Нью-Йорк Центральная 1892 г.	Американские железные дороги Нью-Йорк Эри 1890 г.	Варшаво-Венская ж./д. II	I	III	№ 1	№ 2	№ 3
2										
3										
4	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь		сталь	сталь	сталь	сталь
5					28,3	31,45	24,5	27,75	26	24
6	40	49,6	0	39,6	38		32,91585	37,28223	34,9311	32,24409
7	127	144	152	127	134		127	125	123,8	127
8	37,5	42,5	41,3	38	38,5					
9	67	76,7	86,5	67	73,5					
10	22,5	24,8	24,2	22	22		127	125	123,8	127
11	53,5	70		70	68			61		
12			72						58,7	57
13			76						меньше	меньше
14	127	144	133	127	110			109	108	102
15	16	17,5	15	13,5	18			15	12,7	12
16										
17										
18							41,4154	47,43	42,6	42,39
19	0	100	100	100	100					
20		41,5	40,8	44,9	45					
21		21	23,5	18,5	21					
22		37,5	35,7	36,6	34					
23										
24					66,7		62,36			
25	127	144	152	127	67,3		64,64			
26							906,54	935,8	862,7	869,6
27										
28										
29								143,97	149,15	138,9
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36	<p>Васютинский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Васютинский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Васютинский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Васютинский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. футе). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>XII Советательный съезд инженеров служб пути русских железных дорог 1894 г. Протоколы заседаний и труды. Москва. 1895 г. Заседание 2 декабря.</p> <p>XV Советательный съезд инженеров служб пути русских железных дорог 1894 г. Протоколы заседаний и труды. Москва. 1895 г.</p> <p>XV Советательный съезд инженеров служб пути русских железных дорог 1894 г. Протоколы заседаний и труды. Москва. 1895 г.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p>									

Продолжение таблицы А-1

1	Желобчатые рельсы										№ 1 Правит. тип	№ 2 Правит. тип
2	№ 16	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24			
3												
4	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь
5	13,03	11	10	6	5	5,17	4	3,5	2,66	24	21,66667	
6	17,505856	14,77854	13,43504	8,061024	6,71752	6,945915	5,374016	4,702264	3,57372	32,24409	29,10925	
7	60	91	76,5	57	57		51	48	41	119,25	114	
8						14,2875						
9												
10	60	91										
11		37,5		27	25,5	25	22	19,5	20	54,5	56,5	
12			34									
13												
14		80	72,5	50	48	53,975	38	38	35	100	95	
15		6,5	8,5	7,5	6	4,7625	6,5	5	5	14	13	
16												
17												
18	20,5	18,9	17,7	10,2	8,6	8,9	6,94	5,96	5			
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26	40,6	221,6	132	43,96	37,07	5,3	22,9	17,46	11,12			
27												
28												
29	17,65	48,18	30,34	14,41	12,15	15,6	8,5	6,59	5,16			
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36	<p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.</p> <p>Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.</p>											

Продолжение таблицы А-1

1	№ 14	№ 15	№ 16	№ 16 а Яросл.- Вологод ская ж.д.	№ 16 b	№ 16 g Московско- Рязанская ж.д.	№ 25R	№ 30R	№ 35R	№ 40R	№ 45R
2							стр. 130	стр. 130	стр. 131	стр. 131	стр. 131
3											
4	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь					
5	6,32	8,32	11,16	15,36	12,48	24,33					
6	8,490945	11,17795	14,9935	20,63622	16,76693	32,68745		12,4	14,88	17,36	19,84
7	75	80	70	95,25	87	123,83		73,03	79,38	85,73	92,08
8								23,02	25,4	27,78	28,97
9								38,9	42,07	45,25	49,62
10								11,11	11,91	12,7	13,49
11	27,5	32,5	32,25		40			38,1	41,28	44,45	47,63
12				44,45		58,75					
13				41		46,78					
14	60	60	75	82,55	77	101,5	69,85	76,2	82,55	88,9	95,25
15	6,2	9,6	10,5	10	10	12,5	6,35	7,54	8,33	9,13	9,53
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24							30,56	32,94	35,32	38,5	40,88
25							42,47	46,44	50,41	53,58	57,55
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Варшавский сталелитейный завод. Профили рельсов, рельсовых скреплений, бандажей, поперечин, рессорной стали и проч. Варшава 1883 г. 22 с.	Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138	Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138	Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138	Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138	Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138

Продолжение таблицы А-1

1	№ 110R	№ 115R	№ 120R
2	стр. 137	стр. 138	стр. 138
3			
4			
5			
6	54,57	57,05	59,63
7	158,75	161,93	165,1
8	48,42	49,21	50,4
9	87,31	88,91	90,49
10	23,02	23,81	24,21
11	73,03	74,61	76,2
12			
13			
14	152,4	155,58	158,75
15	15,08	15,48	15,88
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24	66,68	68,26	69,45
25	92,07	93,67	95,65
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36	<p>Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138</p>	<p>Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138</p>	<p>Исследование рельсового дела в СССР. 1931 г., 250 с. Английская стандартная спецификация на железнодорожные рельсы с плоской подошвой. Перевод с английского инж. П.П. Лесникова. Стр. 121-138</p>

