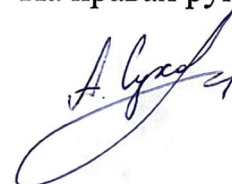


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
РУТ(МИИТ)

На правах рукописи



Сухов Андрей Александрович

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ
РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

2.9.4. – Управление процессами перевозок (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

Бородин Андрей Федорович

доктор технических наук,

профессор

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	12
1.1. Анализ результатов деятельности восстановительных поездов.....	12
1.2. Анализ фактического размещения восстановительных поездов на сети железных дорог России и мест возникновения транспортных происшествий.....	17
1.3. Анализ литературы по исследуемой проблеме	22
1.4. Постановка задачи и структура исследования.....	29
1.5. Выводы по главе 1	33
2. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И УСТРАНЕНИИ БАРЬЕРНЫХ МЕСТ	34
2.1. Принципиальная модель направления с образованием барьерных мест	34
2.2. Возникновение барьерных мест и развитие эксплуатационных затруднений	38
2.3. Влияние регулировочных мер дежурно-диспетчерского персонала на поездную ситуацию	63
2.4. Выводы по главе 2.....	69
3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ	71
3.1. Формулирование составляющих алгоритма выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов	71
3.2. Расчет дополнительных затрат в грузовом движении после возникновения транспортного происшествия	80
3.3. Расчет дополнительных затрат в пассажирском и пригородном движении после возникновения транспортного происшествия.....	85
3.4. Выводы по главе 3.....	88
4. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ	90
4.1. Применение алгоритма на экспериментальных полигонах	90
4.2. Применение алгоритма на полигонах железных дорог	113

4.3. Практическое применение и возможность дальнейшей реализации результатов исследования в работе структурных подразделений ОАО «РЖД» и научной деятельности	123
4.4. Выводы по главе 4	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
Приложение А	142
Приложение Б	149
Приложение В.....	159
Приложение Г	184

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. К восстановительным поездам (ВП) относятся специальные формирования, предназначенные для ликвидации последствий сходов с рельсов подвижного состава, а также оказания помощи в пределах своих технических возможностей при ликвидации последствий происшествий природного и техногенного характера [1]. Они являются важнейшим элементом системы обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте.

Схема расположения восстановительных средств на сети является, в основном, результатом исторического развития железных дорог. Восстановительные поезда, как правило, размещались в крупных железнодорожных узлах, в которых находились резервы тяговых ресурсов. Кроме того, требовалось достаточное путевое развитие и техническое оснащение станций, которое позволяло как можно быстрее собрать и отправить восстановительный поезд к месту выполнения работ по ликвидации последствий транспортного происшествия.

Любое транспортное происшествие приводит к образованию барьерного места и снижению пропускной способности участка, что существенно осложняет эксплуатационную работу. Под барьерным местом в диссертационном исследовании понимается элемент инфраструктуры, технические возможности которого существенно снижены в результате транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций.

Особенностью транспортного происшествия является то, что место и время его возникновения заранее неизвестны. В ряде случаев причиной возникновения транспортного происшествия может быть человеческий фактор, погодные условия и техническое состояние элементов транспортной инфраструктуры и подвижного состава, характер влияния которых в определенное время невозможно предугадать.

При возникновении чрезвычайной ситуации или транспортного происшествия большое значение имеет срок, в течение которого будут устранены его последствия. Особенно это важно на линиях первого и второго классов [2], где

необходимо обеспечить восстановление наличной пропускной способности в кратчайшие сроки. Любые перерывы в движении чреваты задержками как пассажирских дальних и пригородных, так и грузовых поездов различных категорий, что приводит к потенциальным убыткам.

Очевидно, что последствия транспортного происшествия должны быть ликвидированы в кратчайший срок для скорейшей нормализации эксплуатационной работы. Технологическое время выполнения восстановительных работ определяется установленными нормативами, а время их начала и окончания зависит от времени доставки восстановительного поезда к месту выполнения работ [80]. Необходимо разработать схему размещения восстановительных поездов, обеспечивающую минимальное время на ликвидацию последствий транспортных происшествий, и чтобы при этом она была экономически обоснованной и эффективной.

Степень разработанности темы исследования. Научной основой диссертационного исследования являются труды в области эксплуатации железнодорожного транспорта, в том числе:

в области функционирования железнодорожного транспорта в условиях чрезвычайных ситуаций, разработки систем и способов повышения безопасности транспорта – В.М. Пономарева, Б.Н. Рахманова, А.И. Шевченко, А.Н. Цурикова, Н.К. Домницкого, А.Н. Гуды, О.И. Веревкиной [41, 42, 60, 61, 62];

в области диспетчерского управления при эксплуатационных затруднениях – Г.М. Грошева, В.А. Кудрявцева, А.К. Угрюмова, А.Д. Чернюгова, И.И. Зубкова, Г.А. Платонова, А.П. Романова [76, 85];

в области прогнозирования поездной ситуации и регулировочных мер, предпринимаемыми дежурно-диспетчерским – В.С. Климанова, Б.Д. Никифорова, Е.М. Тишкина, В.М. Макарова, П.О. Новикова, П.С. Холодняка [4 - 6, 37, 46, 76];

в области влияния избыточного вагонного парка на работу участков – А.Ф. Бородина, Е.А. Сотникова, Р.Ф. Сайбаталова [6, 7, 47];

в области надежности технических средств и инфраструктурных элементов – П.С. Грунтова, В.И. Некрашевича, А.Т. Осьминина, М.А. Осьминина, Е.А.

Сотникова, Е.Н. Тимухиной, А.П. Бадецкого, Э.В. Бакумова, Н.Е. Окулова, Э.Ю. Тимохина, А.Д. Чернюгова, Б.Д. Воскресенского, Т.Н. Родькиной, Ю.Н. Рудаковой. [8 – 11, 35, 36, 44, 63 – 66].

Областью диссертационного исследования являются планирование, организация и управление транспортными потоками; технология транспортных процессов.

Объектами диссертационного исследования является транспортная сеть, транспортные потоки.

Предмет диссертационного исследования – критерии и параметры размещения восстановительных поездов.

Целью диссертационного исследования является разработка научно-методических решений по обоснованию размещения восстановительных средств на сети железных дорог, а также выявление факторов, позволяющих разработать схему размещения восстановительных поездов, обеспечивающую ликвидацию последствий транспортных происшествий при снижении затрат времени и денежных средств.

Задачами диссертационного исследования являются:

анализ актуального состояния системы функционирования и размещения восстановительных средств на сети железных дорог ОАО «РЖД»;

создание математической модели, позволяющей провести исследование влияния транспортного происшествия на работу структурных подразделений железных дорог;

выявление рациональных параметров размещения восстановительных средств, на основе которых будет произведена актуализация схемы.

Научная новизна исследования заключается в разработке нового научно обоснованного подхода к определению рациональных эксплуатационных параметров размещения восстановительных средств на сети железных дорог, базирующегося на прогнозировании динамики развития и устранения барьерных мест и обеспечивающего реализацию эффективных мер регулирования эксплуатационной работы при минимальных затратах, для чего:

разработана математическая модель системной динамики развития и устранения затруднений в эксплуатационной работе железных дорог при возникновении транспортных происшествий и ликвидации их последствий;

предложена методика расчета затрат, связанных с задержками единиц транспортного потока на полигоне возникновения транспортного происшествия на основе имитационного моделирования его работы;

обоснована формализованная постановка задачи эффективного размещения восстановительных средств железных дорог;

разработан алгоритм эвристического поиска решения задачи выбора эффективной схемы размещения восстановительных средств железных дорог на сетевой потоковой модели, предусматривающий последовательное увеличение количества восстановительных поездов с одновременным поэтапным уменьшением множества конкурентоспособных вариантов их размещения.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в возможности использования результатов в деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта. Имитационное моделирование процесса ликвидации последствий транспортного происшествия позволяет детально оценить его влияние на поездную ситуацию на железнодорожных линиях и направлениях. Предлагаемый в диссертационном исследовании алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных средств на основе установленных критериев размещения позволит минимизировать суммарные затраты, связанные с содержанием восстановительных средств, и потери, вызываемые перерывами в движении поездов в случаях возникновения транспортных происшествий.

Разработанный в диссертационной работе математический аппарат позволяет выполнить сравнительный анализ различных схем возможной дислокации восстановительных средств на сети железных дорог ОАО «РЖД» и научно обосновать выбор наиболее рациональной из них с определением заданных параметров оценки ее эффективности. Сформулированные в работе параметры организации работы аварийно-восстановительных средств на сети железных дорог

ОАО «РЖД» позволяют определить требуемое количество восстановительных поездов и установить места их дислокации, при которых будет получен наибольший эффект от уменьшения общего времени ликвидации последствий транспортных происшествий при минимальных затратах на содержание инфраструктуры и персонала восстановительных поездов.

Методы исследования. В диссертационной работе с использованием методов математического анализа, теории вероятностей и математической статистики выполнена обработка собранных статистических данных о результатах деятельности аварийно-восстановительных средств на сети российских железных дорог в различные периоды времени.

Анализ поездной ситуации на различных этапах ликвидации барьерных мест, динамики изменения количества единиц транспортного потока, а также определение затрат, вызываемых вынужденным простоем поездов различных категорий во время выполнения аварийно-восстановительных работ выполнен с использованием методов имитационного моделирования.

В основу алгоритма выбора эффективной схемы размещения восстановительных средств на направлениях железнодорожной сети заложены методы теории графов. В процессе апробации алгоритма на полигонах железных дорог использовались методы технико-экономического сопоставления вариантов.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

модель системной динамики развития поездной ситуации, включающая в себя четыре периода изменения эксплуатационной обстановки: с момента возникновения транспортного происшествия до момента прибытия восстановительного поезда; с момента прибытия восстановительного поезда и до момента частичного восстановления пропускной способности; с момента частичного восстановления пропускной способности до момента восстановления исходных инфраструктурных возможностей; с момента восстановления перевозочных мощностей до момента нормализации поездной обстановки с учетом инерционности накопления единиц транспортного потока на путях станций;

технология имитационных расчетов по выбору эффективных способов организации движения при возникновении транспортных происшествий и в период производства восстановительных работ с учетом регулировочных мер, предпринимаемых управленческим персоналом в структурных подразделениях железных дорог;

структура и порядок вычисления натуральных и стоимостных показателей, инфраструктурных и ресурсных ограничений, учитываемых при оценке вариантов размещения восстановительных поездов и зон их обслуживания;

эвристический алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов на железнодорожных направлениях, обладающих различной инфраструктурной и технической оснащенностью, предусматривающий учет таких характеристик направления, как размеры движения поездов различных категорий, протяженность участков.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования реализованы в научно-исследовательской работе «Актуализация схемы размещения восстановительных поездов с учетом специализации и классификации железнодорожных линий в соответствии с методикой, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 23 декабря 2015 г. №3048Р», по итогам которой было разработано распоряжение «Об утверждении мест дислокации восстановительных поездов на инфраструктуре ОАО «РЖД» №2631р от 18 декабря 2017 г.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов подтверждается использованием в экспериментальных расчетах проверяемых данных из информационных ресурсов ОАО «РЖД»; согласованностью научных положений с современным уровнем развития теории управления перевозочным процессом; использованием сравнения авторских данных и результатов с результатами, полученными ранее по рассматриваемой тематике; корректным применением выбранного математического аппарата.

Для повышения точности расчетов и получения достоверных результатов выполнена проверка основных рассчитанных параметров путем сопоставления с

данными, полученными в эксплуатационных условиях. В исследовании использованы методы построения сетевых потоковых моделей с включением в них параметров, полученных путем имитационного моделирования.

Апробация работы. Положения диссертации докладывались на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), а также на шести международных научно-практических конференциях:

11-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD' 2018), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 1–3 октября 2018 г.;

12-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD' 2019), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 1–3 октября 2019 г.;

Восьмой научно-практической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)», Россия, Москва, 21 ноября 2019 г.;

IX-й международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 26 – 27 ноября 2020 г.;

Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: синергия технологии перевозочного процесса», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 10-11 декабря 2020 г.;

Международной научно-практической конференции «Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 22-23 апреля 2021 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 11 печатных работах, в том числе: 2 статьи опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 2 статьи – в

периодических изданиях, индексируемых единой международной базой научных материалов Scopus.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [56, 57, 58, 74, 75, 78, 81] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [54, 77, 79, 80], подготовленных в соавторстве: динамика эксплуатационных затруднений с изменением перевозочной мощности, наличия единиц транспортных потоков и среднесуточных расходов, связанных с их организацией и продвижением [54, 79], применение понятия надежности перевозочного процесса в задаче размещения восстановительных поездов [80], причины и следствия инерционности накопления единиц транспортного потока на структурном подразделении железнодорожной сети после восстановления движения на направлении [77].

1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1. Анализ результатов деятельности восстановительных поездов

К основным показателям работы системы восстановительных средств относят количество выездов восстановительных поездов на места возникновения транспортных происшествий и количество поднятых единиц железнодорожного подвижного состава за год. Для выяснения характера влияния объемов работы сети ОАО «РЖД» на объемы работы восстановительных поездов были построены графики изменения основных показателей системы восстановительных поездов (количество выездов восстановительных поездов за год, количество единиц поднятого железнодорожного подвижного состава) и общего грузооборота сети железных дорог за период 2004 – 2019 гг., представленные на рисунке 1.1.

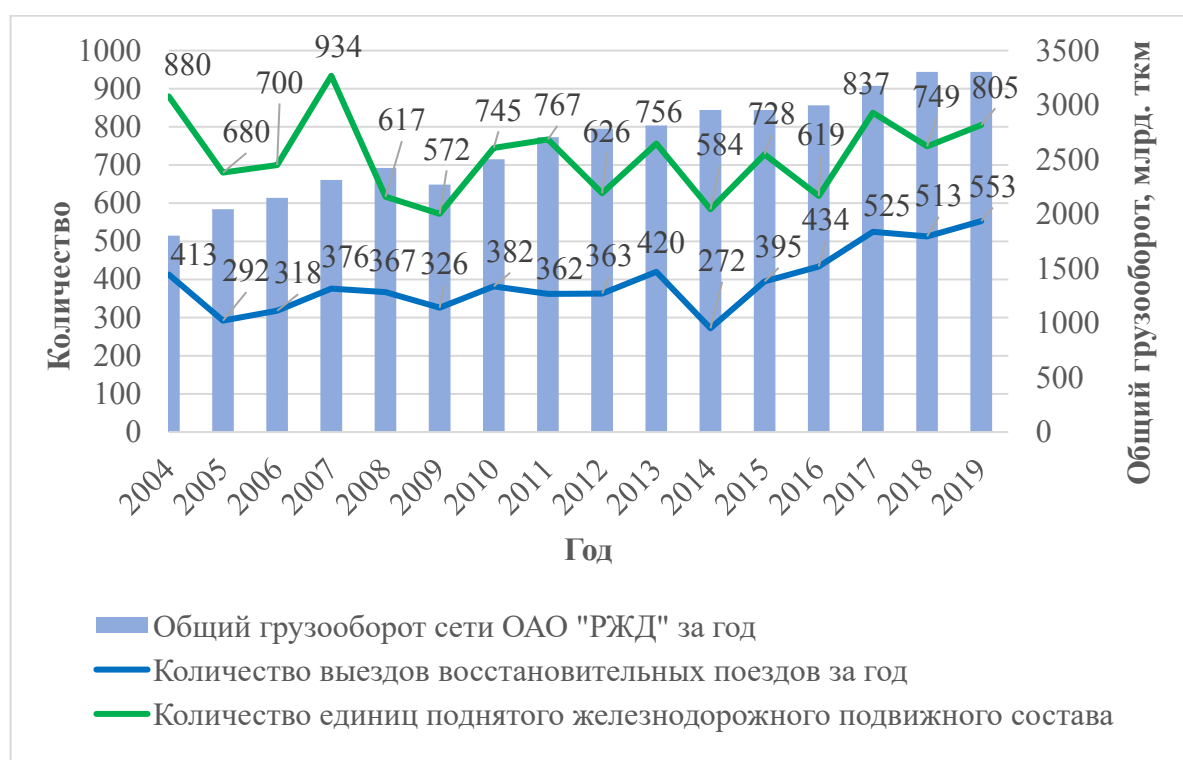


Рисунок 1.1 – Динамика основных показателей деятельности восстановительных поездов и общего грузооборота сети ОАО «РЖД» за период 2004 – 2019 гг.

На ряде участков поведение графика количества выездов восстановительных поездов за рассматриваемый период совпадает с поведением графика общего

грузооборота сети ОАО «РЖД», например, за период времени 2014 – 2019 гг. Однако поведение рассматриваемых графиков за более ранний период 2004 – 2013 гг. не свидетельствует о прямой взаимосвязи указанных показателей. Анализ построенных графиков также указывает, что график количества единиц поднятого подвижного состава меняется независимо от двух других графиков и не связан с ними.

При анализе результатов деятельности восстановительных поездов особое внимание уделяется выполнению таких показателей, как время отправления восстановительного поезда со станции его дислокации после получения оперативного приказа и средняя скорость продвижения восстановительного поезда до места выполнения аварийно-восстановительных работ, динамика значений которых за период 2004 – 2019 гг. представлена на рисунках 1.2 и 1.3 соответственно.

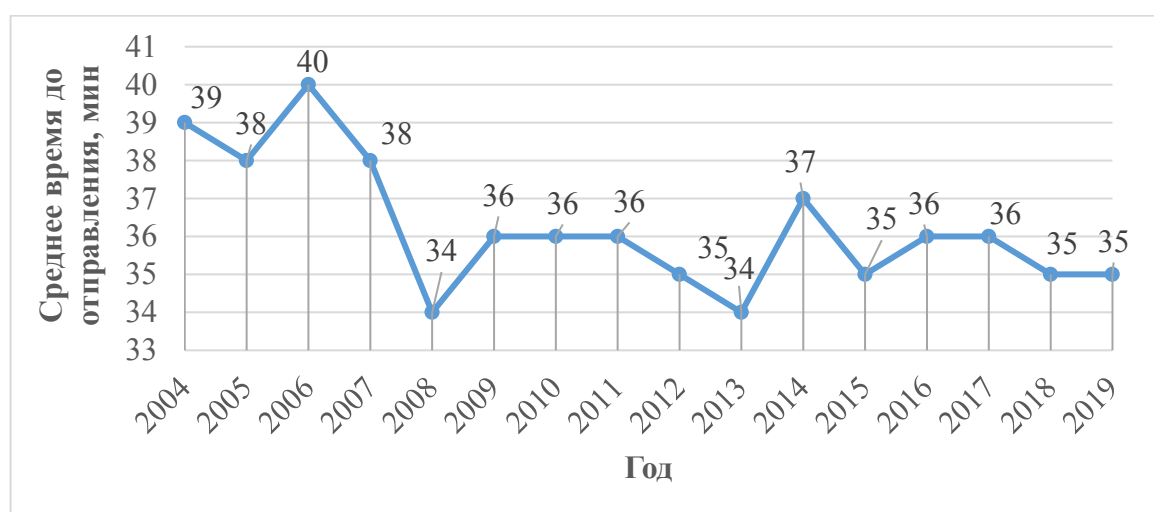


Рисунок 1.2 – Динамика изменения среднего времени отправления восстановительного поезда после получения оперативного приказа за период 2004 – 2019 гг.

Время отправления восстановительного поезда со станции дислокации после получения оперативного приказа поездного диспетчера не должно превышать 40 мин. [1]. Наибольшее значение этот показатель имел в 2006 г. (40 мин.), наименьшее в 2008 г. и 2013 г. (34 мин.). В 2019 г., как и в 2018 г., среднее значение

этого показателя по сети составляет 35 мин. Выполнение этого показателя зависит от следующих факторов:

своевременная подача поездного локомотива;

длительность выполняемых на станции дислокации восстановительного поезда операций, связанных непосредственно с подготовкой восстановительного поезда к отправлению;

согласованность действий дежурно-диспетчерского персонала и управленческого аппарата различных уровней.

В результате анализа было установлено, что в среднем за год норматив времени отправления ВП после получения оперативного приказа не нарушается.

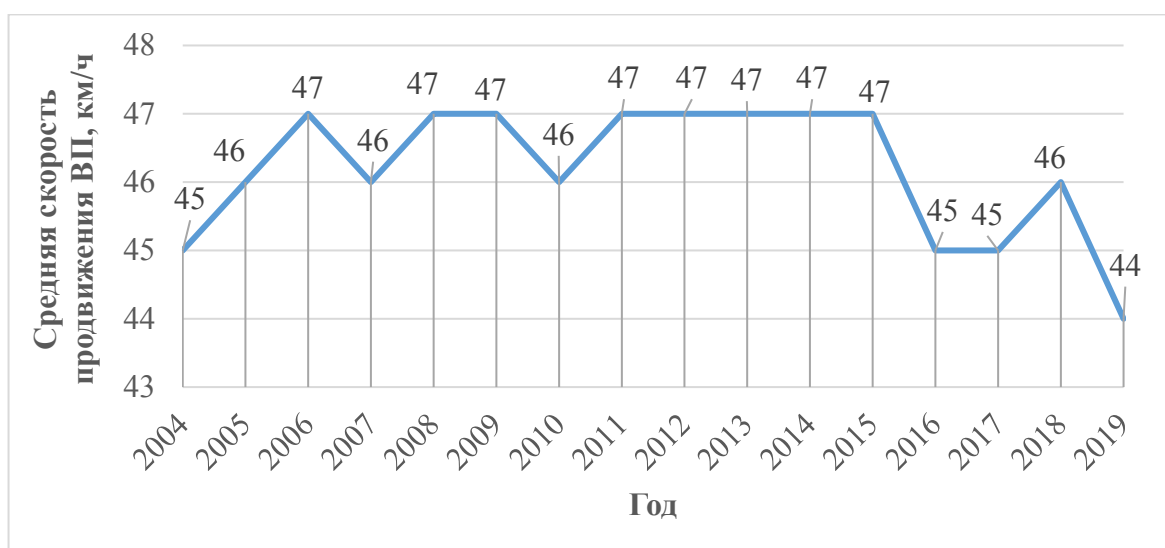


Рисунок 1.3 – Динамика изменения средней скорости продвижения восстановительного поезда за период 2004-2019 гг.

В отношении скорости доставки восстановительного поезда к месту проведения основным требованием является продвижение со средней скоростью не менее 40 км/ч. Минимальное значение этого показателя за рассматриваемый период приходится на 2019 г. (44 км/ч), что на 5% меньше аналогичного показателя в 2018 г.

Причинами, оказывающими негативное влияние на скорость доставки ВП к месту проведения аварийно-восстановительных работ, являются:

неправильное формирование состава восстановительного поезда (нарушение установленного порядка расстановки вагонов, входящих в состав восстановительного поезда; нарушение технологического процесса подготовки восстановительного поезда к отправлению);

ошибки в организации движения поездов личным составом (несоблюдение приоритетности пропуска восстановительного поезда по сравнению с другими поездами);

движение восстановительного поезда с ограничениями скорости по отдельным участкам пути следования согласно выданным предупреждениям;

невыполнение установленной скорости движения по участку (технические неисправности локомотивов).

Продолжительное отсутствие достоверных сведений о характере, конкретном месте возникновения и масштабах последствий транспортного происшествия также могут существенно повлиять на время доставки восстановительного поезда к месту выполнения аварийно-восстановительных работ.

В результате анализа динамики изменения средней скорости продвижения восстановительного поезда за период 2004-2019 гг. было установлено, что в среднем норматив выполнялся на всем протяжении рассматриваемого периода.

В процессе выполнения аварийно-восстановительных работ фиксируют время подъема одной единицы подвижного состава. Максимальное допустимое значение этого показателя, ограниченное нормативами дирекций аварийно-восстановительных средств, составляет 60 мин. Динамика изменения этого показателя за период 2004 - 2019 гг. представлена на рисунке 1.4.

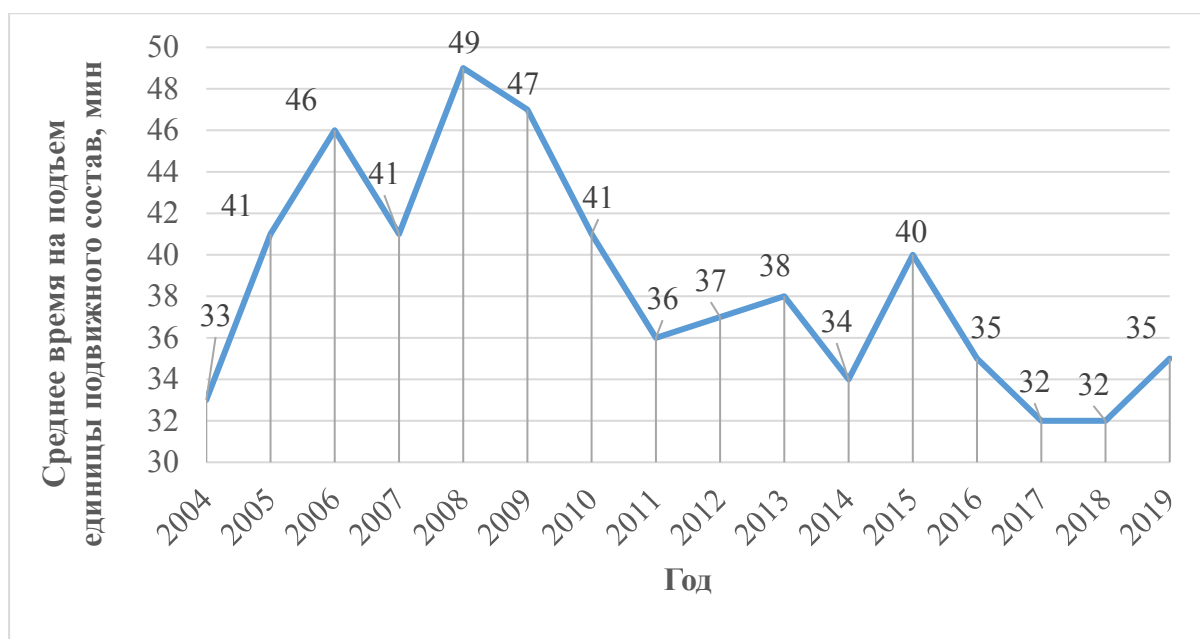


Рисунок 1.4 – Динамика изменения среднего времени подъема одной единицы подвижного состава за период 2004-2019 гг.

За рассматриваемый период показатель среднего времени подъема одной единицы подвижного состава значительно меньше установленного норматива (60 мин.).

Существенное внимание уделяется показателям финансовой эффективности системы восстановительных поездов, таким как эксплуатационные затраты и стоимость выполненных работ. Динамика изменения этих показателей за период 2004-2019 гг. представлена на рисунке 1.5.