Таблица А-2 – Основные показатели «Казённых рельсов»

Тип рельса	1	Владикавказская ж.д.	Моск.-Яросл.-Арханг. Ярослав.-Костромской ветви	Моск.-Виндав.-Рыбинск. ж.д.	Русские правительственные типы	№ 3	Юго-Восточные ж.д.	
Документ, год	2	28/10/1898 № 240	лист 66	лист 102			лист 129	
Граф №	3	24-1	24-3	24-7	24-15	24-16	24-9	
	4	1	2	3	4	5	6	
Материал	5	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	
Масса 1 фута рельса, фунтов	6	24	24	24	24	24	24	
Масса 1 м рельса, кг	7	32,24409	32,2441	32,2441	32,26	32,2441	32,2441	
Высота рельса, мм	8	126	119,25	122	119,25	127	119,25	
Высота головки	9	39,22	30,25	38,955	39	41,25	30,25	
Высота шейки	10	66,13	65,125	62,478	58,45	65	76	
Высота подошвы	11	20,65	23,875	20,567	21,8	20,75	13	
Ширина головки рельса, мм:	12	58	54,5	58	54,5		54,5	
Вверху	13					57		
Внизу	14					меньше		
Ширина подошвы, мм	15	108	108	108	103	102	100	
Толщина шейки в средней части, мм	16	12	14	12,5	14	12	14	
Толщина шейки вверху, мм	17							
Толщина шейки внизу, мм	18							
Площадь поперечного сечения, см ²	19	41,060		41,077		42,39		
Распределение площади по профилю, %:	20	100						
Головки	21	45,57						
Шейки	22	22,67						
Подошвы	23	31,76						
Источник	24	<p>К. Тышка. Стальной рельс весом 24 фута в пог. футах и скрепления к нему. С.-Петербург. 1899 г., 31 с.</p> <p>Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута) в пог. футах. Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Профили железа и стали. Общество Брянского рельсопрокатного завода. Станция "Бежицкая", Орловско-Витебской ж.д.</p> <p>Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p>						

Продолжение таблицы А-2

1	Юго-Восточные ж.д.	Сибирская ж.д.	Китайск. Восточн. ж.д.	Лозово-Севаст. ж.д.		Моск.-Яросл.-Арханг. Моск.-Яросл., Ярославской, Александр-Ивановской, Моск.-Савел., Нерехто-Ермолинской линий и ветвей Киржачской и Мытищинской	Варшаво-Венская ж.д.	Рельс Николаевской ж.д.	Рязанско-Уральская ж.д.
	№ 4 К.-Р. линия								№ 3
2	лист 129	лист 32		лист 45	лист 4	лист 65	лист 87		лист 119
3	24-10	24-11	24-12	24-13	24-14	24-2	24-6	24-20	24-8
4	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	сталь	сталь	сталь	сталь	железо	сталь	сталь		сталь
6	24	24	24	24	24	23,83	23,8		23,81
7	32,2441	32,2441	32,2441	32,2441	32,24409449	32,01569882	31,9754		31,9888
8	121	122	127	119,25	120	127	125	127	127
9	42,75	38,855	35,43	39,068	30,25	42	35,2	47	43,5
10	59	62,578	74,01	58,364	76	63,42	69,8	50	61
11	19,25	20,567	17,56	21,818	13,75	21,58	20	30	22,5
12	56,5	58	60	54,5	54,5		60		
13						57		58	57
14						47		55	47
15	98	108	115	100	100	101,5	110	102	101,5
16	13	12,5	12	15	15	12	12	17	12
17									
18									
19			40,9			42			
20						100			
21						37,19			
22						33,20			
23						29,60			
24	<p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Министром Путей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Рельс Николаевской железной дороги. Вычислял князь Лобнов-Ростовский студент Иститута Инженеров Путей Сообщения 3 курса, 1 отделения. С.-Петербург. 19 октября 1873 г. Рукопись</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p>								

Продолжение таблицы А-2

1	Юго-Восточные ж.д. Московско-Киево-Воронежская ж.д.	Русские правительственные типы	Лодзинская фабричная ж.д.	Юго-Восточные ж.д. Юго-Западные ж.д.		Русские правительственные типы	Московско-Казанская ж.д., Юго-Западные ж.д. Фастовская линия	Юго-Западные ж.д. № 7, № 7а, № 7б	Рязанско-Уральская ж.д. № 8
2	лист 127		лист 91	лист 5	лист 11		лист 98	лист 71	лист 111
3	22,5-12	22,5-13	21,6-2	21,6-6	21,6-5	21,6-7	20-3	20-1	20-4
4	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь
6	22,5	22,5	21,6667	21,6667	21,6667	21,66667	20	20	20
7	30,2288	30,24	29,1093	29,10925	29,1093	29,12	26,87007874	26,8701	26,8701
8	119,25	119,25	114	114	114	114	108	108	108
9	40	39,4	36	26,75	34,93	35	25,25	25,25	25,25
10	60,25	59,6	60	75	58,64	58,5	70,5	70,6	70,25
11	19	20,25	18	12,25	20,43	20,5	12,25	12,15	12,5
12	53,5	53,5	56,5	56,5	56,36	56,5	54,5	54,5	54,5
13									
14									
15	100	100	95	95	95	95	95	95	95
16	12	13	13	13		13	12	12	12
17									
18									
19		38,354		36,62			33,8		
20				100					
21				38,72					
22				32,89					
23				28,39					
24	<p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. фута). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322</p> <p>Чертежи типов рельс железных и стальных утвржденных г. Ми-нистром Путей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Васютынский А. Новый тип стального рельса Варшавско-Венской железной дороги весом 38 кг в пог. метре (28,3 фута в пог. фута). Варшава, 1898, 55 с. (размышления о длине рельса)</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p> <p>Альбом рельсов и крепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.</p>								