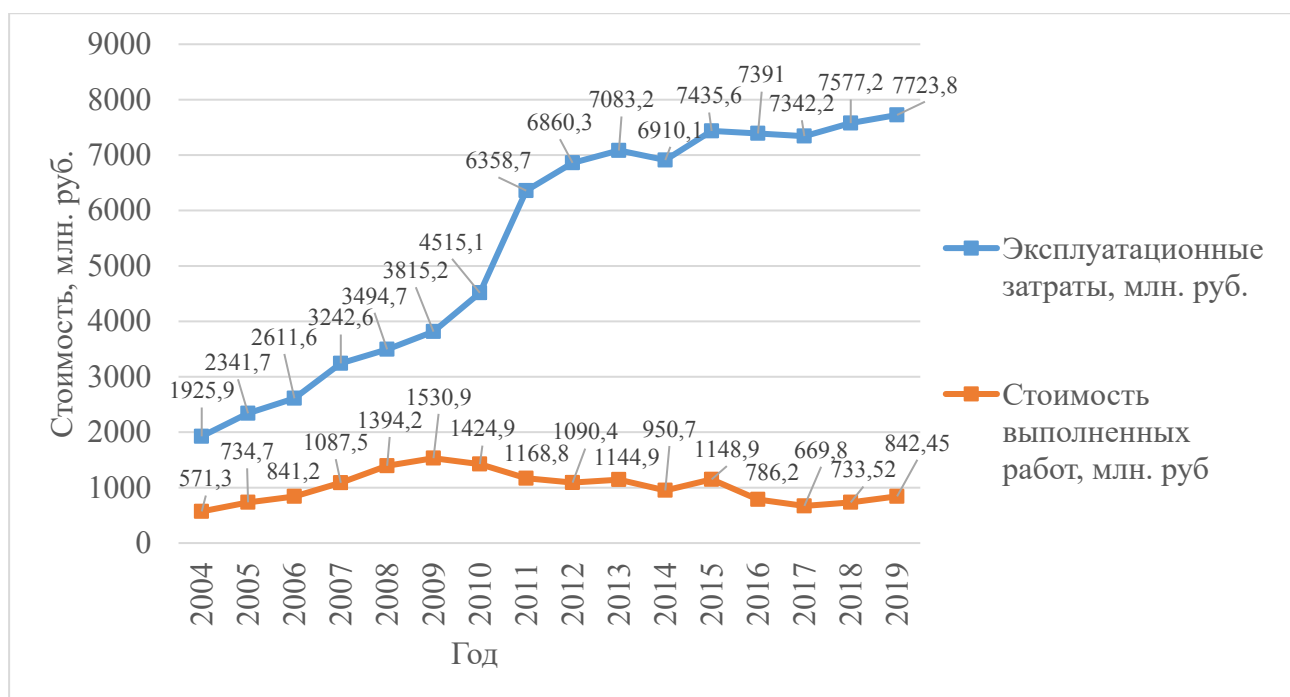


Рисунок 1.5 – Динамика изменения финансовых показателей восстановительных поездов за период 2004 – 2019 гг.

Величина эксплуатационных затрат в 2019 г. в сравнении с предыдущим годом изменилась незначительно, однако общая тенденция изменения графиков отличается: значения эксплуатационных затрат в 2019 г. по сравнению со значением 2010 г. увеличились на 71%, а стоимость выполненной восстановительными поездами работы уменьшилась на 41%. Основная доля эксплуатационных затрат приходится на техническое обслуживание и содержание оборудования восстановительных поездов, а также на заработную плату персонала.

1.2. Анализ фактического размещения восстановительных поездов на сети железных дорог России и мест возникновения транспортных происшествий

Согласно [1] восстановительные поезда должны находиться на расстоянии не более 200 км друг от друга. Распределение средних расстояний между восстановительными поездами на различных железных дорогах представлено на рисунке 1.6.

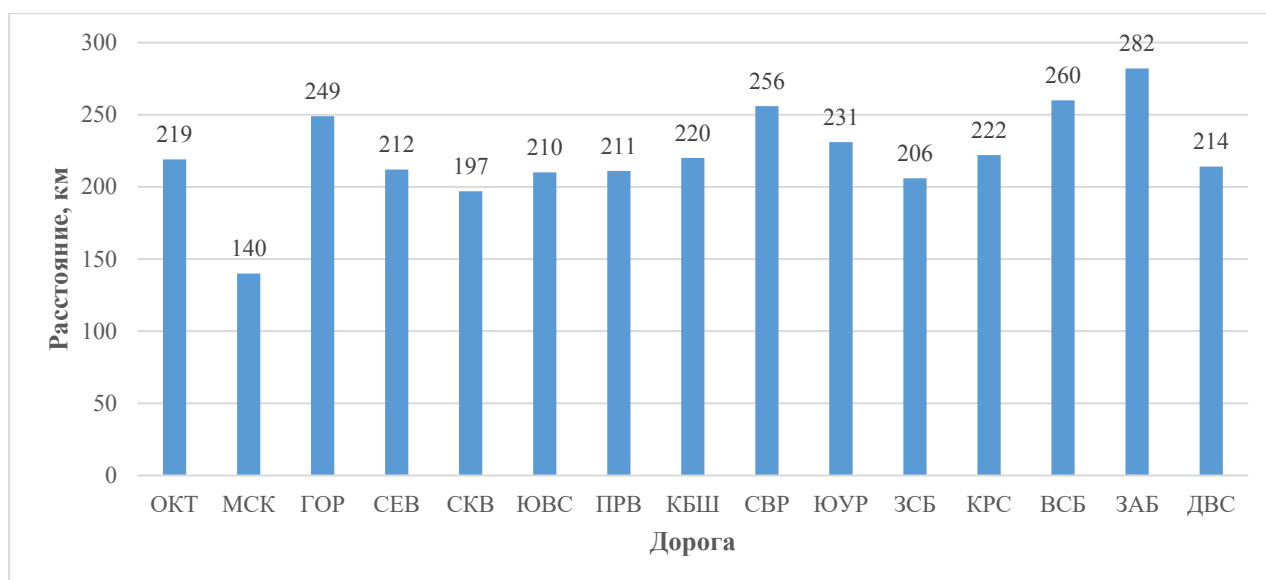


Рисунок 1.6 – Среднее расстояние между восстановительными поездами на железных дорогах (2019 г.)

На диаграмме представлены данные 15 железных дорог России из 16, за исключением Калининградской железной дороги (в пределах дороги расположен 1 восстановительный поезд).

Среднее расстояние между восстановительными поездами превышает максимально допустимое на Октябрьской (219 км), Горьковской (249 км), Северной (212 км), Юго-Восточной (210 км), Приволжской (211 км), Куйбышевской (220 км), Свердловской (256 км), Южно-Уральской (231 км), Красноярской (222 км), Забайкальской (282 км), Дальневосточной (214 км) и Восточно-Сибирской дорогах (282 км).

Согласно анализу деятельности восстановительных поездов ОАО «РЖД» среднее расстояние между восстановительными поездами на сети железных дорог России составляет 234 км.

Согласно [15] на сети железных дорог России по состоянию на начало 2017 г. располагался 221 восстановительный поезд. По состоянию на 2019 г. на сети располагалось 211 восстановительных поездов. Уменьшение количества поездов на железных дорогах приводит к увеличению зоны обслуживания железнодорожных путей общего пользования, что говорит об увеличении максимальной величины плеча обслуживания, увеличении срока доставки

восстановительного поезда к месту выполнения аварийно-восстановительных работ. Изменение количества восстановительных поездов и их зоны обслуживания представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Изменение количества восстановительных поездов и средней зоны обслуживания восстановительных поездов.

Железная дорога	Количество восстановительных поездов		Средняя длина зоны обслуживания 1 ВП, км		Эксплуатационная длина железной дороги на 2017 г., км
	2017 г.	2019 г.	2017 г.	2019 г.	
ОКТ	17	17	590,4	590,4	10037
МОСК	21	20	419,2	440,2	8804
ГОР	13	12	423,4	458,8	5505
СЕВ	17	17	350,4	350,4	5956
СКАВ	17	15	363,2	411,7	6175
ЮВОСТ	12	11	348,5	380,2	4182
ПРИВ	9	9	463,3	463,3	4170
КБШ	14	12	334,9	390,7	4688
СВЕРД	17	17	408,6	408,6	6946
ЮУР	9	9	505,0	505,0	4545
ЗСИБ	18	16	311,0	350,0	5600
КРАС	10	10	322,0	322,0	3220
ВСИБ	12	12	324,2	324,2	3890
ЗАБ	12	12	283,5	283,5	3402
ДВОСТ	22	21	315,8	330,8	6947
СЕТЬ (кроме КЛНГ)	220	210	382,1	400,3	84067

Уменьшение количества восстановительных поездов осуществлялось также за счет перевода последних в состав филиалов других восстановительных поездов с сокращением в них штата и уменьшением единиц оборудования. Целью сокращения количества поездов является уменьшение расходов на содержание и техническое обслуживание, и оно осуществляется в тех участках железнодорожной сети, где исходное расстояние между восстановительными поездами было меньше, чем установленный норматив 200 км. К примеру, одним из сокращенных является восстановительный поезд, располагавшийся на станции Красный Узел

Горьковской железной дороги. Ближайшие к нему поезда расположены на станциях Рузаевка Куйбышевской железной дороги (расстояние Рузаевка – Красный Узел составляет 52 км), Канаш Горьковской железной дороги (расстояние Канаш – Красный Узел – 241 км), Арзамас II Горьковской железной дороги (расстояние Арзамас II – Красный Узел – 182 км).

Для выяснения зависимости между фактом возникновения транспортного происшествия и местом его возникновения была проанализирована статистика случаев нарушения безопасности движения за период 2010-2016 гг. Распределение количества транспортных происшествий, зарегистрированных за рассматриваемый период в хозяйстве перевозок, представлено на рисунке 1.7.

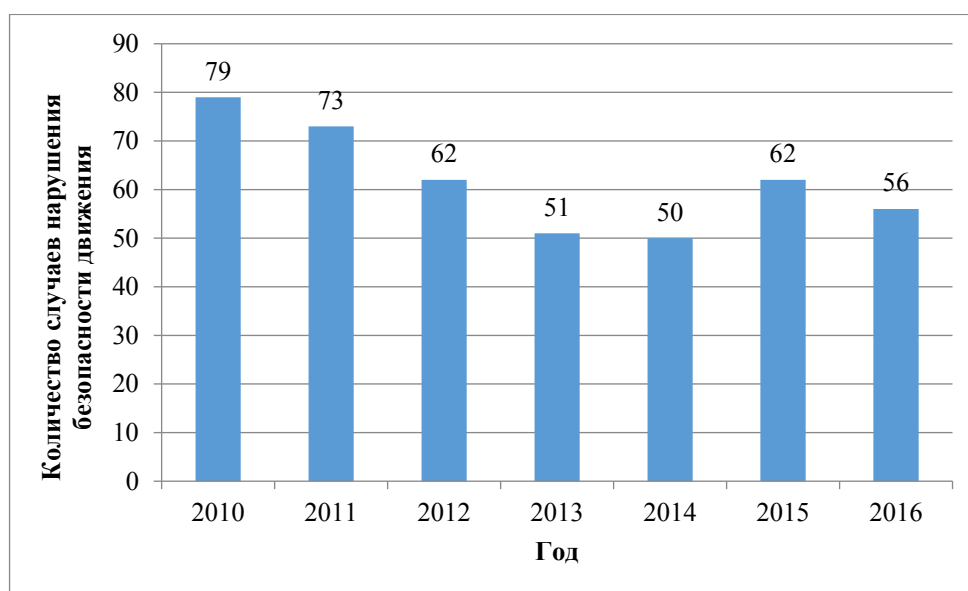


Рисунок 1.7 – Распределение количества транспортных происшествий в хозяйстве перевозок за период 2010-2016 гг.

Возможными причинами возникновения транспортных происшествий являются человеческий фактор (нарушение инструкций, неправильные решения персонала, нарушение правил технического обслуживания), превышение норм износа рельсов, металлических частей стрелочных переводов и уравнильных стыков, скрытые дефекты частей подвижного состава и технических устройств.

Поскольку факт возникновения транспортного происшествия заранее неизвестен, то и место его возникновения тоже. Распределение количества случаев

нарушения безопасности движения по железным дорогам России из года в год меняется, например, изменение количества возникших транспортных происшествий на различных дорогах сети очевидно при сравнении количества случаев нарушения безопасности движения в хозяйстве перевозок на различных дорогах сети за 2011 и 2012 гг., представленных на рисунках 1.8 и 1.9.

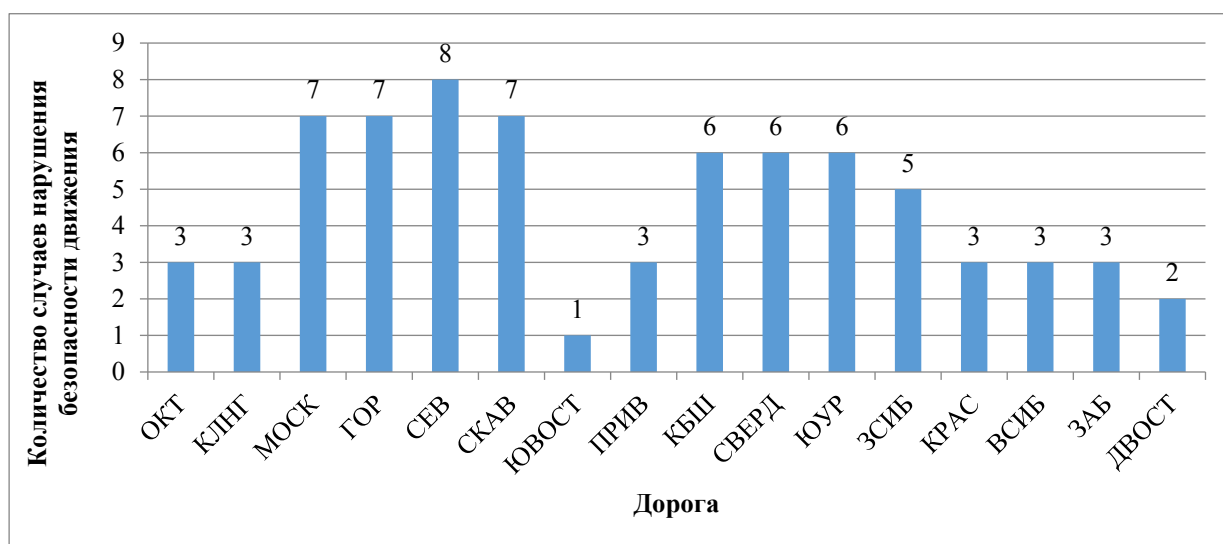


Рисунок 1.8 – Распределение случаев нарушения безопасности движения на различных дорогах сети за 2011 г.

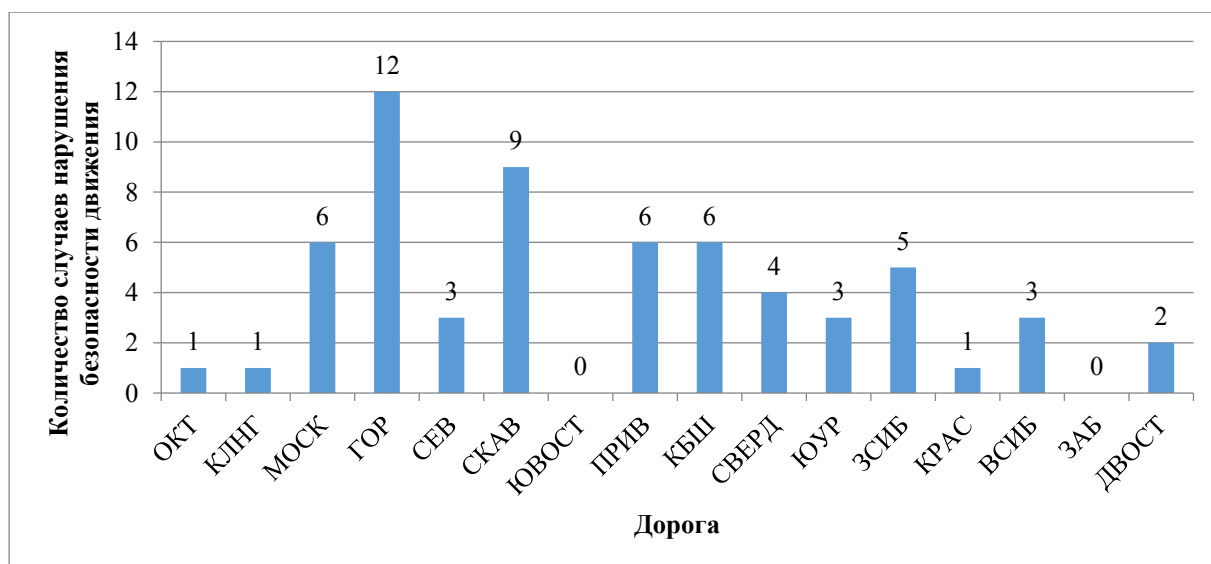


Рисунок 1.9 – Распределение случаев нарушения безопасности движения на различных дорогах сети за 2012 г.

На основе данных информационного фонда ОАО «РЖД» по случаям нарушения безопасности движения на карту железных дорог России были нанесены, а также впоследствии проанализированы места возникновения транспортных происшествий в хозяйстве перевозок за период 2010-2016 гг. (Приложение А). В результате анализа данных, приведенных в приложении А, становится очевидно скопление мест возникновения транспортных происшествий в крупных транспортных узлах и сортировочных станциях, для которых характерен большой объем эксплуатационной работы и обширный штат сотрудников, однако случаи нарушения безопасности движения имели место и на малодеятельных участках.

1.3. Анализ литературы по исследуемой проблеме

Среди ряда первоочередных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом в стране, выделяют необходимость повышения безопасности движения, качества и надежности перевозок [11, 12, 38, 63, 64]. Развитие транспортной инфраструктуры, расширение сети железных дорог России влекут за собой необходимость повышения уровня безопасности движения. В этих условиях проблема рационального размещения восстановительных средств приобретает еще большую актуальность.

Одной из важнейших функций диспетчерских центров управления перевозками (ДЦУП) является организация ликвидации затруднений в эксплуатационной работе и организация процесса восстановления движения в случае возникновения транспортных происшествий [19, 27, 47, 53]. В ряде источников [19, 21, 27, 40] рассматривается порядок действий дежурно-диспетчерского персонала при необходимости оказания помощи остановившимся в пути следования поездам, а также в случае внезапной необходимости закрытия перегонов. Эффективность совместных действий работников различных служб на начальных этапах существенно влияет на порядок организации восстановительных работ на начальных этапах возникновения транспортного происшествия. Это также отмечает в своих работах А.Н. Цуриков [41, 42], предлагая при этом создание и

внедрение обучающейся интеллектуальной системы, оценивающей масштабы последствий транспортного происшествия и рекомендующей определенные действия персоналу.

Для того чтобы выяснить, как организуется доставка восстановительных поездов на место транспортного происшествия, а также осуществляется деятельность восстановительных поездов в процессе проведения аварийно-восстановительных работ, был изучен ряд литературных источников и корпоративных распоряжений, регламентирующих работу различных подразделений железнодорожного транспорта, в т.ч. региональных дирекций аварийно-восстановительных средств [1, 2, 3, 14, 17 – 34, 39]. Кроме того, использование зарубежных источников [82 – 84] позволило выяснить, что для ликвидации последствий транспортных происшествий за границей используют автомобильные и железнодорожные краны, а также бульдозеры.

В зависимости от масштабов последствий транспортного происшествия на перегонах, а также эффективности действий работников ситуация на прилегающих технических станциях и участках может складываться по-разному.

Проблемой прогнозирования поездной ситуации занимались Б.Д. Никифоров, Е.М. Тишкин, В.М. Макаров, В.С. Климанов [4]. Они отмечали, что прогнозирование поездной ситуации требует от диспетчерского персонала большого опыта и интуиции, чтобы в условиях инфраструктурных ограничений организовать работу с наибольшей эффективностью. В противном же случае происходит постепенное ухудшение поездной ситуации вследствие насыщения поездами прилегающих участков, что приводит к снижению скорости продвижения поездопотока. В итоге это существенно повлияет на технологию работы участковых и технических станций в целом.

Предлагаемые ими варианты динамического и статистического моделирования позволяют проанализировать изменения эксплуатационных показателей направления при различном характере поездной ситуации. Авторами рассматривается вопрос эффективности регулировочных мер, которые позволяют

в определенной ситуации замедлить ухудшение поездной обстановки, а впоследствии стабилизировать ее.

К вопросу о регулировочных мерах возвращается в своей статье [5] В.С. Климанов. Он отмечает, что насыщение линий и участков приводит к понижению участковой скорости и ряда других показателей вследствие инфраструктурных ограничений оснащения или устройств сортировочных и участковых станций. Техническая станция не сможет постоянно принимать поезда, следующие в ее адрес из-за инфраструктурных ограничений, в результате чего будет образовываться сгущение грузовых поездов на подходах к технической станции. Чтобы это предотвратить, в период сгущенного подвода поездов нужны определенные регулировочные меры, выбор которых зависит от расчета эффективности в той или иной ситуации.

В.С. Климанов приходит к выводу, что поступление поездов необходимо регулировать таким образом, чтобы интервал между ними соответствовал времени переработки состава лимитирующим устройством.

Иногда приходится решать и обратную задачу, например, увеличив подвод поездов к сортировочной станции перед «окнами», тем самым, не допустив или максимально снизив простой сортировочной горки.

Однако заранее спланировать вид регулировочной меры в случае внезапного возникновения барьерного места не представляется возможным, в связи с этим регулировочные меры могут быть применимы лишь после вновь образовавшегося ограничения.

Транспортные происшествия и иные события, связанные с нарушением безопасности движения, можно рассматривать в качестве местных причин эксплуатационных затруднений. Однако затруднения в поездной и местной работе могут также являться следствием насыщения всей сети избыточным количеством вагонов, отмечают А.Ф. Бородин и Е.А. Сотников в [6]. Из-за увеличения количества вагонов постепенно возникают инфраструктурные ограничения, затрудняющие выполнение поездной и местной работы.

На каждой железнодорожной станции или узле существует резерв вместимости путевого развития, который может быть использован для отстоя вагонов и других целей. Этот резерв $E_{рез}$ авторы выражают формулой:

$$E_{рез} = E_{факт} - [E_{техн}(N) + E_{рег}(N)], \quad (1.1)$$

где $E_{факт}$ – фактическая вместимость путевого развития станции;

$E_{техн}(N)$ – емкость путей, необходимая для беспрепятственного приема поездов;

$E_{рег}(N)$ – емкость путей, необходимая для размещения вагонного парка, участвующего в процессе динамического регулирования продвижения транспортных потоков;

N – объемы приведенной эксплуатационной работы.

Таким образом, с учетом постепенного увеличения объемов работы и величины избыточного парка вагонов и неизменной величины путевого развития станций уменьшается величина резерва путевого развития, что приводит к снижению технических возможностей по пропуску и переработке вагонопотоков, и как результат, ухудшению поездной ситуации.

Проблему насыщения участка избыточным количеством поездов также рассматривают в [7] А.Ф. Бородин и Р.Ф. Сайбаталов. Превышение количества грузовых поездов в пределах участка приводит к понижению участковой скорости и, как следствие, к «бросанию» поездов на свободных путях промежуточных станций, что, в свою очередь, создает дополнительные инфраструктурные ограничения.

Подобную проблему в своей работе [45] поднимают Л.А. Мугинштейн, А.Ю. Анфиногенов, В.Ю. Кирякин. Авторы утверждают, что увеличение поездов в поездопотоке негативно влияет на эксплуатационные показатели работы, а применение имитационного моделирования перевозочного процесса позволит оценить воздействие поездопотоков различной густоты на участковую скорость и пропускную способность, выявить существующие и потенциальные узкие места.

Е.А. Сотников [43] отмечает, что процесс постепенного накопления вагонов может стать не только проблемой участка, но и целых полигонов сети железных дорог. В качестве решения представленной проблемы автор предлагает повышение надежности технических средств и улучшение качества сменно-суточного планирования перевозок за счет рационального подвода грузовых поездов к местам погрузки (выгрузки).

Увеличение числа «брошенных» поездов в пределах участка приведет к увеличению числа вагонов, не задействованных в перевозочном процессе, что в свою очередь приведет к увеличению потребной емкости станционного путевого развития, последующему исчерпанию резервов емкости станционных путей участка и невозможности приема поездов на участок.

В [66] В.И. Некрашевич, В.Н. Ковалев отмечают, что необходимо обеспечивать регулирование локомотивного парка, при этом оперативно передислоцируя локомотивы из мест их ожидаемого избытка в места их недостатка. Данная мера позволит своевременно вывозить поезда с технических станций, снизить простой вагонов на станциях, а также обеспечить развоз грузов.

Проблема возникновения барьерного места вследствие транспортного происшествия и его влияние на поездную обстановку плотно связана с проблемой реконструкции железнодорожных станций и линий, поскольку и в той, и в другой ситуации возникают инфраструктурные ограничения. Главное отличие состоит в том, что реконструкция является запланированным процессом, время и место выполнения которого известны.

Организация движения поездов на железнодорожных участках, на структурных элементах которых запланированы работы с закрытием, также требует от дежурно-диспетчерского персонала четкой и слаженной работы, поскольку необходимо осуществить пропуск необходимого количества поездов за ограниченный промежуток времени до технологического «окна».

В своей работе [8] Ю.И. Рудакова и Э.В. Бакумов рассматривают влияние реконструкции различных устройств станции на показатели работы как самой станции, так и участка в целом. Кроме того, они отмечают, что влияние

реконструкции на эксплуатационные показатели более существенно, если работы осуществляются на перегоне; внутри же станции закрытие путей или устройств влияет значительно меньше.

Если же реконструкция занимает продолжительное время, например, в случае скоростного метода осуществления строительства, то при необходимости можно скорректировать сетевой или внутридорожный план формирования грузовых поездов, отмечает в своей работе [9] Э.Ю. Тимохин. В таком случае вследствие инфраструктурных ограничений часть запланированных поездов необходимо пустить «кружностью», используя резервы пропускной и провозной способностей других линий. Однако при этом возникает замедление вагонопотоков и увеличение пробега локомотивов, что также необходимо учитывать.

В работе [35] А.Т. Осьминин, Е.А. Сотников, М.А. Осьминин рассматривают вопрос эффективной организации поездной работы при длительном закрытии перегонов, при которых часть поездопотока переводится на параллельные створовые направления, поэтому закрытия на них должны производиться взаимосвязанно. Длина створовых направлений определяется согласно плану формирования поездов в зависимости от характера движения поездов от станции формирования до станции назначения.

Б.Д. Воскресенский в работе [44] подчеркивает, что для более эффективного использования железнодорожных средств необходимо организовать «наибольшую параллельность» выполняемых работ и только в крайнем случае допускать последовательное выполнение операций. Предлагаемый Б.Д. Воскресенским принцип применим не только к организации перевозок, но и к организации работ по реконструкции объектов инфраструктуры.

Вопрос обхода возникшего из-за реконструкции «узкого» места также затрагивают В.И. Некрашевич, А.Д. Чернюгов, Т.Н. Родькина [10]. Они отмечают, что при наличии на промежуточных станциях участка приемоотправочных путей определенной длины также можно организовать движение сдвоенных поездов, однако как систему это рассматривать не стоит.

А.П. Бадецкий в своей диссертации [36] отмечает, что корректировка плана формирования поездов осуществляется на основе среднесуточных значений за месяц, однако иногда могут возникать резкие колебания вагонопотоков, которые значительно больше среднесуточных. В таком случае необходимо осуществлять корректировку плана формирования внутри месяца, чтобы перевести вагонопотоки с загруженных направлений на направления, где имеются резервы пропускной и провозной способности.

Влияние возникающих ограничений из-за технических отказов в своей работе [11] изучает Е.Н. Тимухина. Она рассматривает функциональную надежность станционных устройств, а также при помощи имитационного моделирования анализирует последствия технического отказа конкретных устройств или сооружений на процессы работы станции в целом. Кроме моделирования в своей работе Е.Н. Тимухина использует теорию случайных процессов, теорию множеств, а одним из результатов ее труда стала методология оценки уровня функциональной надежности. В [12] Н.Е. Окулов также прибегает к имитационному моделированию: он применяет его, чтобы оценить функциональную надежность инфраструктурных элементов, которые используются при взаимодействии железнодорожного транспорта с производственными предприятиями, а также влияние отказов на технологические процессы крупных предприятий, примыкающих к железнодорожным станциям.

Е.А. Сотников и П.С. Холодняк в своей работе [13] обсуждают возможность использования доступной инфраструктуры полигонов для временной отстановки поездов от движения при затруднениях в эксплуатационной работе с целью минимизации расходов ОАО «РЖД». При затруднениях в работе выгрузочного района авторами предлагается использование станционных путей для отстановки определенных вагонов и поездов от движения, в случае невозможности выгрузочного района их принять.

В работе [46] П.С. Холодняк также отмечает, что зачастую на полигонах железнодорожной сети имеют место отклонения от норм содержания вагонного парка. Вследствие несвоевременных регулировочных мероприятий возникает

избыток поездопотоков, что приводит к дальнейшим эксплуатационным затруднениям и дополнительным расходам. Автор рассматривает различные варианты развития затруднений и подчеркивает, что для их анализа недостаточно руководствоваться лишь эксплуатационными показателями, необходимо рассматривать изменения поездной ситуации на примере модели перевозочного процесса.

Вопросом временной отстановки от движения в своей работе [37] занимается П.О. Новиков. Автор предлагает определение порядка отставления поездов в соответствии с экономическими рисками, при этом обращая внимание как на потенциальные экономические потери перевозчика в случае отставления на путях инфраструктуры, так и на возможные штрафы за нарушение сроков доставки грузов получателю.

Таким образом, в ранее выполненных исследованиях уделено внимание эффективной организации работы структурных подразделений в условиях инфраструктурных, технологических и эксплуатационных ограничений, отказов технических средств. Однако в то же время требуют развития вопросы продолжительного влияния последствий транспортных происшествий на работу подразделений железнодорожного транспорта и применения мер по сокращению времени с момента возникновения транспортного происшествия до момента восстановления исходных перевозочных мощностей. Решение проблемы эффективного размещения восстановительных поездов позволит существенно снизить время доставки последних в места возникновения транспортных происшествий [56].

1.4. Постановка задачи и структура исследования

Для достижения цели исследования, которая указана во введении диссертации, необходимо решить следующие задачи:

анализ актуального состояния системы функционирования и размещения восстановительных средств на сети железных дорог ОАО «РЖД»;

создание математической модели, позволяющей провести исследование влияния транспортного происшествия на работу структурных подразделений железных дорог;

выявление рациональных параметров размещения восстановительных средств, на основе которых будет произведена актуализация схемы.

Формализованное описание структуры задач исследования выражается следующим образом.

Полигон железнодорожной сети описывается связным графом $G(X, Y)$, который состоит из X узлов, соединяемых Y железнодорожными участками. В узлах и на ребрах графа $G(X, Y)$ по годам расчетного периода $t = 1, 2, \dots, T$ лет заданы:

результатирующие пропускные способности участков и узлов

$$\mathbf{n}^*_t = \{\mathbf{n}^*_{X(t)}; \mathbf{n}^*_{Y(t)}\}; \quad (1.2)$$

емкости путевого развития станций в узлах и на участках

$$\mathbf{W}^*_t = \{\mathbf{W}^*_{X(t)}; \mathbf{W}^*_{Y(t)}\}; \quad (1.3)$$

размеры движения пассажирских и грузовых поездов всех категорий по участкам

$$\mathbf{n}_t = \{\mathbf{n}^{\text{пс}}_{Y(t)}; \mathbf{n}^{\text{гр}}_{Y(t)}\}; \quad (1.4)$$

признаки наличия в узлах смены локомотивов пассажирского и грузового движения (наборы двоичных переменных)

$$\mathbf{R}^{\text{лок}}_t = \{\mathbf{R}^{\text{лок.пс}}_{X(t)}; \mathbf{R}^{\text{лок.гр}}_{X(t)}\}; \quad (1.5)$$

признаки наличия в узлах смены локомотивных бригад пассажирского и грузового движения (наборы двоичных переменных)

$$\mathbf{R}^{\text{лб}}_t = \{\mathbf{R}^{\text{лб.пс}}_{X(t)}; \mathbf{R}^{\text{лб.гр}}_{X(t)}\}; \quad (1.6)$$

Требуется обосновать эффективное размещение восстановительных поездов, которое по годам расчетного периода характеризуют наборы двоичных переменных – признаки дислокации восстановительных поездов в узлах

полигона $\mathbf{R}_{X(t)}^{\text{ВП}}$ и признаки прикрепления участков полигона к узлам дислокации восстановительных поездов $\mathbf{R}_{X(t),Y(t)}^{\text{ВП}}$

$$\mathbf{R}_t^{\text{ВП}} = \{ \mathbf{R}_{X(t)}^{\text{ВП}}; \mathbf{R}_{X(t),Y(t)}^{\text{ВП}} \}; \quad (1.7)$$

Целевая функция задачи:

$$E = \sum_{t=1}^T E_t(\mathbf{R}_t^{\text{ВП}}, \mathbf{n}_t, \mathbf{n}_t^*, \mathbf{W}_t^*, \mathbf{R}_t^{\text{ЛОК}}, \mathbf{R}_t^{\text{ЛБ}}) \rightarrow \min \quad (1.8)$$

Ограничения задачи:

на допустимые размеры движения поездов по участкам:

$$\mathbf{n}_{Y(t)}^{\text{ПС}} \boldsymbol{\varepsilon}_{Y(t)}^{\text{ПС}} + \mathbf{n}_{Y(t)}^{\text{ГР}} \leq \mathbf{n}_{Y(t)}^*; \quad (1.9)$$

на допустимые размеры движения поездов по станциям:

$$\mathbf{n}_{X(t)}^{\text{ПС}} + \mathbf{n}_{X(t)}^{\text{ГР}} \leq \mathbf{n}_{X(t)}^*; \quad (1.10)$$

на допустимое наличие парка вагонов на участках и станциях

$$\mathbf{P}_t(\mathbf{R}_t^{\text{ВП}}, \mathbf{n}_t, \mathbf{n}_t^*, \mathbf{R}_t^{\text{ЛОК}}, \mathbf{R}_t^{\text{ЛБ}}) \varphi \leq \mathbf{W}_t^*; \quad (1.11)$$

на доступные тяговые ресурсы

$$\mathbf{M}_t(\mathbf{R}_t^{\text{ВП}}, \mathbf{n}_t, \mathbf{n}_t^*, \mathbf{R}_t^{\text{ЛОК}}, \mathbf{R}_t^{\text{ЛБ}}) \leq \mathbf{M}_t^*; \quad (1.12)$$

на необходимый уровень надежности перевозочного процесса

$$\mathbf{H}_{\text{потр}}(\mathbf{R}_t^{\text{ВП}}, \mathbf{n}_t, \mathbf{n}_t^*, \mathbf{W}_t^*, \mathbf{R}_t^{\text{ЛОК}}, \mathbf{R}_t^{\text{ЛБ}}) \geq \mathbf{H}^*. \quad (1.13)$$

При этом

$$\sum_{X=1}^{\bar{X}} \mathbf{R}_{X(t),Y(t)}^{\text{ВП}} = 1 \quad \forall Y(t), \quad (1.14)$$

то есть каждый участок должен быть обязательно прикреплен к одному узлу дислокации восстановительного поезда.

В формуле (1.9) $\boldsymbol{\varepsilon}_{Y(t)}^{\text{ПС}}$ – коэффициент съёма грузовых поездов пассажирскими на участке Y в год t [67]. В формуле (1.11) φ – коэффициент вместимости – рациональное соотношение вместимости путевого развития и рабочего парка вагонов [6].

С учетом постановки (1.2 — 1.14) указанные выше задачи исследования следует структурировать по схеме, представленной на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Структура решения задачи выбора эффективного размещения восстановительных поездов и зон их обслуживания

1.5. Выводы по главе 1

1. За период времени 2004 – 2019 гг. число выездов восстановительных поездов на места транспортных происшествий варьируется в диапазоне от 272 выездов в год (2014 г.) до 553 выездов в год (2019 г.). При этом количество поднятых единиц подвижного состава в результате аварийно-восстановительных мероприятий находится в диапазоне от 572 (2009 г.) до 934 единиц (2007 г.).

Среднее время отправления восстановительного поезда после получения оперативного приказа поездного диспетчера за анализируемый период варьируется в пределах от 34 мин. (2008 г. и 2013 г.) до 40 мин. (2006 г.). За 2018 г. и 2019 г. этот показатель составляет 35 мин. Средняя скорость продвижения восстановительного поезда к месту проведения аварийно-восстановительных работ за период 2004 – 2019 гг. находится в диапазоне от 44 км/ч до 47 км/ч, при этом за период 2015 – 2019 гг. наблюдается существенное снижение этого показателя от максимального значения до минимального.

Среднее время на подъем единицы подвижного состава за анализируемый период 2004 – 2019 гг. находится в пределах 32 мин. и 47 мин., при этом наблюдается тенденция снижения значений этого показателя за период 2008 – 2019 гг. от максимального значения до значения 35 мин.

2. Важнейшими показателями для оценки деятельности восстановительных поездов являются эксплуатационные затраты и стоимость выполненной работы. Первый показатель на протяжении анализируемого периода возрастает от 1925,9 млн. руб./год до 7723,8 млн. руб./год. Значения стоимости выполненной работы подразделениями системы восстановительных средств колеблются в диапазоне от 571,3 млн. руб./год до 1530,9 млн. руб./год, при этом значение этого показателя в 2019 г. составляет 842,45 млн. руб./год.

3. Для решения задачи эффективного размещения восстановительных средств сети железных дорог необходимо учитывать взаимосвязь ряда факторов, таких как протяженность железнодорожных участков полигонов железных дорог, их инфраструктурное оснащение, а также нормативные размеры движения поездов различных категорий и резервы пропускной способности.

2. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И УСТРАНЕНИИ БАРЬЕРНЫХ МЕСТ

2.1. Принципиальная модель направления с образованием барьерных мест

Согласно проведенному в главе 1 анализу, возникновение транспортного происшествия в каком-либо месте сети железных дорог зависит от ряда различных факторов. Производить размещение восстановительных средств, опираясь на частоту произошедших ранее транспортных происшествий, нерационально, потому что невозможно заранее определить, где образуется барьерное место.

Возникает необходимость создания модели [48 – 51] железнодорожного подразделения, позволяющей имитировать развитие поездной ситуации при возникновении барьерного места. Создание подобной модели полигона и ее постепенное усложнение позволит проанализировать различные варианты развития эксплуатационной обстановки после возникновения транспортного происшествия. Первоначальный вид модели представлен на рисунке 2.1.

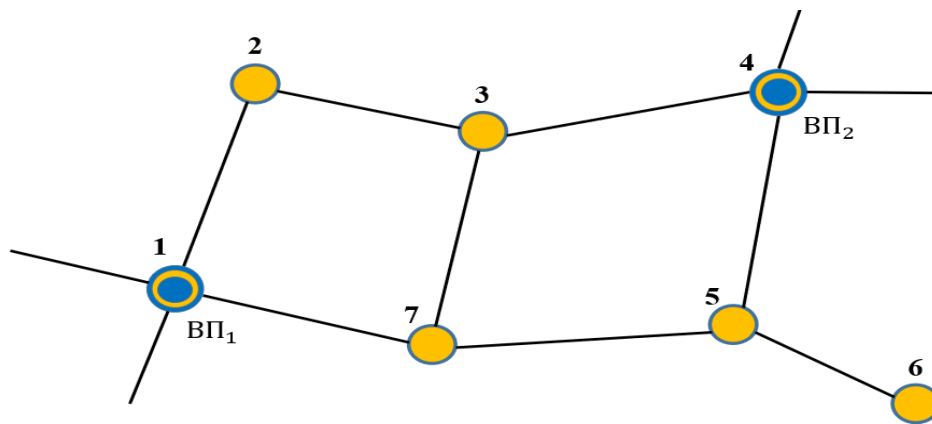


Рисунок 2.1 – Схема полигона с размещенными на нем техническими станциями и восстановительными поездами

На типовой модели представлены 7 технических станций (железнодорожных узлов), на двух из которых (железнодорожные узлы 1 и 4) расположены восстановительные поезда (ВП₁ и ВП₂, соответственно). Каждая техническая станция (железнодорожный узел) представляет собой вершину модели. Вершины 1 и 4 ограничивают рассматриваемую модель. Каждая из технических станций

(железнодорожных узлов) модели может рассматриваться в качестве потенциального места дислокации восстановительных поездов. Технические станции (железнодорожные узлы) соединены участками, каждый из которых характеризуется длиной, размерами движения, количеством путей, наличием или отсутствием контактной сети. Каждый участок будем рассматривать в качестве ребер модели.

Рассмотрим детально процесс накопления вагонов на участке между станциями 3 и 7 (рисунок 2.2)

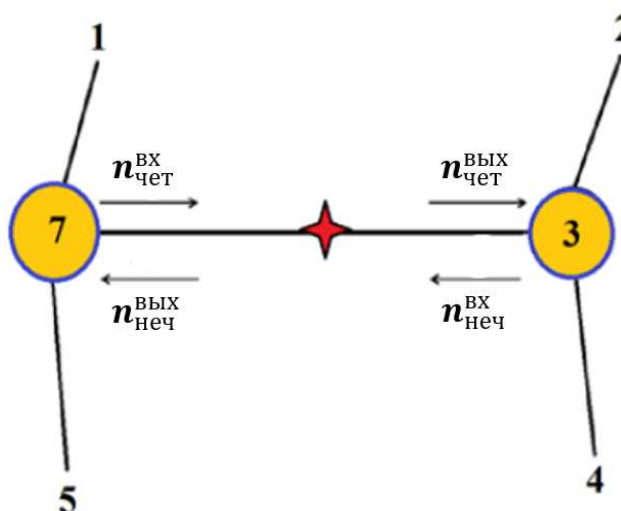


Рисунок 2.2 – Схема организации движения на участке 3 – 7 с указанием барьерного места

Предположим, что поезда поступают на участок и выходят с участка равномерно. При изменениях пропускной способности каждый час на рассматриваемый участок поступают и задерживаются $n_{\text{ост}}$ поездов, число которых определяется по формуле:

$$n_{\text{ост}} = \frac{(n_{\text{вх}} - n_{\text{вых}})}{24}, \quad (2.1)$$

где $n_{\text{вх}}$ – количество поездов, поступающих на рассматриваемый участок за сутки, полученное из нормативного графика движения поездов;

$n_{\text{вых}}$ – расчетное ежесуточное количество поездов, выходящее с рассматриваемого участка с учетом изменения пропускной

способности вследствие образования барьерного места при рациональной организации движения поездов (при полном использовании оставшейся пропускной способности). Если барьерное место полностью заблокировало железнодорожную линию, то $n_{\text{ВЫХ}} = 0$, а все поезда, входящие на участок, будут оставаться на нем.

При понижении исходного значения пропускной способности важнейшим фактором, влияющим на скорость усугубления поездной ситуации, является среднее количество поездов, поступающих на участок, $n_{\text{ВХ}}$ [54]. Очевидно, что на железнодорожных линиях с высокой интенсивностью движения эксплуатационная обстановка будет усугубляться быстрее, чем на малоинтенсивных участках. В общем случае приемо-отправочные пути станций участка будут полностью заполнены поездами через промежуток времени $T_{\text{зан}}$ часов:

$$T_{\text{зан}} = \frac{(\Pi_{\text{по}} - \Pi_{\text{по}}^{\text{зан}})}{n_{\text{ост}}}, \quad (2.2)$$

где $\Pi_{\text{по}}$ – общее количество приемо-отправочных путей промежуточных и технических станций участка;

$\Pi_{\text{по}}^{\text{зан}}$ – исходное количество занятых приемо-отправочных путей участка.

Размеры движения могут отличаться в четном и нечетном направлениях, так же, как и количество приемо-отправочных путей станций участка по обе стороны от барьерного места, поэтому необходимо производить расчеты для четного и нечетного направлений.

В течение периода времени $T_{\text{зан}}$ последствия транспортного происшествия в большей степени создают препятствия для работы участка, на котором оно произошло; влияние на оперативную работу смежных участков минимально. Однако, если время полного занятия участка $T_{\text{зан}}$ меньше времени общего перерыва движения, то поездная ситуация начинает усугубляться на смежных участках. Для уменьшения скорости усугубления поездной ситуации и последующего ее

улучшения после ликвидации последствий транспортного происшествия дежурно-диспетчерским персоналом применяются регулировочные меры.

Моделирование барьерного места в различных местах полигона позволит составить различные варианты развития поездной ситуации, спрогнозировать поведение поездопотоков, динамику накопления транспортных единиц, и в результате выявить приоритетные критерии размещения восстановительных поездов.

Для оценки изменения характера поездной ситуации на рассматриваемом полигоне при определенных начальных условиях в автоматизированной системе «Имитационное моделирование работы железнодорожных направлений и узлов» (ИМ ЖНУ) [48, 49, 50, 51, 58, 71 - 74] была спроектирована модель, вид которой представлен на рисунке 2.3.

На имитационной модели присутствуют поездопотоки, которые будут учитываться для оценки накопления единиц транспортного потока при образовании барьерного места на участке 3 – 7 (схема их движения на рисунке 2.3 представлена черными стрелками), а также те, которые задерживаться не будут (схема их движения представлена синими стрелками), но их отображение в модели необходимо для имитации занятости горловин.

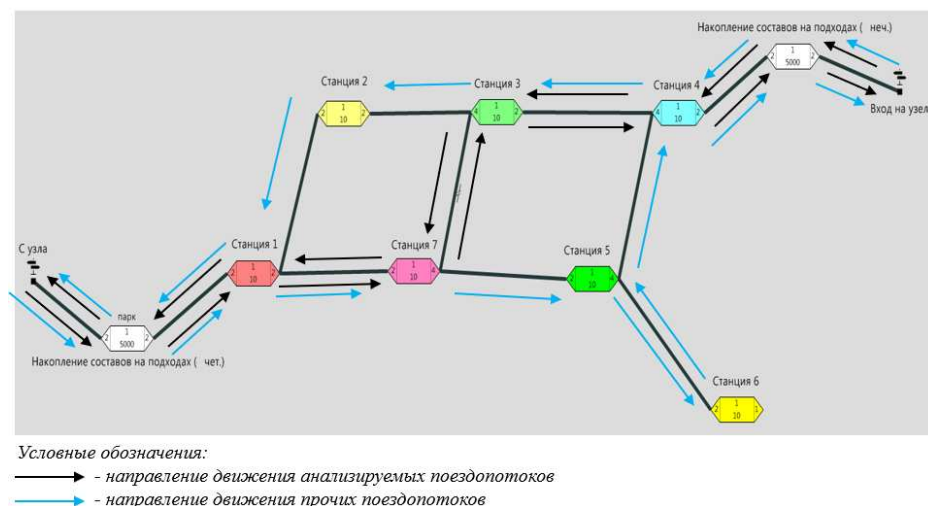


Рисунок 2.3 – Схема модели полигона с указанием схемы организации движения поездов в автоматизированной системе ИМ ЖНУ

Для наблюдения за изменением общего количества транспортных единиц на полигоне в модель добавлены «счетчики» (Накопление составов на подходах (с чет.) и Накопление составов на подходах (с неч.)), в которых транспортные единицы накапливаются из-за образования барьерного места. Отличительной чертой «счетчиков» является условно неограниченная емкость, которая позволяет принять существенное количество поездов на полигон, не затруднив при этом вход и выход с узла. Технологический смысл «счетчиков» состоит в том, чтобы рассчитать количество поездов, остановленных в результате образования барьерного места.

2.2. Возникновение барьерных мест и развитие эксплуатационных затруднений

При появлении барьерного места происходит резкое снижение пропускной способности линий, в результате чего возникает необходимость в вынужденном простое поездов на свободных приемо-отправочных путях технических и промежуточных станций участка, а также на смежных участках. С момента возникновения барьерного места до момента его устранения должно пройти определенное время, необходимое для формирования, продвижения восстановительного поезда к месту транспортного происшествия, а также для выполнения аварийно-восстановительных работ [54]. За это же время происходит постепенное усугубление поездной ситуации.

Поскольку поезда на рассматриваемый участок поступают постоянно, в течение определенного времени все приемоотправочные пути на попутных промежуточных станциях будут заняты, что приведет к ограничениям на прием и пропуск поездов на смежных технических станциях и прилежащих участках.

Скорость усугубления поездной ситуации зависит от:

- 1) Масштаба влияния последствий транспортного происшествия на инфраструктурные возможности участка;
- 2) Исходных инфраструктурных возможностей рассматриваемого и смежных участков (количество главных путей на участке, количество

приемо-отправочных путей на промежуточных станциях, тип устройств СЦБ);

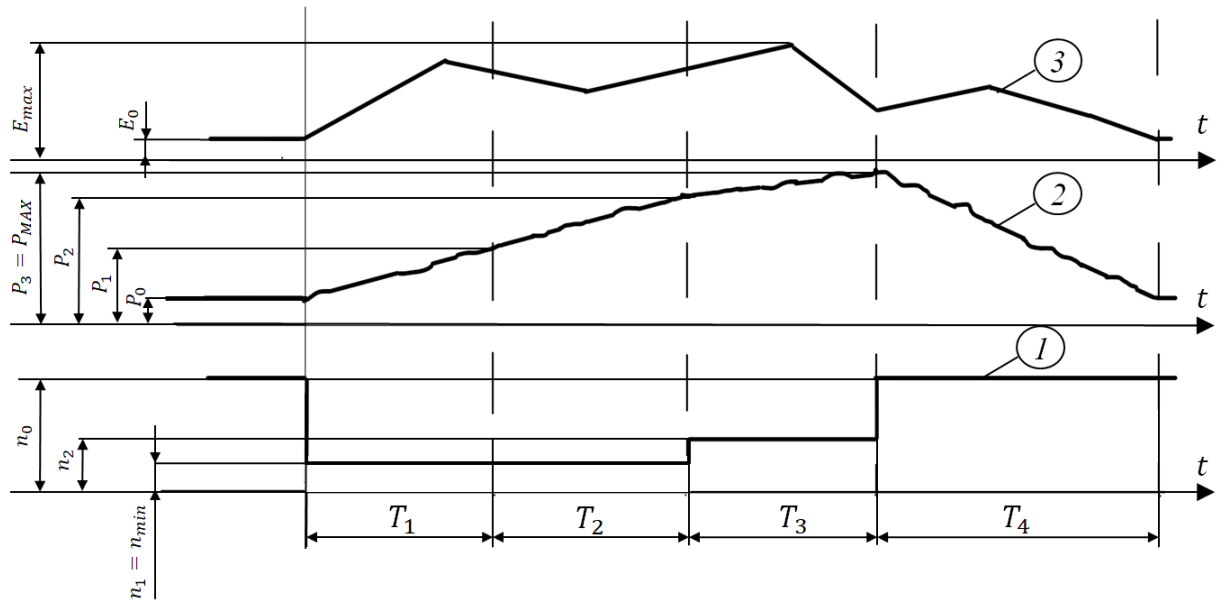
3) Размеров движения поездов на рассматриваемом и смежных участках.

При равных возможностях технического оснащения участка размеры движения существенно влияют на скорость заполнения участка поездами. Если же на участке отсутствуют инфраструктурные ограничения, а поступление поездов осуществляется согласно графику движения поездов, то количество транспортных единиц на участке практически не отклоняется от среднего значения P_0 . Если же ограничения пропускной способности присутствуют, то количество поездов на участке через некоторое время достигнет максимального значения P_{max} .

Возникновение барьерного места сказывается на перевозочных мощностях элементов инфраструктуры, вследствие чего происходит изменение поведения поездопотоков и значений ряда показателей, которые принимают нормативные значения спустя время $T_{общ}$.

Для подробного рассмотрения характера изменения показателей и поездной обстановки разделим промежуток времени $T_{общ}$ на 4 периода времени T_1, T_2, T_3, T_4 . Проследить динамику таких показателей, как перевозочная мощность инфраструктурных элементов, количество единиц транспортного потока и расходы на продвижение транспортного потока можно с помощью рисунка 2.4 [54].

Промежуток времени T_1 начинается с момента возникновения транспортного происшествия и оканчивается прибытием восстановительного поезда на место аварийно-восстановительных работ. После появления барьерного места происходит резкое снижение пропускной способности элемента участка от исходного значения n_0 до минимального значения n_1 , в результате чего поступающие на рассматриваемый участок транспортные единицы вынуждены останавливаться на свободных приемо-отправочных путях отдельных пунктов из-за невозможности прохождения транспортного потока через участок в предыдущем объеме. В результате этого количество транспортных единиц на участке изменяется с P_0 до P_1 .



Условные обозначения:

- 1 – Перевозочная мощность элемента (группы элементов инфраструктуры)
- 2 – Наличие единиц транспортного потока
- 3 – Расходы на продвижение транспортного потока

Рисунок 2.4 – Динамика изменения ключевых показателей после возникновения барьерного места

Промежуток времени T_2 ограничивается началом аварийно-восстановительных работ и моментом восстановления части инфраструктурной мощности элемента участка до значения n_2 . Однако этого значения недостаточно для осуществления движения в предыдущем объеме, и поэтому количество транспортных единиц на участке достигает значения P_2 .

В течение интервала времени T_3 накопление единиц транспортного потока на участке продолжается, и их количество в конце временного промежутка достигает максимального значения P_3 , однако увеличение количества единиц происходит с меньшей скоростью из-за того, что некоторая доля инфраструктурных возможностей восстановлена, и часть транспортного потока покидает рассматриваемый участок. Завершается период T_3 окончанием аварийно-восстановительных работ и открытием перегона; инфраструктурная мощность заблокированного элемента восстанавливается до исходного значения n_0 .