Продолжение таблицы А-2

1	Юго-Восточные ж.д.	Риго-Орловская ж.д. Туккумекская ветвь			Рязанско-Уральская ж.д. № 9
2	лист 124	лист 48	лист 5	лист 2	лист 109
3	20-5	20-6	20-7	20-8	18-1
4	35	36	37	38	39
5	сталь	сталь	сталь	железо	сталь
6	20		20	20	18
7	26,8701	0	26,8701	26,870079	24,1831
8	110	108	108	108	107
9	33	34	33,16	26,75	32
10	59	56	54,68	68	59
11	18	18	20,16	13,25	16
12	54	54,5	54,5	49,5	51
13					
14					
15	100	95	95	95	92
16	11	12	12	13	10,5
17					
18					
19	33,9339			34,9	
20				100	
21				35,54	
22				31,99	
23				32,47	
24	Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.	Энрольд Ф. Нормальные типы рельсов. «Инженерные записки». Текст. Том 1, выпуск 2. С.-Петербург. 1874 г., 507 стр. Используются стр. 291-322 Чертежи типов рельс железных и стальных утвержденных г. Ми-нистром Путей Сообщения. С.-Петербург. 1874 г., 7 листов	Альбом рельсов и скрепления к ним употребляемых на русских железных дорогах. А.Г.Славянов. С.-Петербург. 1904 – 1905 гг. в 3-х томах, 139 листов чертежей.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (ОСНОВНОЕ) ТИПЫ РЕЛЬСОВ 1926 Г.

Таблица Б-1 – Типы рельсов в пути 1926 г.

Фонд 1884 опись 42 дело 292 № стр	1	Типы рельсов в пути, в вёрстах I и I-а	II и II-а	III и III-а
	2			
	3			
	4	Дороги	32,426	28,592
15-17	5	Донецкие		1330,794
	6	Екатерининская		1118,587
51	7	Пересчет		171,000
	8	Пересчет		630,000
	9	Забайкальская		1116,306
48	10	Пересчет		323,232
	11	Пересчет		1190,854
	12	Закавказские		344,500
49	13	Пересчет		18,000
	14	Пересчет		162,000
	15	Западные		34,587
35	16	Пересчет		36,897
	17	Моск.Бел.Балт.		1145,730
14	18	М. Казанская		6,420
	19	М. Киево-Воронежская		6,018
	20	Пересчет		1074,000
	21	Пересчет		1484,369
	22	М. Курская		1033,538
	23	Пересчет		633,000
	24	Пересчет		1111,031
	25	Мурманская		1185,227
1919 г.	26	Октябрьская		562,000
	27	Пересчет		181,832
	28	Пересчет		1006,768
46	29	Омская	632,500	2,500
	30	Пересчет	1006,236	3,977
	31	Пересчет	1073,433	4,243
41	32	Пермьская		181,832
	33	Ряз. Уральская		325,734
	34	Самаро-Златоустовская		347,486
33	35	%		36,500
11	36	Измерено по карте		167,333
	37	%		266,209
	38	Пересчет		283,986
31	39	Пересчет		713,500
	40	Северные		2888,151
	41	Киржач-Орехово		3081,023
	42	Северо Западные	515,310	136,650
	43	Северо Кавказские		589,152
	44	%		1179,266
	45	Измерено по карте		1376,127
	46	%		53,973
	47	Пересчет		801,400
	48	Пересчет		57,659
29-30	49	Средне Азиатские		1329,354654
	50	Пересчет		1418,129565
	51	Сызрано Вяземская		1517,370
	52	%		20,970
	53	Ташкентская		934,930
	54	%		1594,500
	55	Томская		6,392
	56	%		35,470
	57	Уссурийская		166,000
	58	Пересчет		925,500
	59	%		37,319
	60	Измерено по карте, мм		
	61	%		
	62	Пересчет		
	63	Пересчет		
	64	расхождение		
	65	Юго-Восточные		
20	66	Дано в документе		
	67	Юго-Западные	4,570	0,384
	68	Южные	0,200	1349,158
	69			0,410
	70	Всего рельсов в пути	1526,316	7734,406
	71	Всего рельсов в пути	1628,274	8251,064
	72	%	1,914	9,698
	73	По статистическим данным, км		
	74	Расхождение		
	75	Построено с 1838 г., км		

Продолжение таблицы Б-1

1									
2									
3	8,32	№ 17	№5	Герм.	Америк.	Разные	Всего		
4		? 24 1/2		25-30			Сумма	Архив	
5							3350,247	3350,236	вёртсы
6							2131,500		мм
7							3776,836		вёртсы
8							4029,055		км
9							772,500		мм
10							3595,860		вёртсы
11							3835,993		км
12							757,000		мм
13							1454,568		вёртсы
14							1551,705		км
15	33,500						2783,970	2783,97	км
16	31,403						2609,693	2609,693	вёртсы
17				4,140			4149,611	4149,611	вёртсы
18									
19						51,500	1368,500		мм
20						90,392	2401,969		вёртсы
21						96,428	2562,374		км
22						148,000	1252,832		мм
23						265,127	2244,325		вёртсы
24						282,833	2394,202		км
25							447,000		вёртсы
26						14,000	1199,500		мм
27						22,272	1908,270		вёртсы
28						23,760	2035,705		км
29							851,500		мм
30							3446,756		вёртсы
31							3676,932		км
32							3886,600	3936,6	вёртсы
33						2,382	4698,828	4698,855	вёртсы
34							2549,651	2549,651	вёртсы
35							100,000		%
36							1389,900		мм
37							100,000		%
38							2305,553		
39							2459,519		
40							3363,390	3363,39	вёртсы
41							37,970	37,97	вёртсы
42							2661,790	2661,79	вёртсы
43							4495,310	4495,31	вёртсы
44							100,000		%
45							2480,000		мм
46							100,000		%
47									
48									
49							3251,340	3251,33	км
50							3047,806	3047,797	вёртсы
51							1388,570	1388,57	вёртсы
52							100,000		%
53		68,000	78,000				2923,000	2923	вёртсы
54		2,326	2,668				100,000		%
55							3708,543	3708,543	вёртсы
56							100,000		%
57						11,950	2494,100	2494,1	км
58						11,202	2337,969	2337,969	вёртсы
59						0,479	100,000		%
60							522,000		мм
61						0,479	100,000		%
62						11,37731754	2375,584		
63						12,1371	2534,226		
64						0,984584456	0,984166182		
65							3899,918	3899,917	вёртсы
66							4160,431	4160,431	км
67	170,800						5555,220	5555,22	вёртсы
68							3957,770	3957,77	вёртсы
69									
70	202,203	68,000	78,000	4,140		11,202	380,174	80203,023	вёртсы
71	215,710	72,542	83,210	4,417		11,950	405,569	85083,725	км
72	0,254	0,085	0,098	0,005		0,014	0,477	100,000	%
73							75711,500		
74							88,985	11,0152975	11,69708199
							112,379	12,37886647	
75							86574,725		

Продолжение таблицы Б-1

1						
2						
3						
4	Формат					
5						
6	A4	Херсон	Апостолово	82	мм	
7	1,771914634			145,297		
8	1,890243902			155	км	
9	A4	Иркутск	Чита	204	мм	
10	4,654834314			949,5862		
11	4,965686275			1013	км	
12	A4	Тифлис	Баку	261	мм	
13	1,921490421			501,509		
14	2,049808429			535	км	
15						
16						
17						
18						
19	A4	Киев	Воронеж	384	мм	
20	1,755183854			673,9906		
21	1,872395833			719	км	
22	A4	Москва	Курск	281	мм	
23	1,791401423			503,384		
24	1,911032028			537,000	км	
25						
26	A4	Москва	Ленинград	383	мм	
27	1,590887728			609,31		
28	1,697127937			650	км	
29	A4	Челябинск	Новосибирск	330	мм	
30	4,047863636			1335,795		
31	4,318181818			1425	км	
32						
33						
34		1% =	25,49651			
35						
36		Уфа	Челябинск	230	мм	
37		1% =	13,899			
38	1,658790435			381,5218		
39	1,769565217			407		
40						
41						
42						
43		1% =	44,9531			
44						
45		Батайск	Торговая	89	мм	* III включен в измерение (IIIa)
46		1% =	24,8			
47				163,55	верст	
48					км	
49						
50						
51						
52		1% =	13,8857			
53						
54		1% =	29,23			
55						
56		1% =	37,08543			
57						
58						
59		1% =	23,3796934			
60		Хабаровск	Сковородиново	250	мм	
61		1% =	5,22			
62	4,550927016			1137,731754	верст	
63	4,85484			1213,71	км	
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72	1% =	850,8372549				
73						
74						
75						

ПРИЛОЖЕНИЕ В (СПРАВОЧНОЕ)