После завершения работ восстановительные поезда следуют к местам постоянной дислокации не в приоритетном порядке относительно других поездов.

В течение периода времени T_4 поездная ситуация возвращается к исходному состоянию за счет восстановленных инфраструктурных возможностей и резервов пропускной способности линии.

В течение анализируемого периода расходы в единицу времени на продвижение транспортного потока изменяются от исходного значения E_0 до максимального E_{max} и обратно [54]. Динамика изменения указанных расходов при этом не совпадает с динамикой изменения других ключевых показателей. Это связано с тем, что характер изменения расходов во многом определяется правильностью и своевременностью принятых управленческих решений и эффективностью регулировочных мер дежурно-диспетчерского персонала, устанавливающего приоритетность продвижения транспортных потоков и порядок использования инфраструктурных и тяговых ресурсов. На величину расходов в значительной мере влияют показатели функциональной надежности перевозочного процесса.

Обозначим время полного или частичного перерыва - $T_{пер}$. Для открытия движения поездов и обеспечения пропускной способности участка на барьерное место выдвигается восстановительный поезд. При продвижении восстановительного поезда к месту аварийно-восстановительных работ ему отдается приоритет перед всем видами поездов, а его движение должно быть беспрепятственным.

В общем случае общее время $T_{пер}$ полного и частичного перерыва движения определяется по формуле [54]:

$$T_{пер} = \max \{t_{прик.} + t_{отпр.} + t_{движ.} + t_{сн.напр.}; t_{подг}\} + t_{работ.} + t_{инфр.}, \text{ ч}, \quad (2.3)$$

где $t_{прик.}$ – максимальное время, в течение которого должен быть передан приказ на подъем восстановительного поезда для устранения последствий транспортного происшествия или чрезвычайной ситуации ($t_{прик.} = 0,25$ ч);

- $t_{\text{отпр.}}$ — максимальное время, в течение которого восстановительный поезд должен быть подготовлен и отправлен для устранения последствий транспортного происшествия ($t_{\text{отпр.}} = 0,67$ ч);
- $t_{\text{движ.}}$ — время движения восстановительного поезда к месту выполнения работ по ликвидации последствий транспортного происшествия или чрезвычайной ситуации, ч;
- $t_{\text{сн.напр.}}$ — время, в течение которого происходит снятие напряжения контактной сети, ч. ($t_{\text{сн.напр.}} = 0,75$ ч).
- $t_{\text{подг}}$ — время с момента получения информации о возникновении транспортного происшествия до момента готовности места транспортного происшествия к допуску восстановительных средств для начала аварийно-восстановительных работ, ч;
- $t_{\text{работ.}}$ — среднее время выполнения работ по ликвидации последствий происшествия, ч. Время работ включает в себя общее время на уборку единиц сошедшего подвижного состава; устранение препятствий для следования определяется тяжестью последствий, напрямую зависит от количества сошедших с путей единиц подвижного состава. Время на подъем одной единицы подвижного состава принимается равным соответствующему показателю деятельности восстановительных поездов за год.
- $t_{\text{инфр.}}$ — среднее время выполнения работ по восстановлению инфраструктуры (в части, которая не может выполняться параллельно с ведением работ, входящих в величину $t_{\text{работ.}}$), ч.

По сути, $T_{\text{пер}}$ включает в себя указанные выше периоды T_1 , T_2 , T_3 , и, таким образом, можно выразить их составляющие.

$$T_1 = t_{\text{прик.}} + t_{\text{отпр.}} + t_{\text{движ.}} \quad (2.4)$$

$$T_2 + T_3 = t_{\text{сн.напр.}} + t_{\text{работ.}} + t_{\text{инфр.}} \quad (2.5)$$

Длительность периода времени T_4 определяется рядом факторов, таких как количество накопившихся транспортных единиц на технических станциях полигона, эксплуатационных возможностей инфраструктуры и тяговых ресурсов, но первоочередным фактором является выбор регулировочных мер и алгоритма действий дежурно-диспетчерского персонала.

Для проверки объективности теоретических представлений об изменении ключевых показателей после возникновения барьерного места и анализа примененных дежурно-диспетчерским персоналом регулировочных мер были рассмотрены случаи нарушения безопасности движения, произошедшие на полигонах Свердловской, Московской, Октябрьской и Забайкальской железных дорог. Основные данные по транспортным происшествиям были получены из системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ», а также из соответствующих телеграмм.

При помощи информационного фонда ГИД «Урал-ВНИИЖТ» могут быть получены сведения [55, 58]:

- о количестве и составе грузовых поездов, прибывающих на рассматриваемый полигон и отправляющихся с него;
- об организации движения поездов различных категорий в связи с образовавшимся барьерным местом;
- о доставке восстановительных поездов, организации аварийно-восстановительных работ, этапах восстановления движения.

На перегоне Ильмовка – Ревда диспетчерского участка Дружинино – Екатеринбург-Сортировочный Свердловской железной дороги 6.08.2019 г. произошло транспортное происшествие, момент возникновения которого отмечен на графике исполненного движения в автоматизированной системе ГИД «Урал-ВНИИЖТ» (рисунок 2.5).

Согласно хронологии событий, в 19:10 на указанном перегоне произошел сход 5 порожних вагонов с нарушением габарита по обоим путям и повреждением контактной сети. На место транспортного происшествия были отправлены восстановительные поезда станций Екатеринбург-Сортировочный (отправился в

20:07, прибыл на место работ в 20:55) и Кузино (отправился в 20:51 – прибыл в 21:46).

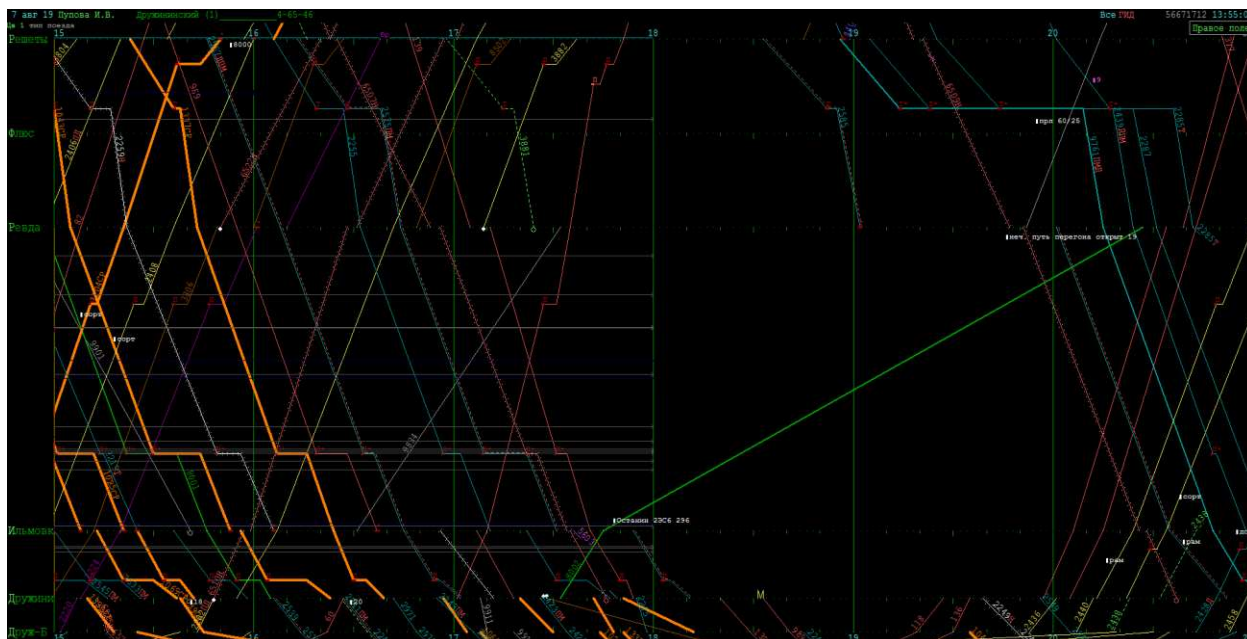


Рисунок 2.5 – Фрагмент графика исполненного движения по участку Дружинино – Екатеринбург-Сортировочный автоматизированной системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» от 6.08.2019 г.

Движение по четному пути было восстановлено 7.08.2019 г. в 3:50, в 5:30 – по нечетному. На время проведения восстановительных работ был организован пропуск пассажирских поездов, следующих от ст. Агрыз на ст. Екатеринбург-Сортировочный с отклонением через Кузино со сменой направления движения (особенность взаимного расположения парков и примыкающих перегонов). Аналогичным образом осуществлялся пропуск пассажирских поездов со ст. Екатеринбург-Сортировочный на ст. Агрыз, при этом приоритет в пропуске отдавался пассажирским поездам, следующим по нормативному графику движения поездов в попутном направлении. Схема полигона Свердловской железной дороги со схемой организации движения пассажирских поездов в обход барьерного места представлена на рисунке 2.6.

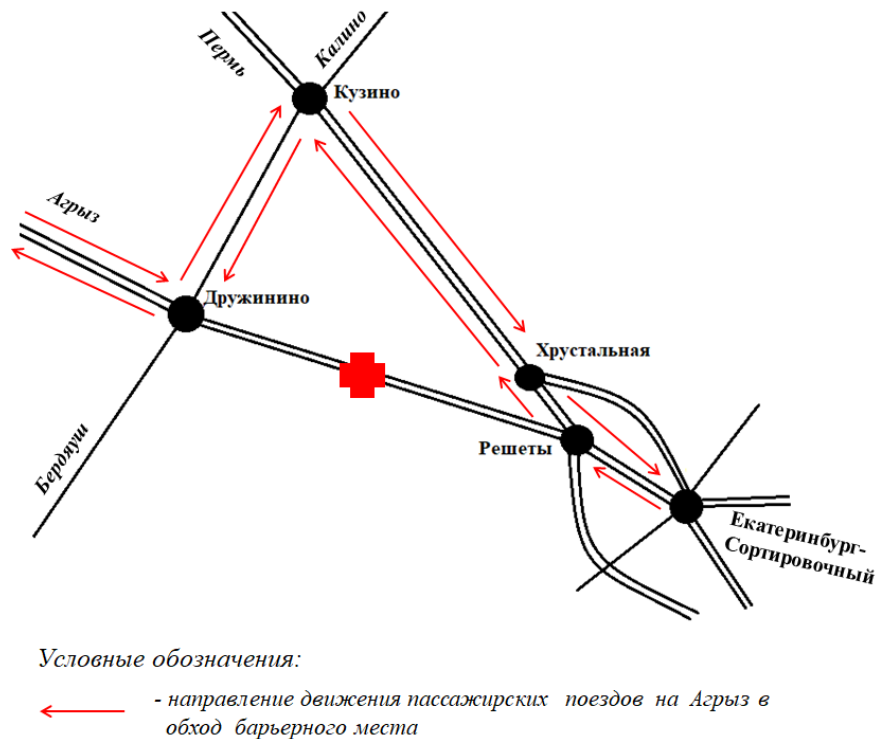


Рисунок 2.6 – Схема полигона Свердловской железной дороги с указанием барьерного места на перегоне Ильмовка – Ревда

Последствия транспортного происшествия были ликвидированы за 11 ч. 20 мин. Из-за высокой загруженности участка Екатеринбург-Сортировочный – Кузино в обход барьерного места не пропускались грузовые поезда, что повлияло на простой транзитных вагонов.

Подобный случай произошел на перегоне Лазарево – Щекино участка Тула – Орел Московской железной дороги 12.07.2020 г. в 14:13 (рисунок 2.7). В результате схода 22 полувагонов с окатышем было разрушено верхнее строение пути, нарушен габарит по обоим путям, разрушена контактная сеть.

Для ликвидации последствий на место транспортного происшествия были отправлены восстановительные поезда станций Орел (отправился в 15:04, прибыл на барьерное место в 18:00), Тула (отправился в 15:17, прибыл – в 15:38), Узловая (отправился в 15:27, прибыл – в 17:19). Для минимизации последствий от перерыва в движении поездов в обход барьерного места было организовано движение пассажирских поездов по маршруту Тула – Тихонова Пустынь – Сухиничи –

Брянск – Орёл (рисунок 2.8) Движение по одному из путей закрытого перегона было открыто 13.07.20 г. в 6:20, в 12:05 – по другому.

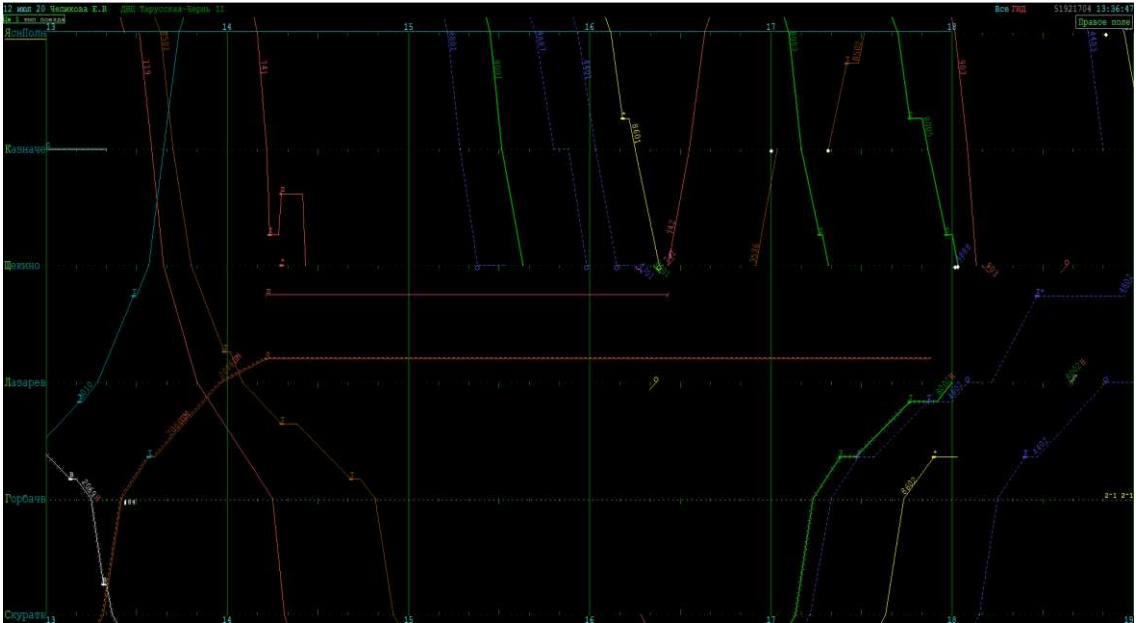
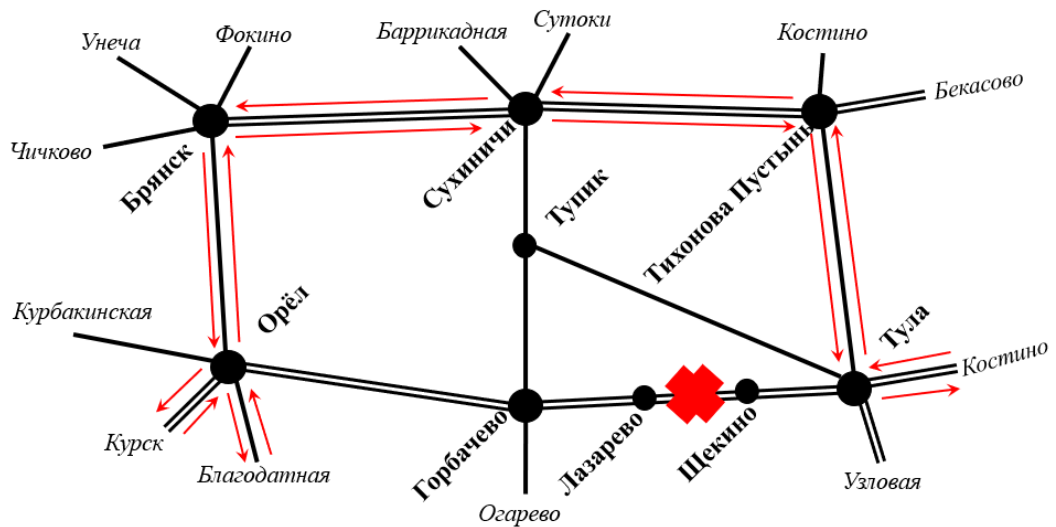


Рисунок 2.7 – Фрагмент графика исполненного движения по участку Тула – Орёл автоматизированной системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» от 12.07.2020 г.



Условные обозначения:

← - направление движения пассажирских поездов в обход барьерного места

Рисунок 2.8 – Схема полигона Московской железной дороги с указанием барьерного места на перегоне Лазарево-Щекино

При возможности в обход барьерного места пропускаются грузовые поезда. Примером подобного управленческого решения является организация движения

грузовых поездов при ликвидации последствий столкновения поездов на станции Купчинская, которое произошло 28.07.2020 г. в 14:00 (рисунок 2.9).

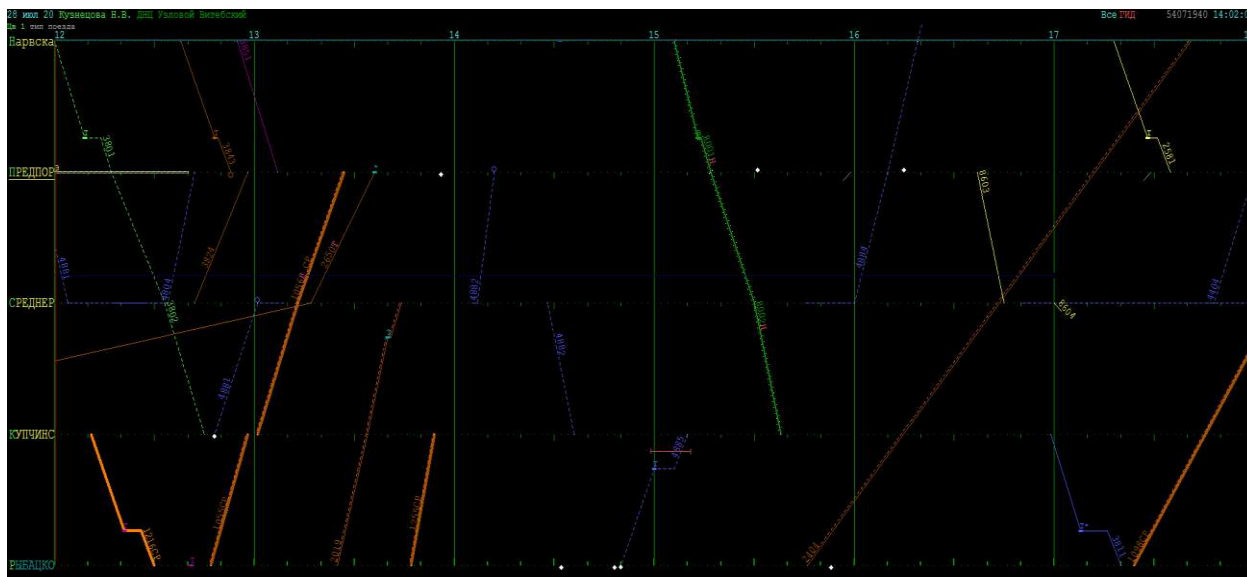


Рисунок 2.9 – Фрагмент графика исполненного движения по диспетчерскому участку Витебского узлового диспетчера автоматизированной системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» от 28.07.2020 г.

В результате столкновения было разрушено земляное полотно и контактная сеть, допущен сход локомотива и одного полувагона, движение со станции Купчинская в сторону станций Шушары, Автово и Новый Порт было полностью прекращено. Для ликвидации последствий транспортного происшествия были подняты восстановительные поезда со станций Волковская (отправился в 14:50, прибыл – в 15:38) и Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский (отправился в 15:03, прибыл – в 18:11 (долгое время находился на ст. Рыбацкое). В период производства аварийно-восстановительных работ грузовые поезда пропускались через Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский, Волковскую и Цветочную на припортовые станции, через Волковскую и Санкт-Петербург-Товарный-Витебский на Шушары (рисунок 2.10). Восстановительные работы были завершены 29.07.2020 г. в 23:00.

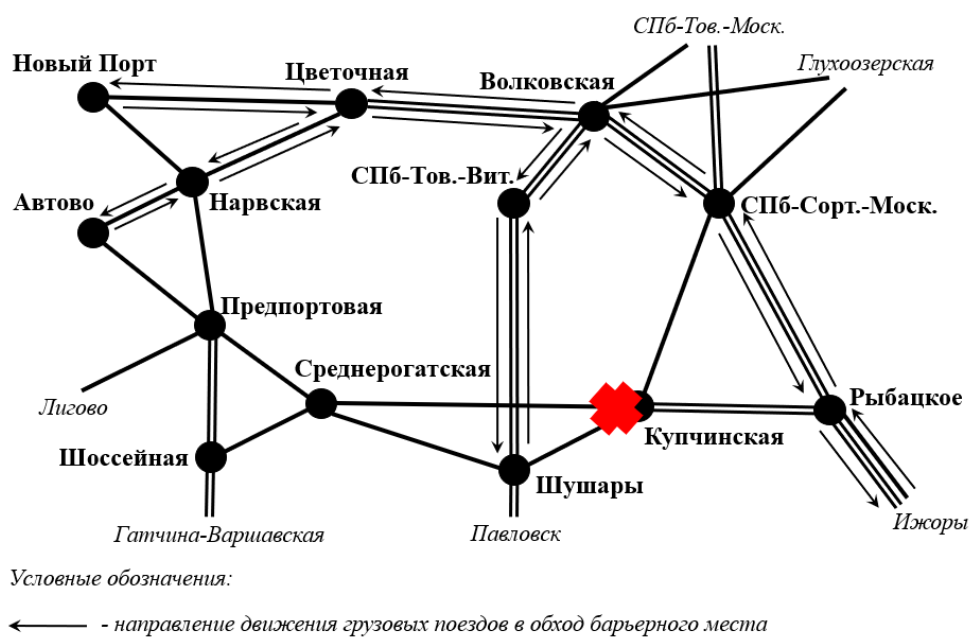


Рисунок 2.10 – Схема полигона Октябрьской железной дороги с указанием барьерного места на станции Купчинская

Вероятны ситуации, когда восстановление линии не может быть осуществлено на протяжении длительного времени, в связи с чем пропуск поездов в обход барьерного места является единственным возможным вариантом, несмотря на сложность его реализации.

В качестве подобного примера можно рассмотреть обрушение железнодорожного моста через реку Кола 1.06.2020 г., связывающего ст. Выходной со ст. Кола, вследствие чего движение поездов в сторону ст. Мурманск было полностью приостановлено. Возведение временных мостовых конструкций в условиях пропуска груженых поездов в сторону ст. Мурманск не являлось надежным и долгосрочным вариантом и не смогло бы обеспечить необходимый уровень безопасности движения. Поэтому было принято решение о следовании пассажирских поездов до ст. Выходной с высадкой пассажиров и доставкой их до ст. Мурманск автомобильным транспортом.

Движение грузовых поездов было решено организовать через ст. Мурмаши и ст. Кола по существующей однопутной неэлектрифицированной линии. Поэтому в месте перспективного поста 9 км был уложен стрелочный перевод и подведена железнодорожная линия от ст. Выходной, тем самым соединив ст. Выходной и

существующую линию. При организации движения необходимо было учесть следующее:

- 1) Линия от ст. Мурмаши до ст. Кола не электрифицирована, как и планируемая линия от ст. Выходной до Поста 9 км.
- 2) Необходимость обеспечения движения порожних грузовых поездов от ст. Мурманск на ст. Выходной и груженых поездов от ст. Выходной к морским терминалам, примыкающим к ст. Мурманск в наибольшем объеме.
- 3) Движение на вновь построенной линии могло осуществляться с пониженными скоростями и по телефонограммам, и только через некоторое время была возможна установка устройств СЦБ и повышение скоростей движения грузовых поездов.

С учетом этих условий была предложена схема движения грузовых поездов, представленная на рисунке 2.11. Фрагмент реализованного графика движения поездов представлен на рисунке 2.12.



Рисунок 2.11 – Схема организации движения на участке Выходной – Мурмаши – Кола.



Рисунок 2.12 – Схема организации движения на участке Выходной – Мурманши – Кола (фрагмент графика движения поездов)

Грузовые поезда со ст. Шонгуй прибывали на ст. Выходной с электровозом. Производилась прицепка тепловозов с головы и хвоста прибывшего поезда. На ст. Мурманск также к сформированному поезду прицеплялся электровоз и по тепловозу с головы и хвоста. Поезда со ст. Мурманск с порожними вагонами следовали до ст. Мурманши, где происходила передача тормозов с одного тепловоза на другой.

В это время со ст. Выходной после получения путевой записки отправлялся грузовой поезд до Поста 9 км с остановкой за уложенным стрелочным переводом. Происходила передача тормозов с одного тепловоза на другой, смена направления движения, выдача путевой записки, приготовление маршрута и отправление поезда на ст. Кола и далее на Мурманск.

После освобождения пути на Посту 9 км происходили обмен телефонограммами между станциями Мурманши и Пост 9 км, выдача путевой записки машинисту головного тепловоза, приготовление маршрута и отправление поезда со ст. Мурманши на ст. Выходной, где производились отцепка тепловозов, проба тормозов от электровоза и отправление поезда в сторону ст. Шонгуй. В

настоящий момент железнодорожный мост между станциями Кола и Выходной восстановлен и поезда следуют в установленном до аварии режиме.

Детальному анализу подверглись случаи нарушения безопасности движения, произошедшие 1.01.2019 г. на перегоне Храмцовская – Марамзино Свердловской железной дороги и станции Свободный 9.10.2018 г. Забайкальской железной дороги [58, 77] Анализ этих случаев позволил сравнить процесс развития поездной ситуации в двух характерно отличающихся случаях организации движения в течение аварийно-восстановительных работ: с возможностью отклонения поездопотоков или их некоторой части по другим участкам в обход барьерного места и без нее.

В 2:40 по московскому времени 1.01.2019 г. на перегоне Храмцовская – Марамзино участка Каменск-Уральский – Арамиль произошел сход 16 груженых вагонов с нарушением габарита по соседнему пути и повреждением контактной сети (рисунок 2.13). Для восстановления движения были подняты два восстановительных поезда. Движение по одному пути было восстановлено 1.01.2019 в 8:22 по московскому времени, движение по второму пути – 1.01.2019 в 22:52 по московскому времени [58].



Рисунок 2.13 – Фрагмент графика исполненного движения по участку Каменск-Уральский – Арамиль автоматизированной системы ГИД-Урал-ВНИИЖТ от 1.01.2019 г.

В течение времени выполнения аварийно-восстановительных работ часть пассажирских и грузовых поездов была пропущена через станцию Богданович (рисунок 2.14), при этом пригородные поезда двигались до станций Марамзино и Храмцовская, сообщение между которыми осуществлялось автобусами. Часть грузовых поездов была отставлена от движения на соседних диспетчерских участках.

Полученные с помощью ГИД «Урал-ВНИИЖТ» сведения позволили построить график зависимости общего количества вагонов на полигоне Свердловской дороги, состоящем из участков Каменск-Уральский — Арамиль и смежных участков от ст. Седельниково, Шарташ и Косулино со стороны ст. Арамиль, а также участков от ст. Богданович, Колчедан и Нижняя со стороны ст. Каменск-Уральский (рисунок 2.15) [58]. Динамика наличия вагонов на указанных участках отдельно представлена на рисунке 2.16.

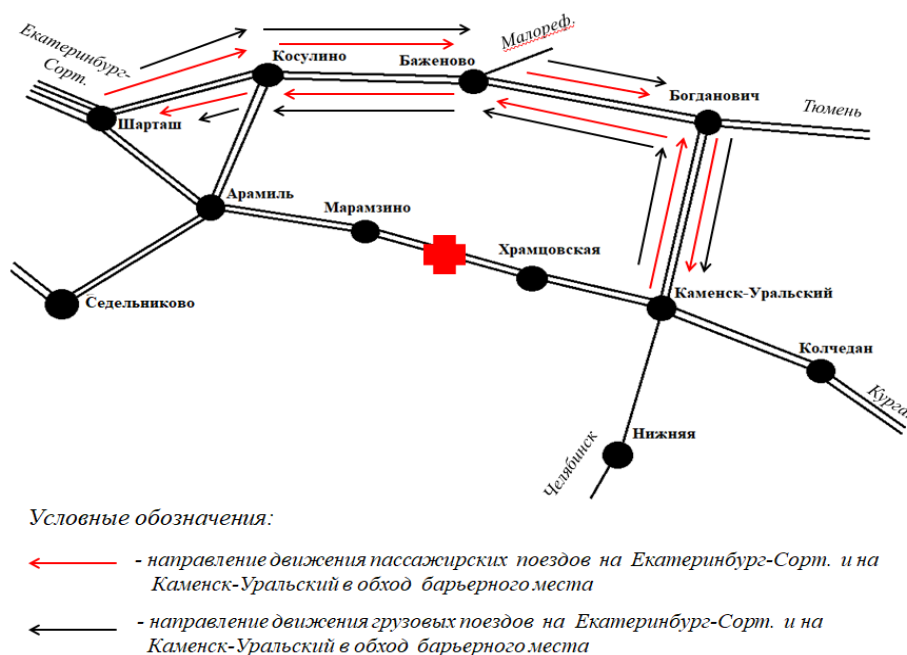


Рисунок 2.14 – Схема полигона Свердловской железной дороги с указанием барьерного места на перегоне Храмцовская – Марамзино

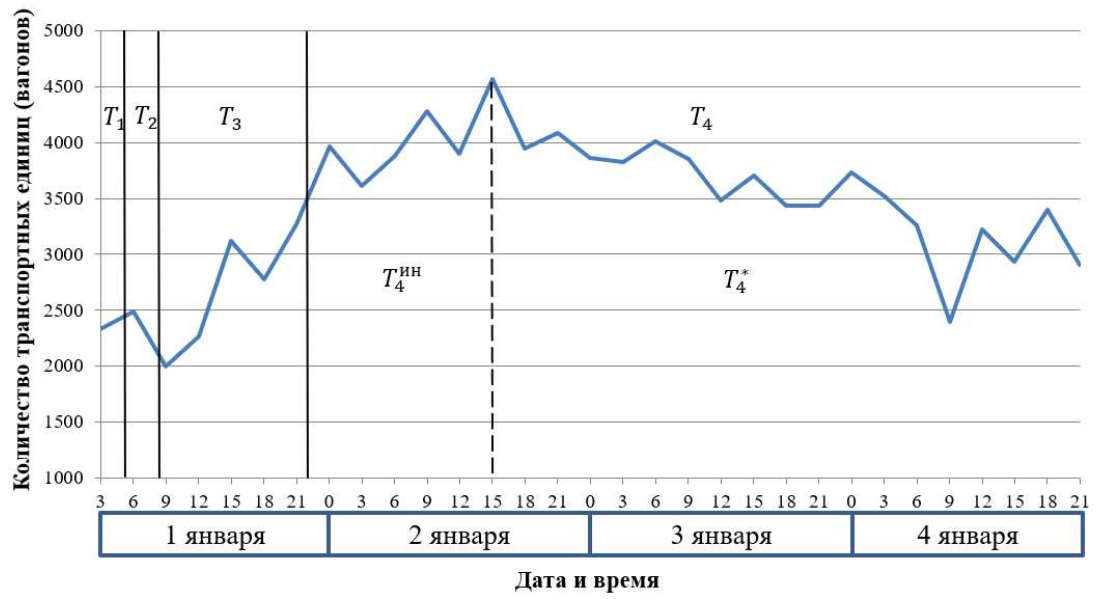


Рисунок 2.15 – Динамика наличия вагонов на рассматриваемом полигоне Свердловской железной дороги



Рисунок 2.16 – Динамика наличия вагонов на железнодорожных участках рассматриваемого полигона Свердловской железной дороги

Отметим на рисунке 2.16 интервалы T_1 , T_2 , T_3 , T_4 . После возникновения барьерного места на перегоне Храмцовская – Марамзино незначительно возрастает количество вагонов на соседних участках; количество вагонов на участке Каменск-Уральский – Арамиль остается примерно на одном уровне. Однако после восстановления движения на обоих путях повышается количество вагонов на соседних участках. Затем ситуация стабилизируется: количество вагонов на прилегающих участках уменьшается, а на участке Каменск-Уральский – Арамиль – постепенно увеличивается.

Общее количество вагонов на рассматриваемых участках за период времени T_4 будет сначала увеличиваться, а затем снижаться. Это говорит о том, что в реальных условиях после образования барьерного места грузовые поезда, следующие через рассматриваемый участок, ожидают на подходах к барьерному месту, а также на станциях их формирования. После частичного восстановления пропускной способности осуществляется подвод поездов к рассматриваемому участку, а затем постепенно поездная ситуация стабилизируется.

При этом отклонение поездов в случаях с разветвленными полигонами не всегда возможно. Объективными причинами отказа от такой меры могут быть:

- более высокие затраты от продвижения поезда «кружностью» по сравнению с общими потерями от простоя поездов на подходах к барьерному месту;
- изменение видов тяги на участках, входящих в маршрут в обход барьерного места, и недостаток соответствующих локомотивов;
- превышение весовых норм участков, входящих в маршрут в обход барьерного места, отклоняемыми поездами (из-за чего необходимы подталкивающие локомотивы или отцепка части вагонов на технических станциях);
- отсутствие инфраструктурных возможностей для смены направления поезда (отсутствие приемоотправочных путей определенной длины, позволяющих принять грузовой поезд; взаимное расположение парков узловых станций, не позволяющее осуществить смену направления).

Примером невозможности пропуска поездов в обход является случай обвала путепровода, произошедший на станции Свободный 9.10.2018 г. в 4:36 по московскому времени, результатом которого стало образование барьерного места на участке Шимановская – Возжаевка Забайкальской железной дороги с полной потерей пропускной способности (Рисунок 2.17).

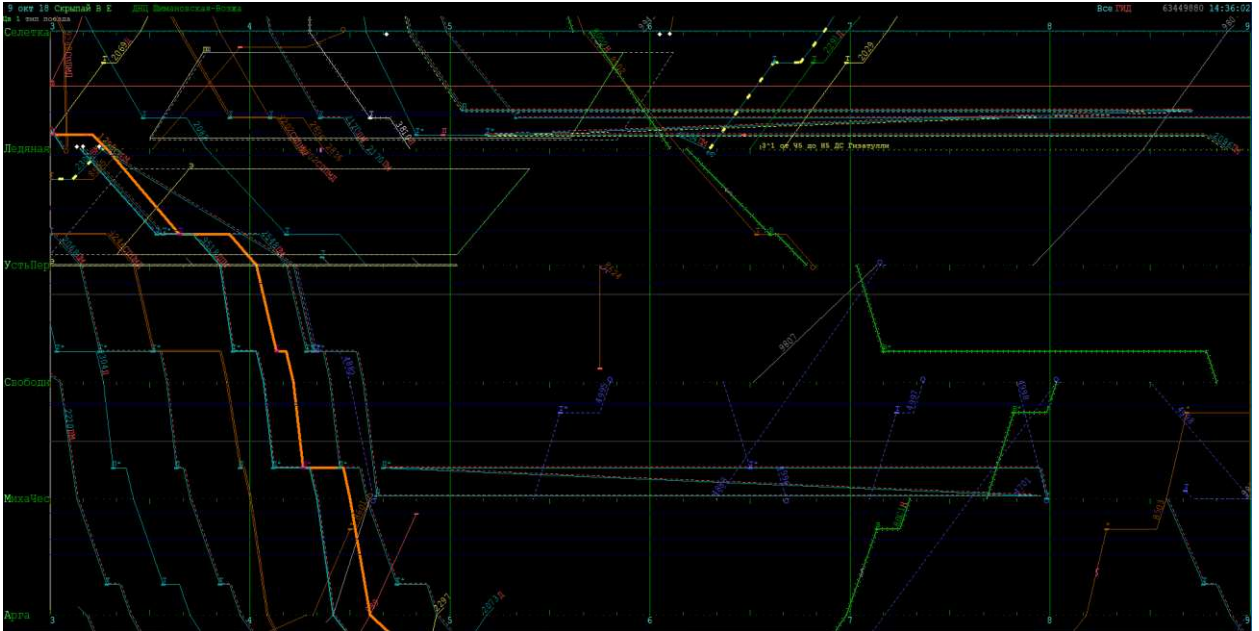


Рисунок 2.17 – Фрагмент графика исполненного движения по участку Гудачи – Возжаевка автоматизированной системы ГИД-Урал-ВНИИЖТ от 9.10.2018 г.

В результате обвала путепровода были перекрыты оба главных пути. Для ликвидации последствий возникшей чрезвычайной ситуации были задействованы восстановительные поезда станций Белогорск (отправился со станции в 5:53 и прибыл на место проведения аварийно-восстановительных работ в 8:02) и Шимановская (отправился в 5:14 – прибыл на место проведения аварийно-восстановительных работ в 8:50).

Один из главных путей был открыт для пропуска поездов 9.10.2018 г. в 18:30. Через него был организован пропуск остановленных пассажирских поездов и части «брошенных» грузовых поездов. Пропускная способность линии была полностью восстановлена 10.09.2018 г. в 21:08 по московскому времени. Схема полигона Забайкальской железной дороги с указанием барьерного места представлена на рисунке 2.18.

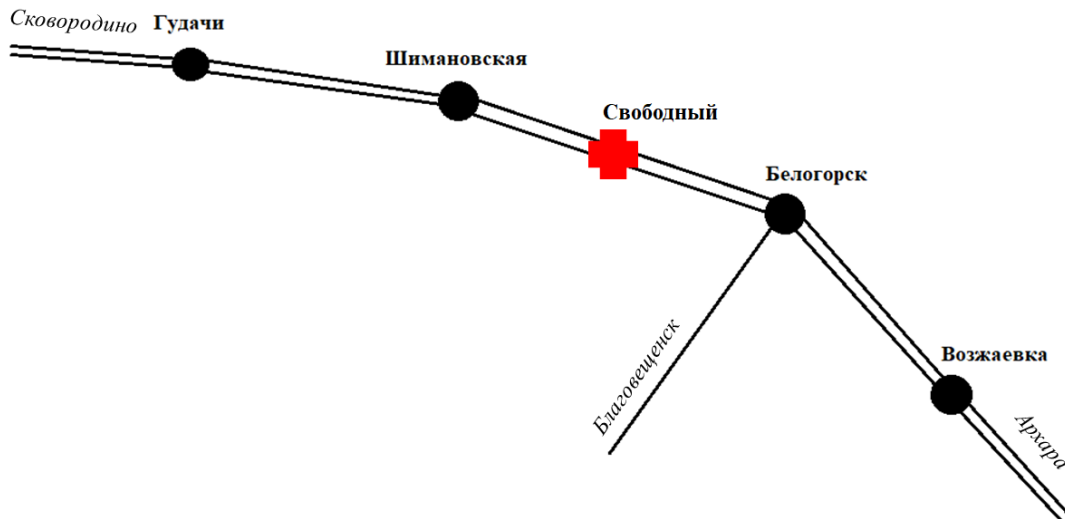


Рисунок 2.18 – Схема полигона Забайкальской железной дороги с указанием барьерного места на перегоне Гудачи – Возжаевка

Изменение количества вагонов на участках Гудачи-Шимановская, Шимановская-Архара и Архара-Возжаевка представлено на рисунке 2.19. Аналогично предыдущему случаю проанализируем данное транспортное происшествие. Процесс изменения количества вагонов на участках в реальных условиях выглядит иначе, чем это было представлено на модели. Например, за период времени T_3 на всех рассматриваемых участках количество транспортных единиц снижается, затем достигает предыдущего уровня и увеличивается. Характеры изменения графиков за период T_4 отличаются: если на участке Гудачи-Шимановская количество вагонов снижается, то на участке Шимановская-Архара оно колеблется примерно на одном уровне, а на участке Архара-Возжаевка сначала увеличивается, затем остается примерно одинаковым.

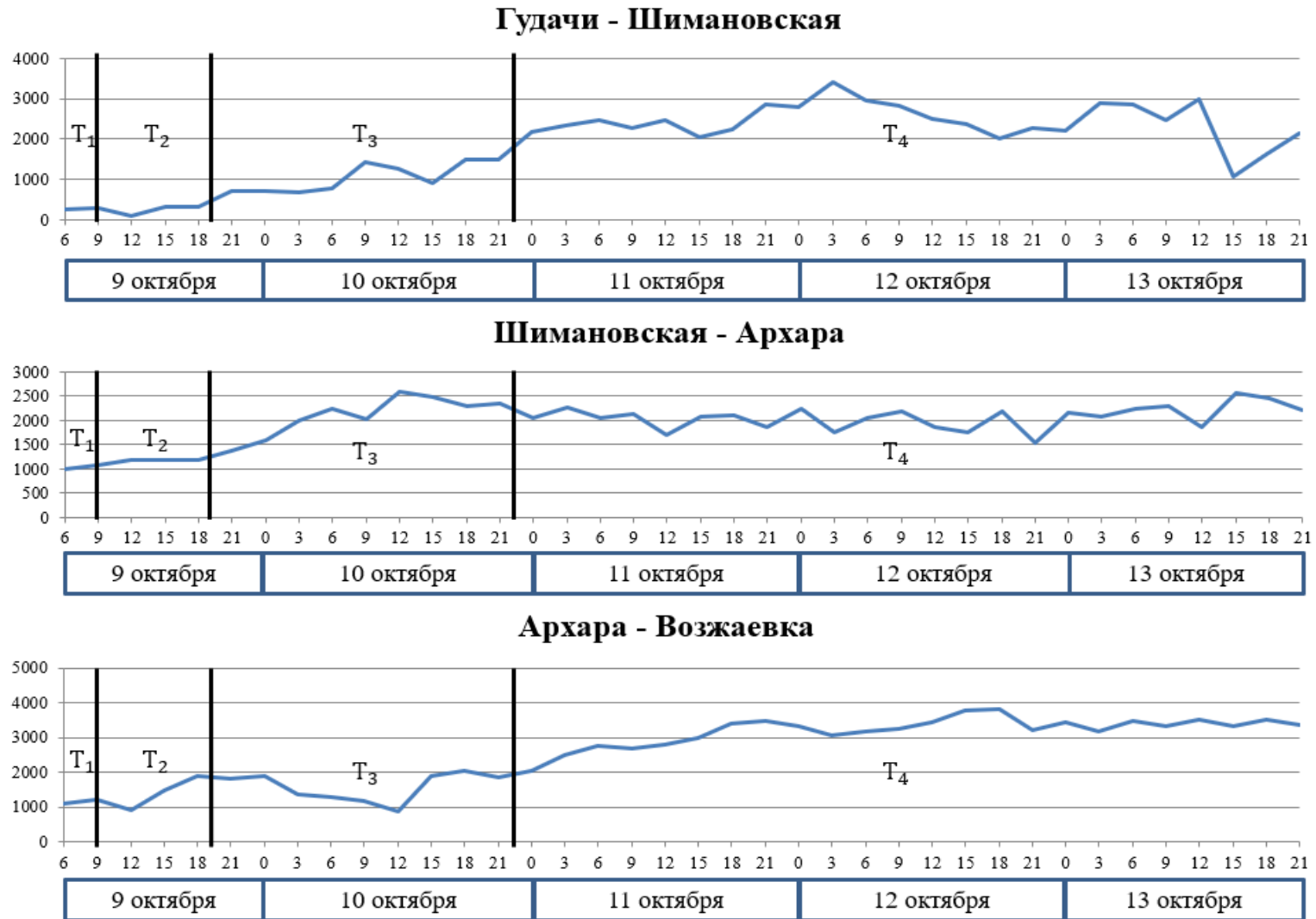


Рисунок 2.19 – Динамика наличия вагонов на железнодорожных участках рассматриваемого полигона Забайкальской железной дороги

Динамика наличия вагонов на рассматриваемом полигоне представлена на рисунке 2.20.

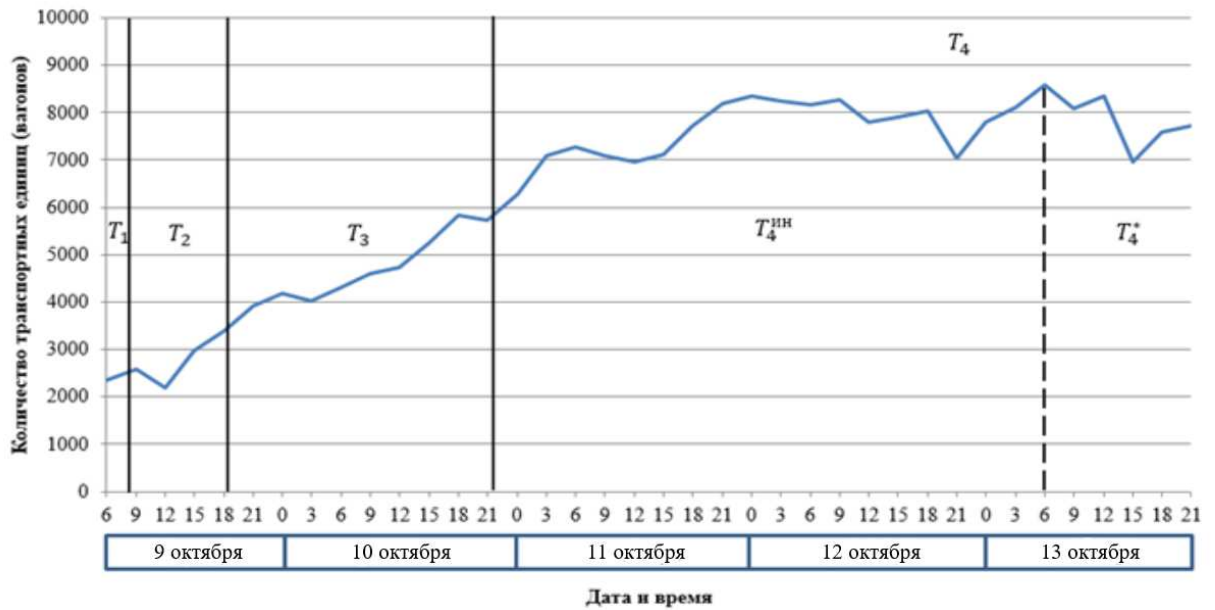


Рисунок 2.20 – Динамика наличия вагонов на рассматриваемом полигоне
Забайкальской железной дороги

Количество единиц транспортного потока растет, согласно предполагаемому поведению системы, до периода T_3 . За период T_3 количество транспортных единиц продолжает увеличиваться примерно с той же скоростью. Это связано с поступлением поездов на участок Шимановская-Архара из участков Архара - Возжаевка и Гудачи - Шимановская. При этом на участок Гудачи - Шимановская величина входящего потока транспортных единиц по-прежнему превышает величину исходящего потока, что говорит, о поступлении большого количества грузовых поездов в систему трех участков извне. Однако при анализе периода T_4 очевидна тенденция к снижению количества единиц транспортного потока на участках. Кратковременные повышения числа вагонов связаны с поступлением сдвоенных поездов друг за другом.

При рассмотрении графика исполненного движения поездов, а также при анализе хроники транспортного происшествия были выявлены следующие регулировочные меры:

- 1) Вынужденная отстановка грузовых поездов от движения на станциях рассматриваемого участка и на подходах к рассматриваемому участку из-за невозможности пропуска через станцию Свободный. Такая мера также позволила оставить необходимые пути для пропуска восстановительных и хозяйственных подвижных единиц к барьерному месту;
- 2) Формирование сдвоенных грузовых поездов на технических станциях для организации движения в условиях ограниченной пропускной способности линии;

Для оценки влияния наличия возможности обхода барьерного места на поездную ситуацию на рассматриваемых полигонах сведем изменение количества транспортных единиц за периоды времени T_1 , T_2 , T_3 в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Изменение количества транспортных единиц на полигонах при транспортных происшествиях Храмцовская - Марамзино и ст. Свободный

Периоды времени	Транспортные происшествия			
	Храмцовская-Марамзино		Свободный	
	Т, ч	ΔР, вагонов	Т, ч	ΔР, вагонов
T_1	1,82	-3	3,43	549
T_2	3,95	167	10,47	993
T_3	14,5	420	26,63	2298

Продолжительность этапов восстановления инфраструктурных мощностей напрямую зависит от сложности процесса ликвидации последствий транспортного происшествия. Сравнение соответствующих значений периодов T_1 , T_2 , T_3 рассматриваемых происшествий показывает, что сложность аварийно-восстановительных работ на ст. Свободный выше, чем на перегоне Храмцовская-Марамзино. Значение величины ΔР свидетельствует о накоплении вагонов на рассматриваемом полигоне, т.е. чем больше эта величина, тем больше вагонов

накопилось на рассматриваемом полигоне за определенный период времени. Отрицательное значение этой величины указывает на то, что количество отправившихся вагонов с полигона превышает количество поступивших на полигон. Очевидно, значение величины ΔP для каждого из периодов времени T_1 , T_2 , T_3 окажется значительно меньшим в первом случае. Причиной такой разницы значений в разных случаях является не только более низкая продолжительность этапов восстановления инфраструктурных мощностей, но и наличие маршрута пропуска грузовых поездов в обход барьерного места. Наличие обходного маршрута позволило частично обеспечить отправление вагонов с полигона.

Для рассмотренных случаев нарушения безопасности движения на ст. Свободный и на перегоне Храмцовская – Марамзино характерной является инерционность процесса накопления вагонов после восстановления пропускной способности в течение периодов времени $T_4^{\text{ин}}$ (рисунки 2.14, 2.19). При детальном анализе графиков динамики накопления единиц транспортного потока на полигонах и графиков исполненного движения в информационной системе ГИД «Урал-ВНИИЖТ» было выявлено, что на момент окончания периода T_3 на рассматриваемых полигоне отставляются от движения большое количество грузовых поездов. Для рационального использования в условиях ограниченных тяговых ресурсов поездные локомотивы из-под «брошенных» поездов перераспределяются на другие участки, на которых возможно выполнение эксплуатационной работы (рисунок 2.21) [58].

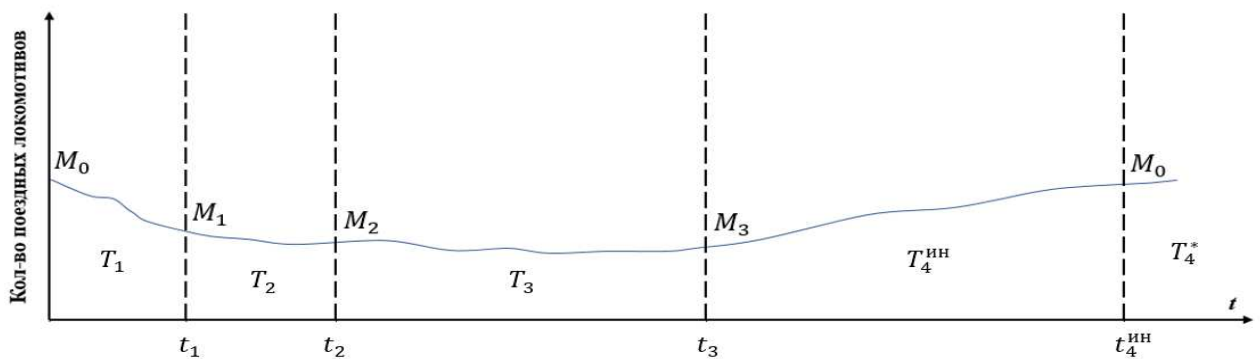


Рисунок 2.21 – Изменение количества локомотивов в течение различных периодов выполнения аварийно-восстановительных работ

После завершения аварийно-восстановительных работ доступные тяговые ресурсы используются дежурно-диспетчерским персоналом для возвращения в движение отставленных поездов. Однако недостаток поездных локомотивов на момент восстановления пропускной способности проблемных элементов инфраструктуры приводит к невозможности возвращения в движение всех отставленных поездов. В течение периода времени $T_4^{\text{ин}}$ происходит перераспределение поездных локомотивов и организация «подъема» отставленных поездов. Благодаря рациональному распределению тяговых ресурсов по итогам времени $T_4^{\text{ин}}$ поездная ситуация нормализуется, количество вагонов на полигоне постепенно снижается и в конце периода T_4 возвращается к исходному значению.

Таким образом, инерционность процесса накопления вагонов после полного восстановления пропускной способности является следствием недостатка тяговых ресурсов на участках, работу которых затронуло образование барьерного места.

Перераспределение локомотивов на различных этапах выполнения аварийно-восстановительных работ и после восстановления перевозочных мощностей поврежденных инфраструктурных элементов необходимо учесть в технологическом процессе представленной ранее имитационной модели. Количество локомотивов и их поведение в модели были скорректированы и приближены к реалистичным. Процесс накопления единиц транспортного потока в эксперименте на имитационной модели в зависимости от перевозочных мощностей представлен на рисунке 2.22 (вариант 1).