ОТВЕТЫ ПРЕДСЕДАТЕЛЮ РЕЛЬСОВОЙ КОМИССИИ

Таблица В-1 – Ответы председателю рельсовой комиссии

Вопрос / Завод	1	Нижне-Салдинский
Какой обработке подвергаются болванки	2	Обжимаются 6, 10 или 12 (в зависимости от размера) пропускками через ручки обжимного стана, с поворотом на 90° вокруг оси, при переходе из ручья в ручей
Продолжительность нагрева болванки перед прокаткой, или продолжительность охлаждения болванки; если прокатка совершается не дожидается полного её охлаждения, то при каких условиях происходит охлаждение отлитой болванки до температуры при которой начинается прокатка	3	В старой прокатной 1 нагрев: в печи Бозециуса - горячие болванки 40 мин, холодные 1,5-2 ч; 2 нагрев: в печи Сименса 20-30 мин В новой прокатной горячие болванки 45 мин-1 ч, холодные до 3 ч
Продолжительность прокатки	4	В старой прокатной: обжим слитков 1,5 мин заварочный и отделочный валки - 2,5 мин В новой прокатной: обжим слитков 1-1,75 мин заварочный и отделочный валки - 1-2,5 мин
Размеры прокатываемой болванки	5	В старой прокатной 9**9"(узкий конец) 10,5**10,5"(широкий конец) вес 18-26 пудов В новой прокатной для рельса 24 фунта одинарные 10,5**10,5"(широкий конец) вес 18-26 пудов двойные 13,5**13,5"(широкий конец) тройные 14,5**14,5" и 16**16"(широкий конец) вес 18-26 пудов
Как охлаждаются прокатанные рельсы	6	Помещенные на стелюги рельсы в течении 1 1/4 - 1 3/4 часа охлаждаются до температуры окружающего воздуха
Тип и сила прокатных станов	7	обжимные и рельсопрокатные станы
Какой металл идет для отливки болванок и, если мартеновский, то основной или кислый	8	Рельсы изготавливаются из бессемеровского металла, выплавляемого в кислой футеровке в конверторах 4 тонны вместимостью
Принимаются ли какие-нибудь меры против пузыристости стали при отливке болванок и, если принимаются, то какие именно меры	9	Завод при разливке стали в чугунные изложницы делает в последние присадку алюминия в количестве 1 золот. на 1 пуд стали

Продолжение таблицы В-1

1	Донецкий
2	Болванки не подвергаются никакой обработке
3	После отливки болванок из конверторов приблизительно через 3 четверти часа горячие болванки доставляют в рельсо-прокатную отдельными плавками. Здесь болванки распределяются на 2 нагревательные печи, где прибывают от 2х с половиной до 3х часов. Каждая печь вмещает 15 болванок, которые во время нагревания кантуются на четверть оборота и таким образом, что каждый квадрат болванки подвергается действию сильного жара около 4х раз. Перед выпуском из печи болванку кантуют несколько раз чем достигают более равномерный нагрев. В тех случаях когда болванки берут из запаса (со склада) холодными - то их нагревают в вертикальных печах системы сименса до тёмно красного каления, после чего эти болванки поступают в нагревательные печи.
4	от 4 до 5 минут для болванки весом 110 пуд.
5	Для типа 22 1/2 ф. в п.ф. - вес 1850 кг 24, 24 1/2, 23 1/3 ф. в п.ф.- 1650-1700 кг 28 2/3 ф. в п.ф. - 1500 кг Размеры болванок в среднем: внизу 430*430 мм, сверху 370*370 мм, высота 1400 мм
6	Особой системе охлаждения рельсы не подвергаются. После разрезки рельсов их оттаскивают в ручную на стелюге находящиеся там же. Отсюда рельсы грузят в вагоны по 40 штук и отправляют в рельсо-отделочную, где они располагаются на воздухе и ждут очереди для правки; - таким образом рельсы остаются на стелюгах в рельсо-отделочной около 2х с половиной часов и после рельсы остывают на воздухе и в правку поступают холодными.
7	Имеется 3 стана: обжимной, черновой и чистовой. Паровая машина реверсивная 3х цилиндровая системы Кувиэ около 4х тысяч сил при давлении 6 или 7 атмосфер.
8	Бессемеровский
9	Никаких особых мер завод не принимает.

Продолжение таблицы В-1

1	Мариупольский
2	Не подвергаются
3	Болванки сажаются в печь сейчас же, как только возможно взять их после отливки, так что в печи происходит нагревание поверхностного слоя и, в тоже время, охлаждение внутренности болванок, при таких условиях болванки остаются в печи от 40 мин. до 1 часа, после чего готовы к прокатке
4	От 4,5 до 5,5 минут, в зависимости от количества пара в котлах
5	Каждая болванка весом 110-115 пудов, сечением 400*400 мм
6	Рельсы охлаждаются прямо на стелюгах, в мастерской, сложенные в один ряд, кроме того при последних проходах в стане рельсы отчасти охлаждаются водой, обильно поливающей валки
7	Крупно-сортовый стан. Рельсы катаются в трех клетях, длина валков 2200 мм, диаметр 750 мм
8	Томасовский, т.е. из основных конверторов, футерованных доломитом