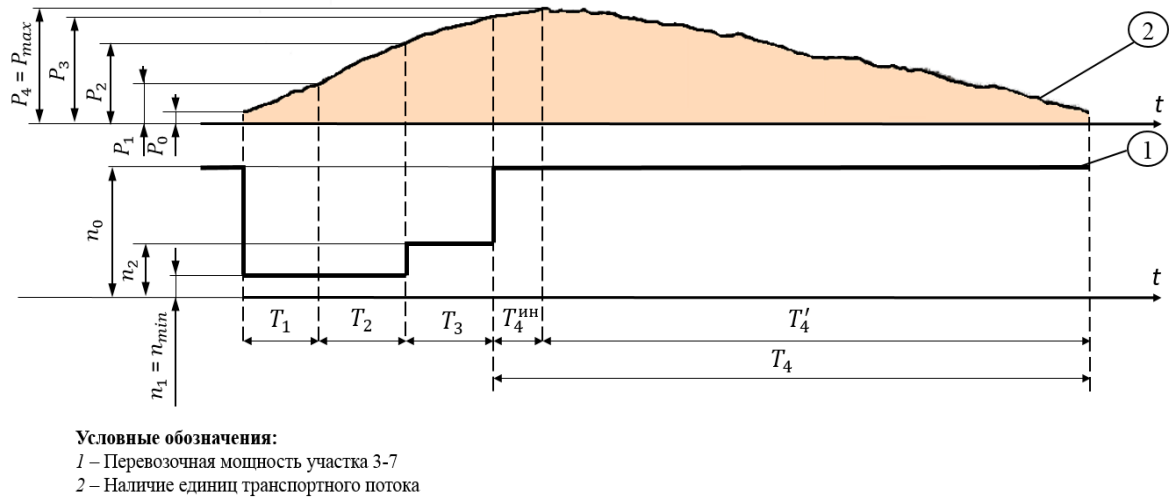


Рисунок 2.22 – Динамика изменения ключевых показателей перевозочного процесса на имитационной модели вследствие образования барьерного места с учетом ограничения в тяговых ресурсах

2.3. Влияние регулировочных мер дежурно-диспетчерского персонала на поездную ситуацию

Поскольку барьерные места могут влиять не только на работу диспетчерских участков, но и на технологические процессы на полигонах и направлениях, то выявленные регулировочные меры можно классифицировать в зависимости от масштабов их влияния на работу структурных подразделений. Классификация выявленных регулировочных мер представлена в таблице 2.2.

Полигонные меры применяются в том случае, когда эксплуатационных и инфраструктурных возможностей полигона достаточно для организации работы без влияния на технологический процесс работы смежных полигонов. Необходимость в крупномасштабных мерах возникает при влиянии барьерного места на работу нескольких полигонов и направлений. Крупномасштабные меры применяются при продолжительных затруднениях в работе полигонов, а также на направлениях с высокой интенсивностью движения поездов на них.

Таблица 2.2 – Классификация выявленных регулировочных мер в зависимости от масштаба влияния на работу подразделений сети

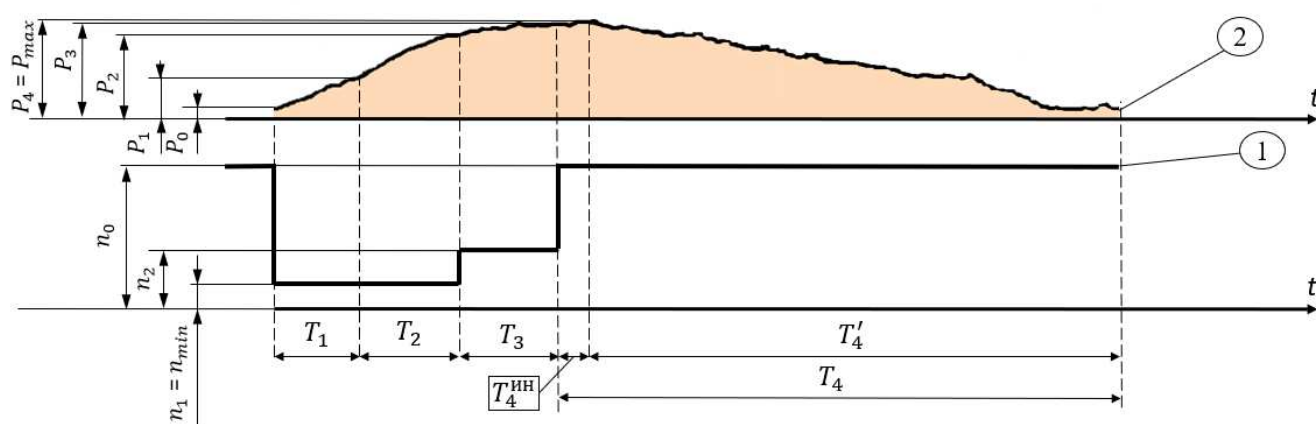
Полигонные	Крупномасштабные
<ul style="list-style-type: none"> • Отстановка поездов от движения на промежуточных и технических станциях полигона (вариант 1); • Формирование сдвоенных поездов (вариант 2); • Организация продвижения поездов в обход барьерного места за счет инфраструктурных возможностей полигона (вариант 3). 	<ul style="list-style-type: none"> • Регулирование подвода поездов к полигону, на котором возникло затруднение; • Ограничение погрузки вагонов на путях необщего пользования на направлениях; • Организация продвижения поездов в обход полигона, на котором возникло затруднение.

Построение имитационных моделей для оценки влияния крупномасштабных регулировочных мер на улучшение поездной ситуации при эксплуатационных затруднениях должно основываться на технологических процессах работы структурных подразделений, входящих в состав полигонов и направлений и учитывать значительное количество факторов и условий, что значительно усложняет построение имитационной модели.

Основной регулировочной мерой при затруднениях является отстановка поездов от движения на приемо-отправочных путях промежуточных и технических станций, поскольку она необходима для обеспечения пропуска внеочередных поездов и другого подвижного состава, отправляемого на участок для восстановления движения или тушения пожара (восстановительные и пожарные поезда, дрезины и др.), а также для приоритетного пропуска поездов отдельных категорий (скоростные, пассажирские и др.).

Скорректируем технологический процесс модели таким образом, что в течение периода T_3 (после восстановления части перевозочной мощности) и периода T_4 (после полного восстановления пропускной способности) при наличии 2-х и более поездов на «счетчиках» (бункеры модели «Накопление составов на

подходах» (чет. и неч.)) происходит формирование сдвоенных грузовых поездов. Маршрут движения поездов аналогичен тому, который описан в п. 2.1 диссертационного исследования. Процесс накопления единиц транспортного потока на полигоне с формированием сдвоенных поездов в зависимости от перевозочной мощности участка 3 – 7 представлен на рисунке 2.23. Перераспределение тяги (отцепка локомотива от остановившегося состава и последующим следованием резервом до пункта оборота) происходит в случае, если поезда стоят без отправления более 6 часов.



Условные обозначения:

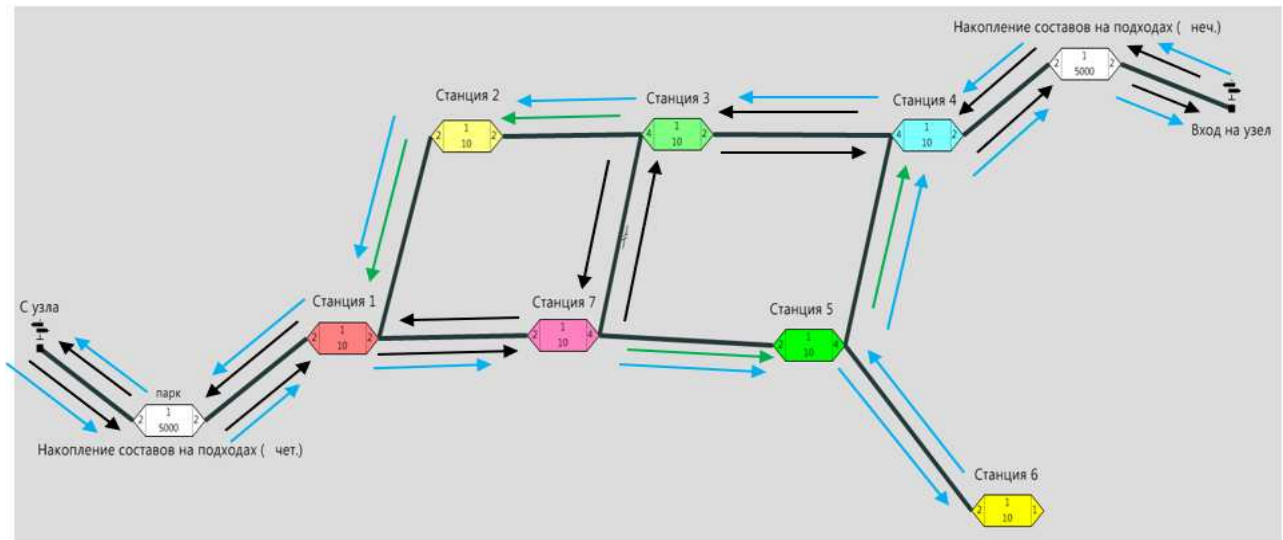
- 1 – Перевозочная мощность участка 3-7
- 2 – Наличие единиц транспортного потока

Рисунок 2.23 – Динамика изменения ключевых показателей перевозочного процесса при образовании барьерного места и организации пропуска сдвоенных поездов

Эффективность формирования сдвоенных поездов как регулировочной меры определяется техническими возможностями участка, на котором восстанавливается движение поездов, в т. ч. типом устройств СЦБ, протяженностью участка.

Для анализа влияния пропуска поездов в обход барьерного места на развитие поездной ситуации после возникновения транспортного происшествия в имитационную модель были добавлены технологические цепочки, моделирующие пропуск поездопотоков альтернативными маршрутами (На рисунке 2.24 показана

схема организации движения с пропуском поездов в обход барьерного места на участке 3 – 7).



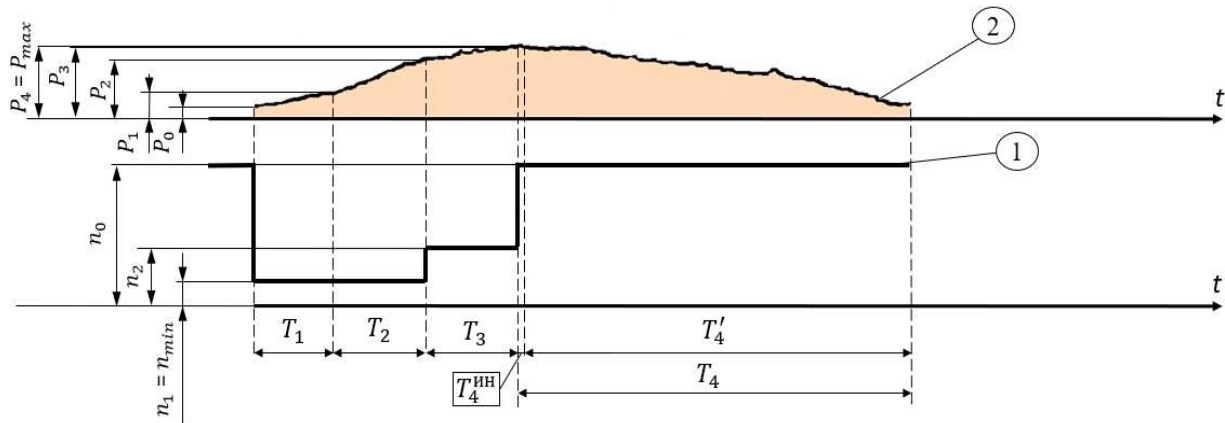
Условные обозначения:

- ▶— - направление движения анализируемых поездопотоков
- ▶— - направление движения прочих поездопотоков
- ▶— - альтернативные направления движения анализируемых поездопотоков

Рисунок 2.24 – Схема модели полигона с указанием схемы организации движения поездов с возможностью пропуска в обход в автоматизированной системе ИМ ЖНУ

Процесс накопления единиц транспортного потока на полигоне с пропуском поездов в обход барьерного места в зависимости от перевозочной мощности участка 3 – 7 представлен на рисунке 2.25.

Эффективность пропуска поездов в обход места производства аварийно-восстановительных работ определяется техническим оснащением альтернативных маршрутов следования поездов, а также доступными ресурсами пропускной способности после пропуска поездов, для которых маршрут обхода является основным.



Условные обозначения:

1 – Перевозочная мощность участка 3-7

2 – Наличие единиц транспортного потока

Рисунок 2.25 – Динамика изменения ключевых показателей перевозочного процесса при образовании барьерного места и организации движения в обход транспортного происшествия

Также были произведены имитационные исследования применения других регулировочных мер форсирования пропускной способности, таких как одностороннее движение поездов по двум параллельным путям (вариант 4), колебательное движение поездов на однопутном участке (вариант 5). Реализация этих мер требует наличия дополнительного количества приемо-отправочных путей на станциях хотя бы с одной стороны от барьерного места, поскольку необходимо обеспечивать пропуск поездов в одном направлении пакетами.

Длительность периодов выполнения аварийно-восстановительных работ и количество накопленных единиц транспортного потока на направлении по итогам периодов аварийно-восстановительных работ и применении регулировочных мер представлены в таблице 2.3. Изменение количества поездов визуальное отображено на рисунке 2.26.

Таблица 2.3 – Количественные результаты имитационного моделирования вариантов развития поездной ситуации

Вариант	Характеристика	Периоды аварийно-восстановительных работ				
		T_1	T_2	T_3	$T_4^{\text{ИН}}$	T_4'
1	Δt , ч	8	12	12	5,2	37
	P , поездов	21	52	75	83	7
2	Δt , ч	8	12	12	2,6	18
	P , поездов	19	49	58	60	6
3	Δt , ч	8	12	12	1,2	11
	P , поездов	13	22	28	29	4
4	Δt , ч	8	12	12	3,8	24
	P , поездов	19	49	70	73	5
5	Δt , ч	8	12	12	5,1	33
	P , поездов	21	54	64	71	8

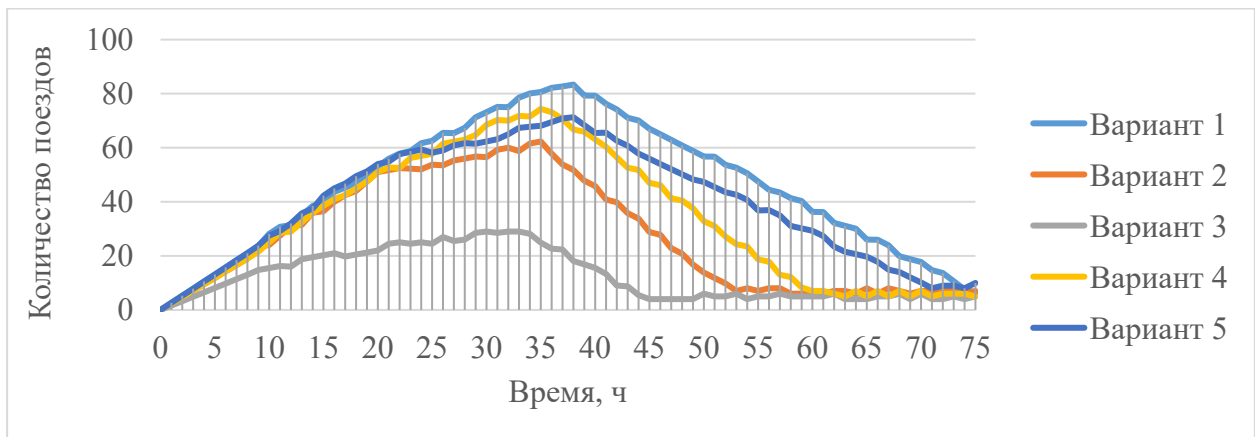


Рисунок 2.26 – Динамика изменения количества единиц транспортного потока в имитационной модели при различных вариантах организации движения

Величина периода $T_4^{\text{ИН}}$ в варианте 3 является наименьшей, поскольку случаев перераспределения локомотивов в нем значительно меньше по сравнению с другими вариантами. Из-за достаточности резервов пропускной способности практически не возникало необходимости «бросания» поездов на «счетчиках»

имитационной модели. По этой же причине накопление единиц транспортного потока в варианте 3 по итогам периодов $T_1, T_2, T_3, T_4^{\text{ин}}$ является минимальным. Наименьшее значение единиц транспортного потока по итогам периода $T_4^{\text{ин}}$, в свою очередь, определяет минимальное время нормализации поездной ситуации T_4' .

Периоды T_1, T_2, T_3 при применении различных регулировочных мер имели фиксированную протяженность, однако в случаях нарушения безопасности движения, происходящих на сети ОАО «РЖД», эти периоды определяются временем доставки восстановительных поездов к месту выполнения аварийно-восстановительных работ, сложностью и масштабами последствий транспортного происшествия. Для уменьшения времени доставки восстановительного поезда используют маневровые локомотивы, обычно задействованные в станционной работе. Скорость выполнения аварийно-восстановительных работ увеличивают за счет привлечения работников и технических устройств не одного, а нескольких ближайших восстановительных поездов.

2.4. Выводы по главе 2

1. Процесс возникновения транспортных происшествий является непредсказуемым, что делает невозможным выбор эффективных мест дислокации восстановительных поездов на основе анализа статистики возникновения случаев нарушения безопасности движения.

2. Ухудшение поездной ситуации определяется рядом факторов, таких как исходные инфраструктурные возможности направления, масштабы влияния последствий транспортного происшествия на инфраструктурные возможности, а также интенсивность движения через проблемный элемент.

3. Выделены четыре периода времени восстановления движения в случае возникновения барьерного места: 1) период времени, в течение которого резко понижается пропускная способность, единицы транспортного потока начинают накапливаться, а восстановительный поезд доставляется к месту проведения аварийно-восстановительных работ; 2) период времени, по итогам которого восстанавливается часть перевозочной мощности для возобновления движения

поездов; 3) период времени, в течение которого снижается темп накопления единиц транспортного потока, и завершаются восстановительные работы; 4) период времени, в течение которого поездная ситуация возвращается к исходному состоянию.

4. Для минимизации последствий влияния барьерного места дежурно-диспетчерский персонал применяет регулировочные меры. Характер регулировочных мер основан на исходных данных о затруднениях вследствие транспортного происшествия и технических возможностях инфраструктурных подразделений, таких как возможность обхода, наличие приемоотправочных путей определенной длины и т.д. В диссертационном исследовании был рассмотрен ряд случаев нарушения безопасности движения, в результате анализа которых была выявлена инерционность процесса накопления вагонов после восстановления перевозочных мощностей поврежденных элементов, а также классифицированы регулировочные меры по масштабу влияния на работу подразделений сети.

При помощи имитационного моделирования было рассмотрено влияние полигонных регулировочных мер, применяемых дежурно-диспетчерским персоналом, на поездную ситуацию после возникновения барьерного места. Базовой регулировочной мерой, которая применяется в случае ограниченных технических возможностей полигона, является вынужденная отстановка поездов от движения. Наименьшее количество транспортных единиц накапливается при наличии возможности обхода барьерного места, что позволяет при использовании резервов пропускной способности обходных направлений снизить интенсивность движения через поврежденный элемент и ускорить темпы стабилизации эксплуатационной обстановки. В результатах имитационных экспериментов, представленных в таблице 2.3, максимальное количество поездов для варианта с возможностью обхода на 63% меньше количества единиц, полученного в варианте с использованием отстановок от движения, и составляет 28 поездов. Протяженность интервала нормализации поездной ситуации в варианте с возможностью обхода на 71% меньше, чем в варианте только с отстановкой от движения, и составляет 12,2 часа.

3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ Поездов

3.1. Формулирование составляющих алгоритма выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов

Существенные изменения поездной обстановки вследствие эксплуатационных затруднений характеризуются наличием полигона распространения затруднения и полигона регулирования, границы которых изменяются [77]. Полигон распространения затруднения определяется инфраструктурными элементами, работу которых затронули эксплуатационные затруднения. Повреждения элемента инфраструктуры, отказ которого не приводит к существенным ограничениям для установленной технологии работы станции, ограничивают полигон распространения станцией или маневровым районом. Однако если затруднения возникают на объекте с интенсивным движением и высокой суточной загруженностью, то размеры полигона распространения увеличиваются и достигают размеров железнодорожных узлов, участков и направлений (рисунок 3.1).

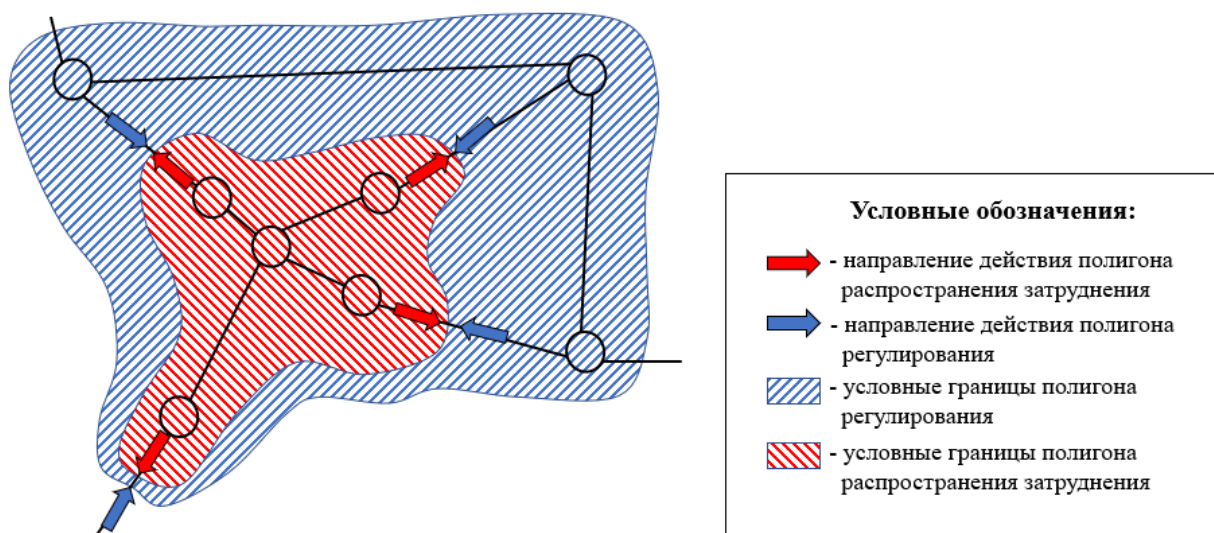


Рисунок 3.1 – Полигон распространения затруднения и полигон регулирования

Размеры полигона регулирования определяются величиной полигона распространения затруднения и характеризуются действиями дежурно-диспетчерского персонала.

Скорость расширения полигона распространения затруднения напрямую зависит от времени, в течение которого затруднение влияет на технологию работы станции, узла, участка, направления. Важность обеспечения своевременной доставки восстановительного поезда к месту возникновения транспортного происшествия обусловлена снижением времени расширения полигона распространения затруднений и уменьшением количества принимаемых управленческих решений для стабилизации поездной ситуации. Скорость доставки восстановительного поезда, кроме технологических ограничений, напрямую зависит от дальности пункта постоянной дислокации от места вероятного возникновения транспортного происшествия.

Общее количество восстановительных поездов VP на сети железных дорог должно определяться не только общей протяженностью железнодорожных линий и размерами движения на каждом участке, но и конкретным расположением восстановительных средств. Под схемой размещения восстановительных поездов понимается взаимосвязь количества восстановительных поездов с местами их расположения. Схема размещения определяется факторами, представленными на рисунке 3.2.

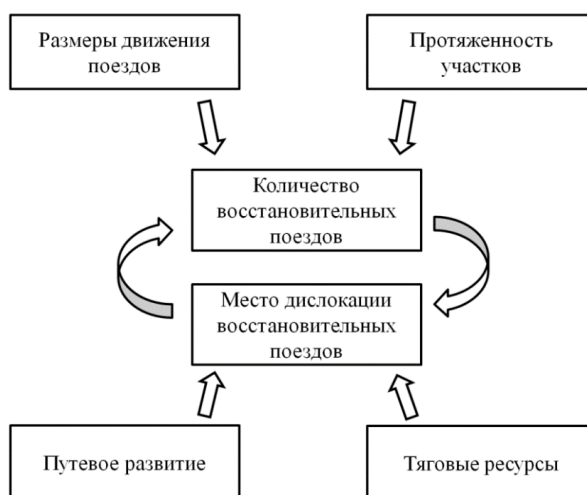


Рисунок 3.2 – Исходные данные, влияющие на выбор мест размещения восстановительных поездов на полигонах железнодорожной сети

Как правило, восстановительные поезда размещаются в крупных железнодорожных узлах, на технических, участковых, сортировочных станциях, обладающих необходимыми тяговыми ресурсами и путевым развитием. Станции постоянной дислокации восстановительных поездов характеризуются наличием локомотивного депо, а также большими размерами движения на прилегающих участках или существенной маневровой работой на станции. В случае возникновения транспортного происшествия локомотив для восстановительного поезда запрашивается из депо, снимается с маневровой станционной работы или отцепляется от грузовых поездов.

Кроме того, станция дислокации восстановительного поезда должна обладать необходимым путевым развитием, которое должно обеспечивать подготовку восстановительного поезда (прицепку локомотива, сокращенную пробу тормозов, выдачу документов) и последующее беспрепятственное отправление на определенный железнодорожный участок.

Для того, чтобы определить станции вероятной дислокации восстановительных поездов, необходимо разработать алгоритм, который позволит учитывать возможность использования определенных станций в качестве пунктов постоянной дислокации, взаимное расположение и протяженность участков железнодорожных направлений, а также размеры движения на них.

Алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных средств на полигоне сети железных дорог:

- 1) Из общего списка станций и узлов на полигоне выбираются те, которые могут быть использованы для размещения на них восстановительных поездов.
- 2) Моделируется возникновение транспортного происшествия на каждом участке полигона, оценивается влияние барьерного места на участок и смежные технические станции для каждого из возможных вариантов размещения восстановительных поездов. Влияние выражается в потенциальных потерях от возникающих инфраструктурных ограничений из-за возникновения транспортного происшествия.

- 3) Рассматриваются варианты размещения восстановительных поездов с учетом потенциальных потерь от возникшего барьерного места и затрат на содержание восстановительных поездов на рассматриваемом полигоне.

Алгоритм базируется на применении комплекса гибридных математических моделей. Расчет динамики и структуры транспортных потоков, их распределения, показателей работы полигонов сети обеспечиваются за счет статистических методов прогнозирования [54].

Поиск решения осуществляется с помощью эвристических алгоритмов, предусматривающих последовательную покоординатную минимизацию управляемых переменных, установленных на основе анализа динамических технологических взаимосвязей в системе. Эффективность применения алгоритма во многом зависит от выбора исходных станций предполагаемого размещения восстановительных поездов, в качестве которого могут быть выбраны:

- 1) вариант с действующими станциями дислокации;
- 2) вариант с действующими станциями дислокации с добавлением новых станций, на полигонах, где вероятен существенный рост интенсивности движения поездов различных категорий;
- 3) вариант с выбором крупных технических и сортировочных станций (железнодорожных узлов), в пределах которых расположены резервы локомотивной тяги;
- 4) вариант, основанный на комбинированной схеме расстановки восстановительных поездов, учитывающей все предлагаемые варианты.