Продолжение таблицы В-1

1	Ответ Инженера на Уральских заводах
2	Болванки вышедшие из нагревательной печи предварительно обжимаются 6 10 или 12 пропусками через ручки обжимного стана. Затем они переходят в заварочные ручки рельсопрокатного стана без обрезки концов и второго нагрева. Болванки рассчитанные на 2йную длину рельсы пропускаются через 1й ручей обжимного стана 2 раза. Через 2й ручей 3 раза, через 2 раза, через 4й 2 раза и через 5й 1н раз, с проворачиванием болванки на 90град. вокруг её оси при переходе из одного ручья в последующий, а во втором ручье также после 1го пропуска. Одинарные болванки обжимаются в тех же валиках и с сохранением тех же манипуляций при работе, что и при 2ных болванках, разница только в том, что их обжим начинается не с первого ручья, а со второго в котором болванка пропускается 1н раз, после чего поворачивается на 90град. и переходит в 3й ручей. Таким образом число пропусков при обжиме одинарных болванок 6. Тройные болванки пропускаются через ручки обжимного стана 12 раз с поворачиванием их на 90град. При переходе из 1го ручья в другой, а в четвёртый ручей после первого пропуска. Болванки вышедшие из нагрева подаются в обжимной стан узким концом вперёд. В нагревательной печи болванки находятся в стоячем положении.
3	Если прокатка совершается, не дожидаясь полного охлаждения, то при таких условиях, происходит охлаждение отливной болванки до температуры, при которой начинается прокатка.
4	Продолжительность обжима одинарных болванок около 1й минуты, двойных 1,20мин. и тройных 1,45мин. Продолжительность прокатки одинарных болванок 1-1,15мин. Двойных 1,15-1,20мин. Тройных 2,20-2,30мин. Передача болванки из обжимного стана в рельсопрокатной продолжаются 10-15сек.
5	Болванки, рассчитанные на одинарную длину рельсы имели сечение 10,5 X 10,5. Двойные 13,5 X 13,5. Тройные 14,5 X 14,5 и 16 X 16. Узкий конец болванок имеет сечение меньше на 1,5 в стороне квадрата чем широкий конец. Вес болванок типа 24 ф. в п.ф. и для длинны рельса 35: - одинарные болванки 25-26пуд. 2ной 49-50пуд. и 3й 71-72пуд.
6	Рельсы вышедшие из прокатки подаются при помощи рольганга на пилу, от которой после резки их на части оттаскиваются крюками на рельсовые стелюги уложенные на земляном полу закрытого помещения прокатной фабрики. При прокатки рельсов 2ной и 3ной длины 1й рельс отрезанный от полосы имеет при помещении его на стелюги температуру тёмно-красного каления 2й и 3й рельс оттаскиваются на стелюги уже при температуре тёмного каления. Между выходом рельсы из прокатки и помещением его на стелюги проходит 1,5-4мин. зависимо от длинны выкатанной из болванки полосы разрезаемой на отдельные рельсы. Помещённые на стелюги рельсы в течении 1,15часа - 1,45 охлаждаются до температуры окружающего воздуха. Первый прогиб рельса при охлаждении его заканчивается за 10-15 мин. после выхода рельса из прокатки, так как температура в помещении прокатной фабрики почти ровняется температуре на воздухе, то зимой охлаждение рельсов происходит быстрее чем в тёплые месяца.
7	Отжимные и рельсопрокатные станы- двухвалковые (реверсивные) в обжимном стане для изменения расстояния между валками служит 5 сильный мотор переменного тока опускающий и поднимающий верхние валы. Двигатель при рельсопрокатном и обжимном стане служит паровая горизонтальная 3х цилиндровая реверсивная 6,600 сильная машина с холодильником фирмы Ргардт и Земер с простым парорасширением и круглыми золотниками.
8	Рельсы изготавливаются из Бессемеровского металла, выплавляемого в кислой футеровке в конверторах вместительностью 4 тоны.
9	Для получения беспузыристых слитков завод при разливки стали в чугунной изложницы делает в последнюю присадку алюминия в количестве 1золот. На 1пуд стали.

Продолжение таблицы В-1

1	Новороссийский
2	Перед прокаткой болванка никакой особой обработке не подвергается.
3	Перед прокаткой холодная болванка подвергается нагреву в течении 3х часов в вертикальных колодцах отливаемых генераторным газом и прокатывается без вторичного подогрева за 1н раз. Бессемеровская болванка обычно не допускается до полного остывания, Бессемеровские либо Мартеновские болванки поступая в нагревательную печь вскоре после отливки и снятия с них изложниц остаются в нагревательных печах от 20мин до 30мин. Прокатка отливной болванки- не остывшей без подогрева не практикуется.
4	Болванка в 17кв. Обжимается в блюминге до 7кв., затем проходит 4 ручья в черновом стане и 5 в чистовом за раз выкатывается 5 рельсов в течении 4х минут, что на 1н рельс составит около 48,5сек.
5	Размер изложницы для Бессемеровской болванки 14 X 17 X 59, Мартеновской 13 X 15 X 64.
6	После разрезывания на пиле рельсы поступают на стелюги расположенные в закрытом помещении перемещение рельс по стелюге совершается механически. При перемещении рельсы, кривой определённого для каждого типа радиуса при остывании.
7	Прокатные станы реверсивные; блюминг обслуживается машиной в 3тыс лошадиных сил, черновой и чистовой станы - одной машиной в 5тыс. Л.с.
8	Рельсы изготавливаются из Мартиновского металла на кислом поду и из Бессемеровского.
9	При отливки стали в изложницы при мартеновских печах употребляется сифонная отливка, при Бессемеровских конвекторах отливка сверху. В обоих случаях для уменьшения пузыристости в болванки перед отливкой в ковш вливается определённое кол-во расплавленного Ферромангана.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (СПРАВОЧНОЕ)

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ



Открытое Акционерное Общество „СНАГА-Р” - „СНАНА-Р”

123557, г. Москва, Пресненский вал, дом 14, офис 922 тел/факс 253-22-70, 253-16-88

ПАТЕНТОВАЛАДЕЛЕЦ ТЕХНОЛОГИИ АЛЮМИНОТЕРМИТНОЙ СВАРКИ
РЕЛЬСОВ

Исх. № _____
от «__» _____ 2004г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о разработке прототипа пропано-кислородной горелки и изготовлении ее опытного образца.

Компанией «Снага» взят курс на выпуск всего оборудования и оснастки для алюминотермитной сварки на предприятиях России. Для производства горелок потребовалась разработка комплекта конструкторско-технологической документации. В разработке документации принимала участие Трынкова О.Н.. Она провела поверочный расчет инжектора, сопел мундштука горелки и некоторых элементов наконечника, предложено использовать корпус стандартной отечественной газовой горелки ГЗУ-4, а также изготовлен комплект чертежей, выполненных на компьютере. Комплект чертежей включает сборочный чертеж горелки и рабочие чертежи деталей входящих в ее состав.

По чертежам изготовлен опытный образец, проведена его доработка. В настоящее время проходят эксплуатационные испытания, которые показывают хорошие результаты.

Генеральный директор
ООО «Снага-Р»



В.И. Коненков

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (СПРАВОЧНОЕ)

ТЕХНОЛОГИЯ АЛЮМИНОТЕРМИТНОЙ СВАРКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕЁ

Для выполнения алюминотермитной сварки используется специальное оборудование: тигель, форма, шлакосборник, горелка, специальные стойки для тигля и горелки, комбинированная стойка, гидроагрегат, гидравлические ножницы, шлифовальная установка, рельсорубочная машина и др.

Перед выездом на сварочные работы необходимо осмотреть тигель для плавильного процесса, убедиться в отсутствии трещин, сколов и других дефектов. Исправный тигель надо вставить в обечайку, уплотнить места контакта с обечайкой формовочной смесью и просушить при температуре не менее 25...30 °С в течение 24 часов. Для сокращения времени просушки рекомендуется перед доставкой тигля на рабочее место просушить его при температуре 50...70 °С не менее 12...16 часов в сушильной камере или термостате.

Перед сваркой рельсошпальная решётка расшивается на три шпалы в каждую сторону от свариваемого стыка. Концы рельсов обжигают сварочной горелкой и зачищают (проволочной ручной или механической щёткой) на длине не менее 150 мм. После этого рельсы выравнивают по рабочему канту и поверхности катания так, чтобы между торцами рельсов образовался зазор 25 ± 1 мм [53, 54, 197].

С помощью клиньев, поднимают концы рельсов в стыке. Подъём необходим для компенсации остаточного прогиба стыка рельсов, вызываемого усадкой металла при охлаждении. Специальным шаблоном контролируется величина подъёма концов рельсов и их соосность между собой.

Затем на рельсы устанавливается и закрепляется комбинированная стойка, с помощью которой позиционируется горелка и тигель, необходимые для проведения алюминотермитной сварки рельсов. Комбинированная стойка устанавливается на головку рельса таким образом, чтобы держатели частей литейной формы находились сбоку по оси свариваемого зазора (рисунок Д–1). Комбинированная

стойка удерживает форму в нужном положении, причём каждая полуформа устанавливается и фиксируется индивидуально.

На свариваемом стыке устанавливают литейную форму, состоящую из двух полуформ, изготавливаемых на заводе в качестве расходных материалов. Боковые стороны полуформ имеют вырезы, соответствующие профилю свариваемых рельсов. Обе полуформы очищают от упаковки, визуально проверяют целостность их функциональных частей и вкладывают их в металлические рамки, соблюдая соответствие правой и левой стороны.

Полуформы фиксируются относительно стыкового зазора так, чтобы центр зазора совпал с вертикальной осью литейной формы, а сами полуформы прилегали друг к другу без ступенек по всему периметру стыковки (рисунок Д-2).

Форма служит для приёма из тигля расплавленного термитного металла. Для предотвращения его вытекания места контакта литейной формы с рельсами уплотняются формовочной смесью.

Качество термитной сварки в равной степени зависит как от качества термита, так и от качества огнеупоров, из которых изготовлены сварочные формы, тигли, стаканы и штепсели. Поэтому применяемые для форм и тиглей огнеупоры должны строго контролироваться. Внутри формы образован определённый свободный объём, определяющий очертания и конструктивные размеры металлического облива стыка (усиление сварного шва), а также два вертикально расположенных канала для литников и углублений для части шлака (см. рисунок 56). В средней части полуформы имеется отверстие для дутья горелки при нагреве концов рельсов. В верхней части одной из полуформ устроен жёлоб для слива излишнего шлака в шлакосборник, внутренняя поверхность которого