Барьерное место моделируется на каждом участке рассматриваемой модели, поскольку в реальных условиях заранее неизвестно, на каком железнодорожном участке полигона и когда возникнет транспортное происшествие,

Расчет необходимого и достаточного количества восстановительных поездов и выбор рациональной схемы их расположения определяется критерием эффективности $E \rightarrow \min$ [74].

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

где E – общие затраты и потери от инфраструктурных ограничений;

E_1 – суммарные затраты на доставку восстановительных поездов к местам аварийно-восстановительных работ, руб.;

E_2 – суммарные затраты от вынужденного простоя поездов различных категорий, руб.;

E_3 – затраты, связанные с невозможностью использования путевого развития промежуточных станций из-за отстоя брошенных поездов и занятостью путей участковых, технических станций в ожидании отправления сформированных поездов, руб.;

E_4 – затраты на организацию движения поездов в обход барьерного места; включают в себя также организацию дополнительных мероприятий в пассажирском и пригородном сообщении, руб.

E_5 – суммарные затраты на содержание восстановительных поездов, руб.

Величина затрат на доставку восстановительного поезда к месту аварийно-восстановительных работ E_1 зависит от расстояния от места постоянной дислокации до возникшего барьерного места. Это расстояние напрямую зависит от величины зоны обслуживания восстановительных поездов и находится в обратно пропорциональной зависимости от количества восстановительных поездов VP .

Величина потенциальных потерь от простоя поездов различных категорий E_2 определяется временем ликвидации барьерного места $T_{пер}$. Согласно главе 2 данного диссертационного исследования, одной из составляющих частей $T_{пер}$ является период времени T_1 , включающий в себя время на выдачу приказа о формировании восстановительного поезда, подготовку его к отправлению и доставку последнего к месту выполнения аварийно-восстановительных работ. Размещение большого количества восстановительных поездов на полигоне уменьшит среднюю величину зоны обслуживания каждого восстановительного поезда, время доставки к барьерному месту, и общее время ликвидации последствий $T_{пер}$. Таким образом, величина потенциальных потерь от

вынужденного простоя поездов также находится в обратно пропорциональной зависимости от количества восстановительных поездов на полигоне VP .

Величина общего времени ликвидации последствий транспортного происшествия $T_{пер}$ влияет на выбор соответствующих регулировочных мер. Чем больше время ликвидации последствий $T_{пер}$, тем больше поездов различных категорий будут вынужденно простаивать на подходах к барьерному месту и занимать инфраструктуру, и тем дольше будет осуществляться движение поездов в обход. Поэтому составляющие E_3 и E_4 также находятся в обратно пропорциональной зависимости от количества восстановительных поездов VP .

Таким образом, критерий эффективности E является целевой функцией, зависящей от количества восстановительных поездов VP и схемы их размещения. График функции $E(VP)$ представлен на рисунке 3.3.

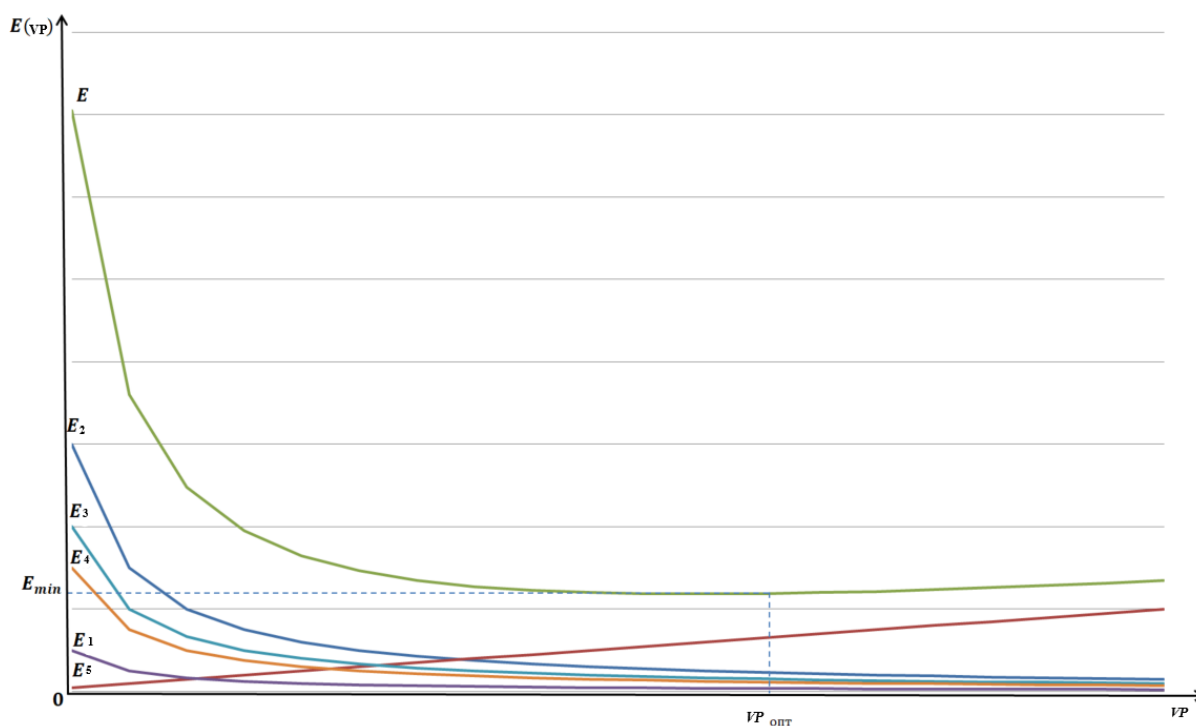


Рисунок 3.3 – График функции $E(VP)$

$$E(VP) = \frac{e_1}{VP} c_1 + \frac{e_2}{VP} c_2 a_{рез} + e_3 c_3 + e_4 c_4 + e_5 c_5 VP, \quad (3.2)$$

$$VP \leq VP^*, \quad (3.3)$$

$$VP > 0, \quad (3.4)$$

$$0 \leq a_{рез} \leq 1, \quad (3.5)$$

$$n_{\text{гр}} + n_{\text{пасс}} \varepsilon_{\text{пасс}} \leq n_{\text{гр}}^*, \quad (3.6)$$

$$P_{\text{уч.}} + P_{\text{ст.}} \leq W^*, \quad (3.7)$$

- где e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 – переменные, характеризующие соответствующие составляющие критерия эффективности E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 ;
- c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 – стоимостные оценки, связанные с переменными e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 , соответственно;
- VP^* – предельное количество станций, подходящих для дислокации восстановительных поездов.
- $a_{\text{рез}}$ – коэффициент, учитывающий рациональное использование и перераспределение тяговых ресурсов в результате действий дежурно-диспетчерского персонала. Вычисляется как отношение количества работоспособных резервных локомотивов к общему количеству локомотивов, используемых в грузовом движении;
- $n_{\text{гр}}$ – размеры движения грузовых поездов согласно нормативному графику движения поездов, поездов/сут.;
- $n_{\text{пасс}}$ – размеры движения пассажирских поездов согласно нормативному графику движения поездов, поездов/сут.;
- $\varepsilon_{\text{пасс}}$ – коэффициент съема пассажирских поездов;
- $n_{\text{гр}}^*$ – максимальные размеры движения грузовых поездов, поездов/сут.;
- $P_{\text{уч.}}$ – рабочий парк грузовых вагонов в поездах на участках, вагонов;
- $P_{\text{ст.}}$ – рабочий парк грузовых вагонов на станциях, вагонов;
- W^* – максимально допустимое заполнение емкости путевого развития, вагонов.

Затраты на доставку восстановительного поезда определяются по формуле:

$$E_1 = \left(m_{\text{восст.}} c_{\text{ваг.}} + c_{\text{лок.}} + \frac{c_{\text{бр.}}}{v} + \frac{M_{\text{топл.}}}{100} c_{\text{топл.}} \right) S, \quad (3.8)$$

- Где $m_{\text{восст.}}$ — количество вагонов в составе восстановительного поезда;
- $c_{\text{ваг.}}$ — стоимость 1 вагоно-км вагонов, курсирующих в хозяйственном движении, руб.;
- $c_{\text{лок.}}$ — стоимость 1 локомотиво-км локомотивов, работающих в хозяйственном движении, руб.;
- $c_{\text{бр.}}$ — стоимость бригадо-часа локомотивной бригады при работе на тепловозе (электровозе) в хозяйственном движении, руб.;
- v — средняя скорость продвижения восстановительного поезда к месту аварийно-восстановительных работ, км/ч. С учетом установленных нормативов принимается равной 40 км/ч.
- $M_{\text{топл.}}$ — масса условного топлива, необходимая для продвижения поезда на 100 км, кг;
- $c_{\text{топл.}}$ — стоимость килограмма условного топлива на тягу поездов в хозяйственном движении, руб.;
- S — расстояние между местом дислокации и местом аварийно-восстановительных работ, км.

Поскольку место возникновения транспортного происшествия на железнодорожном участке заранее неизвестно, условно принимаем S равным сумме кратчайшего расстояния от пункта постоянной дислокации восстановительного поезда до участковой станции, ограничивающей данный участок, и расстояния от этой участковой станции до середины рассматриваемого участка.

Суммарные затраты от вынужденного простоя поездов различных категорий E_2 определяются по формуле:

$$E_2 = E_2^{\text{гр.}} + E_2^{\text{пасс.}} + E_2^{\text{приг.}}, \quad (3.9)$$

где $E_2^{\text{гр.}}$, $E_2^{\text{пасс.}}$, $E_2^{\text{приг.}}$ — затраты от вынужденного простоя, соответственно, грузовых, пассажирских, пригородных поездов, руб.

Суммарные затраты от невозможности использования путей из-за отставления поездов различных категорий E_3 определяются по формуле:

$$E_3 = E_3^{\text{гр.}} + E_3^{\text{пасс.}} + E_3^{\text{приг.}}, \quad (3.10)$$

где $E_3^{\text{гр.}}$, $E_3^{\text{пасс.}}$, $E_3^{\text{приг.}}$ – затраты, связанные с невозможностью использования путевого развития из-за отставления грузовых, пассажирских, пригородных поездов на приемо-отправочных путях станций, руб.

Расчет дополнительных затрат от организации пропуска поездов различных категорий в обход барьерного места производится по формуле:

$$E_4 = E_4^{\text{гр.}} + E_4^{\text{пасс.}} + E_4^{\text{приг.}}, \quad (3.11)$$

где $E_4^{\text{гр.}}$, $E_4^{\text{пасс.}}$, $E_4^{\text{приг.}}$ – дополнительные затраты на пропуск грузовых, пассажирских и пригородных поездов в обход барьерного места, руб.

Расчет составляющих целевой функции E_2 , E_3 , E_4 для грузовых, пассажирских и пригородных поездов рассмотрим в параграфах 3.2. и 3.3.

Затраты на содержание восстановительных поездов E_5 также можно выразить формулой:

$$E_5 = c_5 T_{\text{ВП}} VP, \quad (3.12)$$

где c_5 – приведенные затраты на содержание восстановительного поезда, руб./час.

$T_{\text{ВП}}$ – среднее время между выездами восстановительных поездов, ч;

Поскольку содержание восстановительных поездов осуществляется постоянно, независимо от того, происходят транспортные происшествия или нет, то необходимо рассчитывать время $T_{\text{ВП}}$ следующим образом:

$$T_{\text{ВП}} = \frac{365 \cdot 24 \cdot VP}{x_{\text{в}}}, \quad (3.13)$$

где $x_{\text{в}}$ – количество выездов восстановительных поездов определенной железной дороги за год.

Для оценки эффективности работы восстановительных поездов рассчитывают годовые затраты на содержание восстановительных поездов $E_{\text{восст.}}$. Они определяются по формуле:

$$E_{\text{восст.}} = E_{\text{зп}} + E_{\text{то}} + E_{\text{пр}}, \quad (3.14)$$

где $E_{\text{зп}}$ – общие годовые затраты на заработную плату персонала восстановительных поездов (руб./год);

$E_{\text{то}}$ – общие годовые затраты на техническое обслуживание и содержание оборудования и инвентаря восстановительных поездов (руб./год);

$E_{\text{пр}}$ – общие годовые затраты, включающие расходы на электроэнергию, топливо, материалы (руб./год). К этой группе также относятся затраты на амортизацию оборудования.

В ряд станций, рекомендуемых для размещения на них восстановительных поездов, могут попасть те, которые не являются местами постоянной дислокации восстановительных средств, что говорит от необходимости учета дополнительных расходов на сооружение для них соответствующей инфраструктуры.

Таким образом, c_5 можно рассчитать по формуле:

$$c_5 = \frac{E_{\text{восст.}} + E_{\text{разм.}}}{365 \cdot 24}, \quad (3.15)$$

где $E_{\text{разм.}}$ – затраты на размещение восстановительных средств на станции, которая не является местом постоянной дислокации, руб.

3.2. Расчет дополнительных затрат в грузовом движении после возникновения транспортного происшествия

Чтобы определить затраты от вынужденного простоя грузовых поездов $E_2^{\text{Гр.}}$, необходимо рассматривать график динамики накопления вагонов на полигоне как функцию $P(t)$, которая меняет свое поведение на различных этапах устранения барьерного места (см. рисунок 2.21). Общая величина затрат от вынужденного простоя поездов рассчитывается по формуле [58]:

$$E_2^{\Gamma p.} = c_{\Gamma p.} \sum_{i=1}^I \int_{t_i}^{t_{i+1}} P(t) dt, \quad (3.16)$$

где $c_{\Gamma p.}$ — оценка удельных расходов, зависящих от простоя грузовых поездов, руб./вагоно-ч;

$i = 1, \dots, I$ — порядковый номер периода аварийно-восстановительных работ;

t_i — момент начала периода i аварийно-восстановительных работ;

t_{i+1} — момент окончания периода i аварийно-восстановительных работ.

Если рассматривать процесс накопления единиц транспортного потока как непрерывную линейную функцию, зависящую от размеров равномерно поступающих на участок поездопотоков и установленных на определенных этапах аварийно-восстановительных работ значений пропускной способности участка, то график функции $P(t)$ принимает вид, представленный на рисунке 3.4. Площадь под графиком функции $P(t)$ представляет собой сумму вагоно-часов простоя вагонов в составе поездов, находящихся на рассматриваемом участке и поступающих на него в течение всего периода аварийно-восстановительных работ.

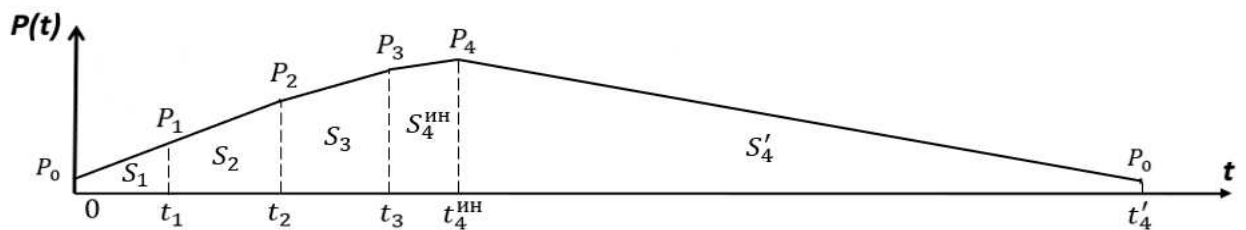


Рисунок 3.4 – График зависимости количества вагонов на участке от времени $(P(t))$

Пропускная способность проблемного участка в течение периодов T_1 и T_2 (промежуток времени от 0 до t_2) остается минимальной, поэтому количество вагоно-часов за этот период определяется по формуле:

$$S_1 + S_2 = \int_0^{t_2} \left(P_0 + \frac{(2n_{\Gamma p.}^{\text{норм}} - 2n_1 - n_{\Gamma p.}^{\text{откл}(1,2)})m_{\Gamma p.} t}{24} \right) dt, \quad (3.17)$$

где $n_{\Gamma p.}^{\text{норм}}$ — нормативные размеры движения поездов z категории, пар поездов/сут;

$m_{гр.}$ – среднее количество вагонов в составах грузовых поездов;
 $n_{гр.}^{откл(1,2)}$ – размеры движения грузовых поездов, отклоняемых на кружные направления в периодах T_1 и T_2 , поездов/сут;

В момент времени t_2 часть перевозочных мощностей проблемного участка восстанавливается до значения n_2 , что приводит к изменению поведения графика $P(t)$ в течение периода T_3 .

$$S_3 = \int_{t_2}^{t_3} \left(P_2 + \frac{(2n_{гр.}^{норм} - 2n_2 - n_{гр.}^{откл(3)}) m_{гр.} t}{24} \right) dt, \quad (3.18)$$

где $n_{гр.}^{откл(3)}$ – размеры движения грузовых поездов, отклоняемых на кружные направления в периоде T_3 , поездов/сут.

Пропускная способность восстанавливается до исходного значения n_0 в момент времени t_3 , однако вновь доступные резервы пропускной способности полноценно начинают использоваться только по итогам периода $T_4^{ин}$. Таким образом, $S_4^{ин}$ определяется по формуле:

$$S_4^{ин} = \int_{t_3}^{t_4^{ин}} \left(P_3 + \frac{[2n_{гр.}^{норм} - 2n_0(1 - a_{рез})] m_{гр.} t}{24} \right) dt, \quad (3.19)$$

После выбора оптимального варианта восстановления движения брошенных поездов количество единиц транспортного потока возвращается к исходному значению P_0 в конце периода T_4' за счет доступных резервов наличной пропускной способности участка.

$$S_4' = \int_{t_4^{ин}}^{t_4'} \left(P_4 - \frac{(2n_0 - 2n_{гр.}^{норм}) m_{гр.} t}{24} \right) dt \quad (3.20)$$

Составляющие формул P_2 , P_3 , P_4 определяются математически за счет использования функций, построенных на основе данных об исходной пропускной способности, уменьшенной пропускной способности и количестве отклоненных поездов, при этом в качестве аргументов выступают соответствующие величинам P_2 , P_3 , P_4 значения времени.

Составляющие E_3 и E_4 обретают актуальность при продолжительных перерывах в движении поездов и являются взаимосвязанными.

$$E_3^{гр.} = n_{гр.}^{задерж.} c_{зан.} T_{пер}, \quad (3.21)$$

$$E_4^{\text{гр.}} = n_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} \Delta C_{\text{гр.}}, \quad (3.22)$$

где $n_{\text{гр.}}^{\text{задерж.}}$ – количество задержанных грузовых поездов;

$C_{\text{зан.}}$ – стоимость 1 часа занятия 1 км станционных путей промежуточных, участковых и сортировочных станций задержанными грузовыми поездами, руб./км;

$\Delta C_{\text{гр.}}$ – дополнительные затраты, связанные с организацией продвижения грузовых поездов в обход барьерного места, руб.

Дополнительные затраты $\Delta C_{\text{гр.}}$ определяются с помощью [59]:

$$\Delta C_{\text{гр.}} = E_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} - E_{\text{гр.}}^{\text{уст.}}, \quad (3.23)$$

где $E_{\text{гр.}}^{\text{откл.}}$ – затраты от продвижения грузовых поездов в обход барьерного места альтернативным маршрутом, руб.

$E_{\text{гр.}}^{\text{уст.}}$ – затраты от продвижения грузовых поездов по установленному графику движения поездов и планом формирования маршруту следования, руб.

$$E_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} = n_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} E_{\text{гр. гр.}}^{\text{откл.}} \gamma_{\text{гр. гр.}} m + n_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} E_{\text{гр. пор.}}^{\text{откл.}} (1 - \gamma_{\text{гр. гр.}}) m; \quad (3.24)$$

$$E_{\text{гр.}}^{\text{уст.}} = n_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} E_{\text{гр. гр.}}^{\text{уст.}} \gamma_{\text{гр. гр.}} m + n_{\text{гр.}}^{\text{откл.}} E_{\text{гр. пор.}}^{\text{уст.}} (1 - \gamma_{\text{гр. гр.}}) m, \quad (3.25)$$

где $E_{\text{гр. гр.}}^{\text{откл.}}$, $E_{\text{гр. гр.}}^{\text{уст.}}$ – суммарные стоимостные оценки на один груженный вагон, соответственно, отклоненный от основного маршрута следования и следующий по основному маршруту следования грузовых поездов установленной массы, руб./ваг.;

$E_{\text{гр. пор.}}^{\text{откл.}}$, $E_{\text{гр. пор.}}^{\text{уст.}}$ – суммарные стоимостные оценки на один порожний вагон, соответственно, отклоненный от основного маршрута следования и следующий по основному маршруту следования грузовых поездов установленной массы руб./ваг.;

$\gamma_{\text{гр. гр.}}$ – доля груженных вагонов в составе грузовых поездов.

$$E_{\text{гр. гр.}}^{\text{откл.}} = E_{\text{вкм.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{вч.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{лкм.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{лч.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{бч.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{бр.гр.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{ут.(эн.)гр.}}^{\text{откл.}}; \quad (3.26)$$

$$E_{\text{гр.пор.}}^{\text{откл.}} = E_{\text{вкм.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{вч.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{лкм.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{лч.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{бч.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{бр.пор.}}^{\text{откл.}} + E_{\text{ут.(эн.)пор.}}^{\text{откл.}}; \quad (3.27)$$

$$E_{\text{гр.гр.}}^{\text{уст.}} = E_{\text{вкм.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{вч.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{лкм.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{лч.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{бч.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{бр.гр.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{ут.(эн.)гр.}}^{\text{уст.}}; \quad (3.28)$$

$$E_{\text{гр пор.}}^{\text{уст.}} = E_{\text{вкм.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{вч.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{лкм.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{лч.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{бч.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{бр.пор.}}^{\text{уст.}} + E_{\text{ут.(эн.)пор.}}^{\text{уст.}}; \quad (3.29)$$

где $E_{\text{вкм.гр.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{вкм.гр.}}^{\text{откл.}}$ – зависящие расходы, связанные с вагоно-километрами на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{\text{вкм.пор.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{вкм.пор.}}^{\text{откл.}}$ – аналогичные расходы на один порожний вагон.

$E_{\text{вч.гр.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{вч.гр.}}^{\text{откл.}}$ – стоимостные оценки, связанные с вагоно-часами на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{\text{вч.пор.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{вч.пор.}}^{\text{откл.}}$ – аналогичные стоимостные оценки на один порожний вагон.

$E_{\text{лкм.гр.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{лкм.гр.}}^{\text{откл.}}$ – зависящие расходы, связанные с локомотиво-километрами на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{\text{лкм.пор.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{лкм.пор.}}^{\text{откл.}}$ – аналогичные расходы на один порожний вагон.

$E_{\text{лч.гр.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{лч.гр.}}^{\text{откл.}}$ – зависящие расходы, связанные с локомотиво-часами на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{\text{лч.пор.}}^{\text{уст.}}$, $E_{\text{лч.пор.}}^{\text{откл.}}$ – аналогичные расходы на один порожний вагон.

$E_{бч.гр.}^{уст.}, E_{бч.гр.}^{откл.}$ — зависящие расходы, связанные с бригадо-часами локомотивных бригад на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{бч.пор.}^{уст.}, E_{бч.пор.}^{откл.}$ — аналогичные расходы на один порожний вагон.

$E_{бр.гр.}^{уст.}, E_{бр.гр.}^{откл.}$ — зависящие расходы, связанные с тонно-километрами брутто вагонов и локомотивов на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{бр.пор.}^{уст.}, E_{бр.пор.}^{откл.}$ — аналогичные расходы на один порожний вагон.

$E_{ут.(эн.)гр.}^{уст.}, E_{ут.(эн.)гр.}^{откл.}$ — зависящие расходы, связанные с топливом (электроэнергией) на один груженный вагон в грузовом поезде, следующем по основному маршруту следования, и в грузовом поезде, следующем по альтернативному маршруту следования, соответственно. $E_{ут.(эн.)пор.}^{уст.}, E_{ут.(эн.)пор.}^{откл.}$ — аналогичные расходы на один порожний вагон.

В случае, если возможность обхода отсутствует, то составляющая $E_4^{гр.}$ принимается равной нулю, а количество задержанных грузовых поездов $n_{гр.}^{откл.}$ принимается равным нормативным размерам движения.

3.3. Расчет дополнительных затрат в пассажирском и пригородном движении после возникновения транспортного происшествия

В случае, когда вынужденный простой пассажирских и пригородных поездов обусловлен поездной ситуацией, затраты от вынужденного простоя определяются таким же образом, что и для грузовых поездов.

$$E_2^{\text{пасс.}} = c_{\text{пасс.}} \sum_{i=1}^I \int_{t_i}^{t_{i+1}} P(t) dt, \quad (3.30)$$

где $c_{\text{пасс.}}$ — оценка удельных расходов, зависящих от простоя пассажирских поездов, руб./вагоно-ч;

$$E_2^{\text{приг.}} = c_{\text{приг.}} \sum_{i=1}^I \int_{t_i}^{t_{i+1}} P(t) dt, \quad (3.31)$$

где $c_{\text{приг.}}$ — оценка удельных расходов, зависящих от простоя пригородных поездов, руб./вагоно-ч;

Длительные перерывы движения из-за последствий транспортного происшествия вызывают необходимость временных изменений не только в технологии работы с грузовыми поездами, но и в работе пассажирского комплекса. Изменение технологии работы регулярных пассажирских перевозок подразумевает:

отмену пассажирских и пригородных поездов;

временную задержку пассажирских поездов в ожидании возможности их пропуска;

временное изменение маршрута следования пассажирских поездов;

следование пассажирских и пригородных поездов до станций, ограничивающих барьерное место, с организацией перевозки пассажиров между ними автомобильным транспортом.

После высадки пассажиров и выполнения необходимых операций (смена кабины в случае с электропоездами, перестановка локомотива с головы в хвост) поезда меняют направление движения и следуют на станцию оборота или на пути отстоя. Таким образом $E_3^{\text{пасс.}} = 0$ и $E_3^{\text{приг.}} = 0$.

Изменения технологии работы пассажирского комплекса при возникновении транспортных происшествий необходимо учесть также при расчете затрат $E_4^{\text{пасс.}}$ и $E_4^{\text{приг.}}$.

$$E_4^{\text{пасс.}} = E_{\text{пер. изм}}^{\text{пасс.}} + E_{\text{жд. авт.}} \quad (3.32)$$

- $E_{\text{пер. изм}}^{\text{пасс.}}$ — дополнительные затраты на организацию пропуска пассажирских поездов в обход барьерного места, руб.;
- $E_{\text{жд.авт.}}$ — затраты железной дороги на перевозку пассажиров автомобильным транспортом, руб.

Перевозочные затраты на организацию пассажирского движения определяются по формуле [68]:

$$E_{\text{пер.}}^{\text{пасс.}} = C_j x_j, \quad (3.33)$$

где C_j — стоимостная оценка поезда j -го назначения, руб.;

x_j — число поездов j -го назначения.