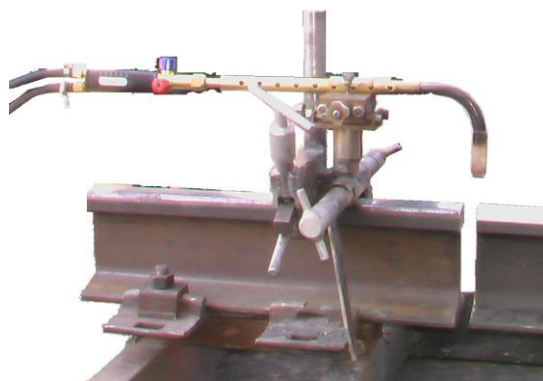


Рисунок Д-1 – Комбинированная стойка с опытным образцом горелки



Рисунок Д-2 – Форма в сборе на стыке рельсов с фиксацией полуформ комбинированной стойкой

обмазывается формовочной смесью. В нижней части обеих полуформ против подошвы делают по два отверстия для выхода газов.

Шлакоборник (рисунок Д–3) устанавливается на одной из полуформ после закрепления рельсосварочной формы на свариваемом стыке.

Шлакоборник предназначен для сбора вытекающего из тигля за металлом шлака, который стекает по жёлобу в ковш, оставляя над металлом лишь слой небольшой толщины.

Сжигание термитной смеси осуществляется в тиглях. Тигель представляет собой кожух с футеровкой внутри (рисунок Д–4). Футеровка состоит из смеси магнезитового песка и шамотной глины или из магнезитового песка, разведённой на газовой смоле (пеке). Сверху кожух опоясан кольцом из стали. В дно тигля заподлицо с футеровкой заделан стакан, изготовленный из смеси мелкого магнезитового песка с шамотной глиной путём сильного прессования и обжига. В тигельный стакан вставляется сменный прессованный магнезитовый штепсель. Тигель перед началом сварки необходимо просушить.

Засыпание тиглей термитной смесью (рисунок Д–5) производится на специальной стойке. Перед началом подогрева тигель с термитной смесью устанавливается на комбинированную стойку, после чего проводится регулировка пламени многопламенной горелки до нормального горения. После этого газовую горелку устанавливают на комбинированную стойку и начинают подогрев торцов рельсов в стыке (рисунок Д–6).

Перед заливкой формы расплавленным металлом торцы рельсов в стыке предварительно



Рисунок Д–3 – Шлакоборник, установленный на одной из полуформ



Рисунок Д–4 – Тигель для сжигания термитной смеси



Рисунок Д–5 – Тигель с засыпанной термитной смесью и со спичкой

разогревается до температуры 1200–1250°C. Время прогрева занимает от 7 до 9 минут и зависит от температуры окружающей среды и мощности газового пламени.

Операция предварительного подогрева при алюминотермитной сварке рельсов является практически единственной, с помощью которой в процессе сварки можно оказывать влияние на структуру получаемого металла в шве и околошовной зоне. Кроме того, неравномерный нагрев обоих торцов рельсов может привести к перегреву или к недостаточному нагреву одного из них, что приводит к возникновению дефектов и, следовательно, определяет качество сварного соединения при алюминотермитной сварке рельсов. Этому вопросу посвящён ряд работ, в которых принимала участие и автор [232, 233, 69].

Численными экспериментами установлено [232, 233, 69, 234], что при недостаточном подогреве или низкой температуре окружающей среды температура торцов рельсов может опуститься ниже предельного значения, при этом тепла расплавленного термитного металла, выпускаемого встык, не хватает на расплавление торцов рельсов. В связи с этим технологическая операция, связанная с предварительным подогревом, является единственной, которой можно влиять на первичную структуру и свойства сварного шва рельсов при алюминотермитной сварке рельсов. Поэтому к оборудованию для подогрева предъявляются достаточно высокие требования.

Для начала термитной реакции используют термитную спичку, которую вставляют в литейный компонент, находящийся в тигле, и накрывают тигель конической крышкой с отверстием для выпуска газов. Процесс плавления термитной смеси и выпуск расплавленного металла в литейную форму происходит автоматически через 25–28 с после начала термитной реакции. К этому времени подогретые концы рельсов успевают остыть до 850–900 °С, что соответствует температуре предварительного подогрева указанной в нормативных документах [197].



Рисунок Д-6 – Предварительный подогрев торцов рельсов в стыке

Демонтаж комбинированной стойки и литейной формы проводят после кристаллизации металла сварного шва, который, в зависимости от массы порции литейного компонента, длится 3,0–3,5 мин. (для рельсов Р65).

После этого проводится очистка головки рельса от песка металлической щёткой и с помощью гидравлического обрезного станка в горячем пластическом состоянии удаляется прибыльная часть сварного шва на головке рельса, после чего рабочая часть головки подвергается шлифованию в два этапа. Вначале проводится предварительное шлифование остатков прибыльной части до высоты приблизительно 1-1,5 мм над верхом головки рельса. Чистовую шлифовку головки рельса в зоне стыка выполняют шлифовальным станком до высоты не менее 0,3 мм после полного остывания сварного шва. Поверхность головки рельса после шлифовки не должна иметь следов «поджога». Перед чистовой шлифовкой выполняют крепление рельса к шпалам в зоне сварного шва [197].