Стоимостная оценка поезда назначения j C_j определяется по формуле:

$$C_j = e_j L_j, \quad (3.34)$$

где e_j — затраты, приходящиеся на один километр, руб./км;

L_j — длина маршрута поезда j -го назначения, км.

Дополнительные расходы, которые возникают при отклонении пассажирского поезда от установленного маршрута, рассчитываются по формуле (3.35) на основе формул (3.33) и (3.34):

$$E_{\text{пер. изм}}^{\text{пасс.}} = (e_{j2} L_{j2} - e_{j1} L_{j1}) * x_j, \quad (3.35)$$

где $j2$ — назначение пассажирского поезда с измененным маршрутом следования, относительно установленного маршрута $j1$.

Пригородный железнодорожный транспорт в ряде стран на большинстве направлений является убыточным и выполняет общественную функцию, осуществляя перевозку граждан внутри агломераций [70]. Получение прибыли от перевозок в пригородном сообщении является вторичной задачей, осуществимой на направлениях с большим пассажиропотоком [69]. Расчет экономических потерь от отмены пригородных поездов нецелесообразен, если закладывать в основу расчета лишь стоимости билетов в зависимости от тарифных зон. Для объективной оценки последствий отмены электропоездов в агломерациях необходимо учитывать косвенное влияние данной регулировочной меры на их экономику. В расчетах диссертационного исследования принимаем $E_{\text{бил.}}^{\text{приг.}} = 0$.

Пригородным поездам зачастую нецелесообразно следовать по протяженным альтернативным путям следования, поскольку для пригородного движения важно осуществлять доставку пассажиров в пределах конкретных зон. Однако в случае наличия возможности организации альтернативного пути следования электропоездов, проходящего через установленные пригородные зоны, регулировочная мера становится целесообразной.

Таким образом, составляющая целевой функции $E_4^{\text{приг.}}$ может быть получена с помощью формулы:

$$E_4^{\text{приг.}} = E_{\text{пер. изм}}^{\text{приг.}} + E_{\text{жд.авт.}} \quad (3.36)$$

Расходы ОАО «РЖД» на автомобильный транспорт для перевозки пассажиров (в пассажирском и пригородном сообщениях) определяются установленными тарифами на перевозку по маршруту и рассчитываются по формуле:

$$E_{\text{жд.авт.}} = e_{\text{тар. } y} * L * u, \quad (3.37)$$

где $e_{\text{тар. } y}$ – тариф транспортной компании при перевозке выбранным маршрутом транспортным средством y -типа и марки, руб./км;

L – протяженность маршрута, км;

u – количество рейсов определяется в зависимости от количества пассажиров x_{ik} по формуле:

$$u = \frac{x_{ik}}{q_y}, \quad (3.38)$$

где q_y – количество пассажиров, которое может быть перевезено транспортным средством y -типа и марки.

3.4. Выводы по главе 3

1. Эвристический алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов состоит из следующих этапов: 1) из общего списка станций, выбираются те, которые подходят для размещения восстановительных поездов: такие станции обладают необходимым путевым развитием, инфраструктурой и тяговыми ресурсами; 2) на каждом участке полигона

моделируется барьерное место, оценивается влияние последнего на деятельность полигона, и рассчитываются затраты от вынужденного простоя поездов различных категорий для каждого из вариантов размещения восстановительных поездов. Далее полученные затраты используются для получения конкурентоспособных вариантов.

2. Эффективность предлагаемой схемы размещения восстановительных поездов определяется значением целевой функции, включающей в себя пять составляющих [74]: 1) суммарные затраты на доставку восстановительных поездов к местам аварийно-восстановительных работ; 2) суммарные затраты от вынужденного простоя поездов различных категорий; 3) затраты, связанные с невозможностью использования путевого развития промежуточных станций из-за отстоя брошенных поездов и занятостью путей участковых, технических станций в ожидании отправления сформированных поездов; 4) затраты на организацию продвижения поездов в обход барьерного места; 5) приведенные затраты на содержание восстановительных поездов, включающие затраты от возможного переноса места постоянной дислокации на другую станцию.

3. Выбор вариантов схем размещения восстановительных поездов ограничен количеством станций, подходящих для рассмотрения в качестве мест постоянной дислокации, наличием возможности обхода и доступными резервами пропускной способности.

4. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ

4.1. Применение алгоритма на экспериментальных полигонах

Взаимосвязь количества восстановительных поездов и схемы их размещения на полигоне можно учесть, рассматривая полигон железнодорожной сети как неориентированный граф, вершины которого являются техническими, участковыми сортировочными станциями, а ребра – железнодорожными участками между ними [56, 57] (рисунок 4.1). Ребра характеризуются протяженностью и размерами движения. Если такой полигон достаточно крупный, и на нем следует разместить более одного восстановительного поезда, то такой полигон разбивается на подграфы.

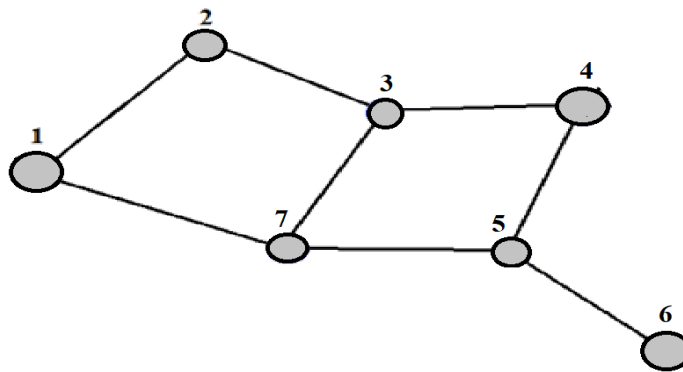


Рисунок 4.1 – Модель железнодорожного направления

Алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов на направлении выглядит следующим образом:

- 1) Полигон железных дорог рассматривается в качестве графа [56], вершины которого – железнодорожные узлы, ребра – участки определенной протяженности. Также ребра характеризуются размерами движения.
- 2) Производится расчет расстояний вершина – дуга для вершин - восстановительных поездов и ребер графа.

- 3) С использованием расчетов расстояний вершина – дуга производится определение составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 . Суммы составляющих, соответствующих каждому ребру и вершине, сводятся в таблицу. Для каждой вершины выбираются ячейки с минимальными значениями сумм составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 ,
- 4) Производится выбор вариантов размещения восстановительных поездов. В их зону обслуживания должно входить наибольшее возможное количество ребер, которым соответствуют ячейки с наименьшими суммами составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 . Для каждого из вариантов производится добавление составляющей E_5 , расчет целевой функции $E(VP)$, сравнение вариантов. По результатам сравнения выбирается вариант с наименьшим значением целевой функции $E(VP)$.
- 5) Увеличивается количество восстановительных поездов до тех пор, пока в их зоны обслуживания не войдут все ячейки с минимальными значениями сумм составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 . Происходит последовательное увеличение количества восстановительных поездов с уменьшением затрат; при этом количество вариантов из доступного множества снижается (рисунок 4.2).

Из всех рассмотренных вариантов выбирается тот, у которого значение целевой функции наименьшее.

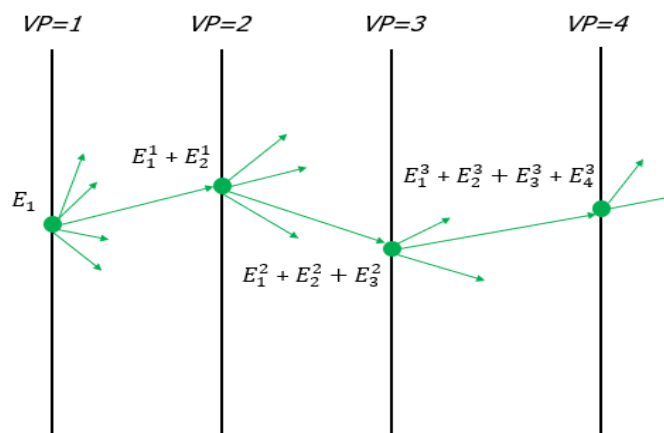


Рисунок 4.2 – Процесс последовательного выбора эффективной схемы размещения восстановительных средств

Исходные данные для выбора вариантов размещения представлены в таблице 4.1. Для удобства выполнения расчетов каждому из ребер присваивается номер [56].

Таблица 4.1 – Характеристики ребер графа

Ребро ограничено вершинами	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 7	7 - 1	3 - 7
Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры движения, пар поездов/сут.	20	23	18	21	24	19	22	25
Протяженность, км	70	50	50	60	50	80	40	60

Определим кратчайшие расстояния между вершинами и сведем их в матрицу D (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Общий вид матрицы D кратчайших расстояний вершина – вершина

		Нумерация вершин						
		1	2	3	4	5	6	7
Нумерация вершин	1	0	70	100	150	120	170	40
	2	70	0	50	100	160	210	110
	3	100	50	0	50	110	160	60
	4	150	100	50	0	60	110	110
	5	120	160	110	60	0	50	80
	6	170	210	160	110	50	0	130
	7	40	110	60	110	80	130	0

С помощью полученной в результате расчетов матрицы D определяются расстояния от каждой из вершин до каждой из дуг и полученные результаты сводятся в матрицу D'. Расчет расстояний вершина-дуга производится по формуле (4.1) [52].

$$d'(i, (r, s)) = \frac{(d(i,r)+d(i,s)+a(r,s))}{2}, \quad (4.1)$$

где $d'(i, (r, s))$ – расстояние вершина-дуга, км;

$d(j, r)$ – расстояние от рассматриваемой вершины до одной из вершин дуги, км;

$d(j, s)$ – расстояние от рассматриваемой вершины до другой вершины дуги, км;

$a(r, s)$ – длина дуги, км.

Таким образом, расстояние от вершины 1 до дуги 2, ограниченной вершинами 2 и 3 составит:

$$d'(1, (2,3)) = \frac{(d(1,2) + d(1,3) + a(2,3))}{2} = \frac{(70 + 100 + 50)}{2} = 110 \text{ км}$$

Результаты расчета расстояний вершина-дуга сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Общий вид матрицы D' кратчайших расстояний вершина – дуга

		Условная нумерация ребер							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Нумерация вершин	1	70	110	150	165	170	120	40	100
	2	70	50	100	160	210	175	110	110
	3	110	50	50	110	160	125	100	60
	4	160	100	50	60	110	125	150	110
	5	175	160	110	60	50	80	120	125
	6	225	210	160	110	50	130	170	175
	7	110	110	110	125	130	80	40	60

Полученные значения расстояний вершина-дуга представляют собой расстояния между местами дислокации восстановительных поездов и местами аварийно-восстановительных работ. Таким образом, используя значения матрицы D', можно рассчитать составляющие критерия оптимальности E_1 , E_2 , E_3 . Сумма значений составляющих E_1 , E_2 , E_3 для всех расстояний вершина – дуга представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчетов составляющих E_1 , E_2 , E_3

		Условная нумерация ребер (расчеты в тыс. руб.)								Итог, тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	891,4	1318,9	574,2	652,1	1168,2	6663,8
	2	556,9	769,4	456,0	877,3	1490,0	688,3	847,3	1210,0	6895,2
	3	644,4	769,4	377,3	741,9	1277,7	584,2	817,9	1008,2	6221,1
	4	762,1	927,2	377,3	617,4	1081,3	584,2	969,7	1210,0	6529,3
	5	799,3	1135,1	472,6	617,4	866,6	497,5	877,2	1274,0	6539,6
	6	929,3	1323,8	559,5	741,9	866,6	594,3	1033,9	1498,9	7548,2
	7	644,4	960,4	472,6	781,4	1157,9	497,5	652,1	1008,2	6174,5

Поскольку средние расстояния вершина-дуга для каждого из восстановительных поездов отличаются, то время на доставку восстановительных поездов будет отличаться. Результаты расчетов составляющих E_1 , E_2 , E_3 , E_5 сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчетов составляющих E_1 , E_2 , E_3 , E_5 и значения функции $E(VP)$

Нумерация вершин	Сумма составляющих E_1 , E_2 , E_3 , тыс. руб.	Составляющая E_5 , тыс. руб.	$E(VP)$, тыс. руб.
1	6663,8	61,6	6725,4
2	6895,2	62,5	6957,7
3	6221,2	59,1	6280,3
4	6529,4	60,7	6590,1
5	6539,6	60,9	6600,5
6	7548,2	66,1	7614,3
7	6174,5	59,2	6233,7

Таким образом, наименьшее значение целевой функции $E(VP)$ соответствует вершине 7, а значит, размещение одного восстановительного поезда при рассматриваемых исходных данных оптимально в этой точке, при этом весь рассматриваемый полигон будет являться зоной обслуживания

восстановительного поезда. Изменим размеры движения на ряде ребер графа (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Измененные характеристики ребер графа

Ребро ограничено вершинами	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 7	7 - 1	3 - 7
Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры движения, пар поездов/сут.	20	23	18	11	12	10	11	12
Протяженность, км	70	50	50	60	50	80	40	60

В случае изменения размеров движения значения составляющих E_1 , E_2 , E_3 изменятся (таблица 4.7), что в результате приведет к смещению предполагаемого места размещения восстановительного поезда в вершину 3 (таблица 4.8).

Таблица 4.7 – Результаты расчетов составляющих E_1 , E_2 , E_3 при измененных размерах движения

		Условная нумерация ребер, тыс. руб.								Итог, тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	175,0	177,9	121,0	86,7	138,6	2758,2
	2	556,9	769,4	456,0	172,3	202,1	146,9	116,5	144,0	2564,2
	3	644,4	769,4	377,3	146,2	172,1	123,3	112,0	117,9	2462,6
	4	762,1	927,2	377,3	121,6	144,0	123,3	134,9	144,0	2734,4
	5	799,3	1135,1	472,6	121,6	113,0	103,3	121,0	152,2	3018,1
	6	929,3	1323,8	559,5	146,2	113,0	125,5	144,5	180,9	3522,6
	7	644,4	960,4	472,6	153,9	155,0	103,3	86,7	117,9	2694,2

Таблица 4.8 – Результаты расчетов составляющих E_1, E_2, E_3, E_5 и значения функции $E(VP)$ при измененных размерах движения

Нумерация вершин	Сумма составляющих E_1, E_2, E_3 , тыс. руб.	Составляющая E_5 , тыс. руб.	$E(VP)$, тыс. руб.
1	2758,2	61,6	2819,8
2	2564,2	62,5	2626,7
3	2462,6	59,2	2521,8
4	2734,4	60,7	2795,1
5	3018,1	60,8	3078,9
6	3522,6	66,1	3588,7
7	2694,2	59,2	2753,4

Для оценки вариантов размещения двух и более восстановительных поездов выберем минимальные значения совокупных затрат для каждого из ребер (в таблице 4.4 выделены желтым цветом).

Значение целевой функции $E(VP)$ будет тем меньше, чем больше выделенных ячеек таблицы 4.4 будут входить в зоны обслуживания восстановительных поездов. Таким образом, необходимо выбрать те вершины, которым соответствует наибольшее количество выделенных ячеек. Для всех вершин в каждом столбце может быть выбрана лишь одна ячейка. Физический смысл действия состоит в выборе для каждого восстановительного поезда (которому соответствует вершина) зоны обслуживания (которым соответствует совокупность ячеек).

Рассмотрим возможные способы размещения двух восстановительных поездов на рассматриваемом полигоне.

Согласно таблице 4.7, наибольшее количество неповторяющихся выделенных ячеек соответствует вершинам 3 и 5. Для более наглядного представления алгоритма действий представим данные таблицы 4.4, 4.8 в следующем виде (Таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Значения составляющих E_1 , E_2 , E_3 , E_5 для всех вершин и ребер (размещение 2 восстановительных поездов)

		Условная нумерация ребер (сумма составляющих E_1 , E_2 , E_3), тыс. руб.								Сост. E_5 , тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	891,4	1318,9	574,2	652,1	1168,2	61,6
	2	556,9	769,4	456,0	877,3	1490,0	688,3	847,3	1210,0	62,5
	3	644,4	769,4	377,3	741,9	1277,7	584,2	817,9	1008,2	59,2
	4	762,1	927,2	377,3	617,4	1081,3	584,2	969,7	1210,0	60,7
	5	799,3	1135,1	472,6	617,4	866,6	497,5	877,2	1274,0	60,9
	6	929,3	1323,8	559,5	741,9	866,6	594,3	1033,9	1498,9	66,1
	7	644,4	960,4	472,6	781,4	1157,9	497,5	652,1	1008,2	59,2

Поскольку не все наименьшие значения столбцов соответствуют вершинам 3 и 5, то необходимо для этих вершин из соответствующих строк выбрать минимальные (выделены оранжевым цветом в таблице 4.9). Зоны обслуживания восстановительных поездов на рассматриваемом полигоне представлены на рисунке 4.3.

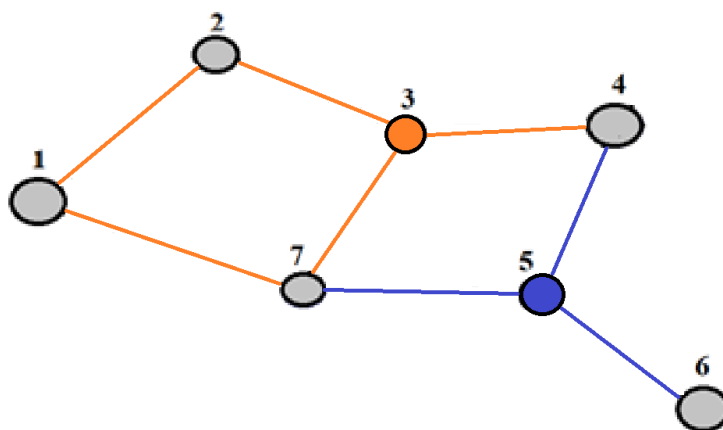


Рисунок 4.3 – Зоны обслуживания двух восстановительных поездов (вариант 2)

Таким образом, значение целевой функции становится равным $E(VP) = 5718,8$ тыс. руб., что меньше, чем в случае размещения одного восстановительного поезда в 7 точке.

При размещении трех восстановительных поездов в точках 1, 3, 5 все наименьшие значения столбцов будут распределены между соответствующими вершинами (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Значения составляющих E_1, E_2, E_3, E_5 для всех вершин и ребер (размещение 3 восстановительных поездов)

		Условная нумерация ребер (сумма составляющих E_1, E_2, E_3), тыс. руб.								Сост. E_5 , тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	891,4	1318,9	574,2	652,1	1168,2	61,6
	2	556,9	769,4	456,0	877,3	1490,0	688,3	847,3	1210,0	62,5
	3	644,4	769,4	377,3	741,9	1277,7	584,2	817,9	1008,2	59,2
	4	762,1	927,2	377,3	617,4	1081,3	584,2	969,7	1210,0	60,7
	5	799,3	1135,1	472,6	617,4	866,6	497,5	877,2	1274,0	60,9
	6	929,3	1323,8	559,5	741,9	866,6	594,3	1033,9	1498,9	66,1
	7	644,4	960,4	472,6	781,4	1157,9	497,5	652,1	1008,2	59,2

Значение целевой функции, в данном случае определяемое как сумма выделенных ячеек, становится равным $E(VP) = 5527,3$ руб. Зоны обслуживания трех восстановительных поездов представлены на рисунке 4.4.

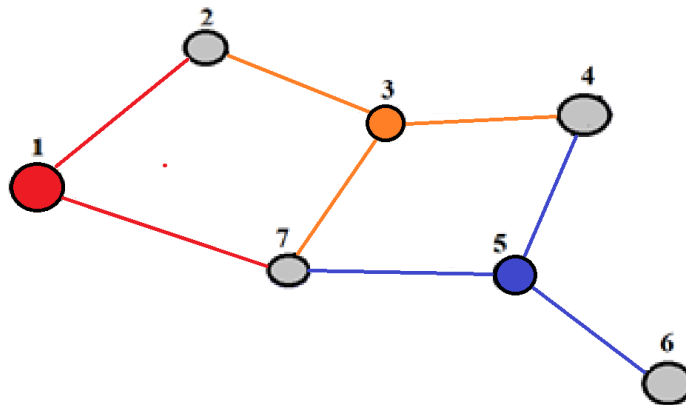


Рисунок 4.4 – Зоны обслуживания трех восстановительных поездов (вариант 3)

Увеличение количества восстановительных поездов на рассматриваемом полигоне далее не имеет смысла, поскольку все наименьшие значения столбцов

распределились между тремя вершинами. Для доказательства этого тезиса рассмотрим вариант размещения 4 восстановительных поездов (таблица 4.11)

Таблица 4.11 – Значения составляющих E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 для всех вершин и ребер (размещение 4 восстановительных поездов)

		Условная нумерация ребер (сумма составляющих E_1, E_2, E_3, E_4), тыс. руб.								Сост. E_5 , тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	891,4	1318,9	574,2	652,1	1168,2	61,6
	2	556,9	769,4	456,0	877,3	1490,0	688,3	847,3	1210,0	62,5
	3	644,4	769,4	377,3	741,9	1277,7	584,2	817,9	1008,2	59,2
	4	762,1	927,2	377,3	617,4	1081,3	584,2	969,7	1210,0	60,7
	5	799,3	1135,1	472,6	617,4	866,6	497,5	877,2	1274,0	60,9
	6	929,3	1323,8	559,5	741,9	866,6	594,3	1033,9	1498,9	66,1
	7	644,4	960,4	472,6	781,4	1157,9	497,5	652,1	1008,2	59,2

Результаты расчетов составляющих E_1, E_2, E_3, E_5 и целевой функции $E(VP)$ для четырех вариантов размещения восстановительных поездов представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты расчетов целевой функции $E(VP)$

Число ВП	Вершины	Сумма составляющих E_1, E_2, E_3 , тыс. руб.	Составляющая E_5 , тыс. руб.	Целевая функция $E(VP)$, тыс. руб.
1	7	6174,5	59,2	6233,7
2	3+5	5598,7	120,1	5718,8
3	1+3+5	5345,4	181,7	5527,1
4	1+2+3+5	5345,4	244,1	5589,5

На основе выполненных расчетов построен график целевой функции $E(VP)$, представленный на рисунке 4.5.

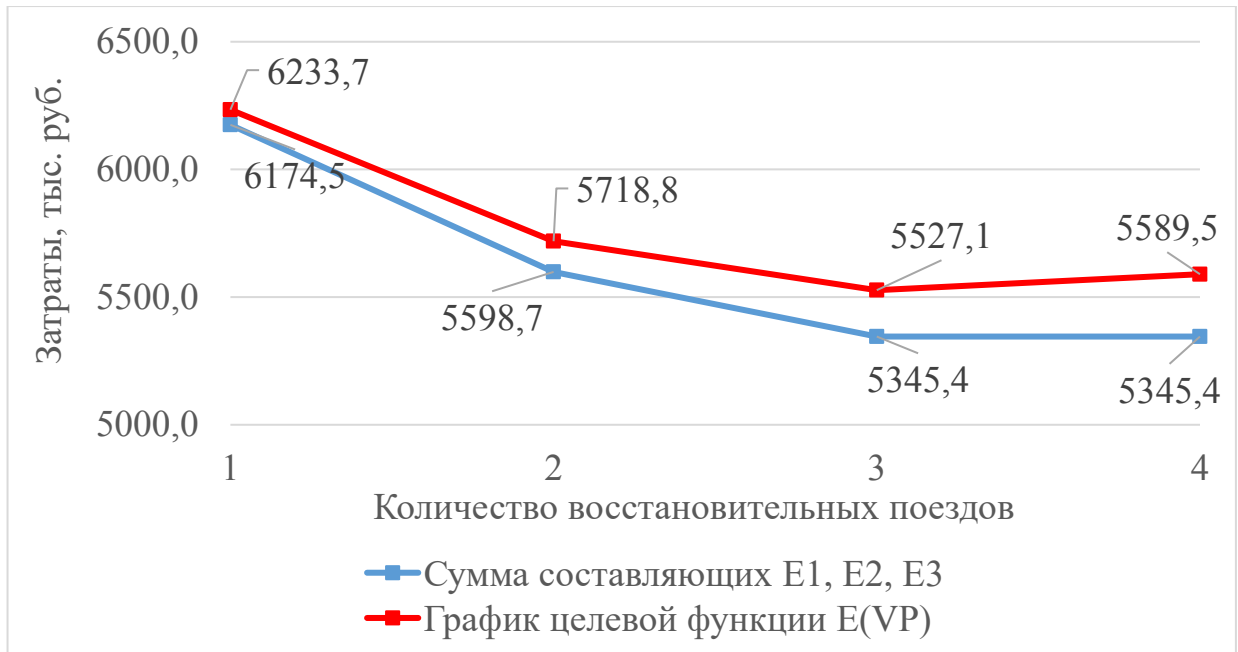


Рисунок 4.5 – График целевой функции $E(VP)$

Таким образом, размещение трех восстановительных поездов на рассматриваемом полигоне является эффективным.

В рассматриваемых выше примерах не учитывалось наличие возможности обхода барьерного места по смежным участкам, т.е. не вводилась составляющая E_4 , и не оценивалась ее взаимосвязь с составляющей E_3 . Рассмотрим влияние альтернативного пути следования на величину затрат. Отклонение поездов будет производиться при математическом моделировании процесса накопления вагонов на участке 3 – 7 с отклонением поездов на смежные участки (с учетом резервов пропускной способности). Результаты расчетов составляющих целевой функции представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Значения составляющих E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 для всех вершин и ребер при наличии возможности обхода барьерного места

		Условная нумерация ребер (сумма составляющих E_1, E_2, E_3, E_4), тыс. руб.								Сост. E_5 , тыс. руб.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Нумерация вершин	1	556,9	960,4	541,6	891,4	1318,9	574,2	652,1	603,7	61,6
	2	556,9	769,4	456,0	877,3	1490,0	688,3	847,3	620,3	62,5
	3	644,4	769,4	377,3	741,9	1277,7	584,2	817,9	540,2	59,2
	4	762,1	927,2	377,3	617,4	1081,3	584,2	969,7	620,3	60,7
	5	799,3	1135,1	472,6	617,4	866,6	497,5	877,2	645,6	60,9
	6	929,3	1323,8	559,5	741,9	866,6	594,3	1033,9	734,6	66,1
	7	644,4	960,4	472,6	781,4	1157,9	497,5	652,1	540,2	59,2

Пропуск поездов альтернативным путем следования является более затратным по сравнению с пропуском поездов по установленному пути следования, однако сумма составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 для ребра 3 – 7 (условный номер ребра – 8) оказывается меньше: составляющие E_2 и E_3 существенно уменьшаются, поскольку наличие возможности обхода снижает темпы накопления единиц транспортного потока. Рассмотрим применение данного алгоритма к более сложной модели (рисунок 4.6).

Таблица 4.14 – Исходные данные модели №2

Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Размеры движения, пар поездов/сут.	25	22	18	20	25	19	21	20	24	23	17	26	21	18	22	25
Протяженность, км	70	50	30	60	80	90	50	40	70	60	20	30	50	80	90	30

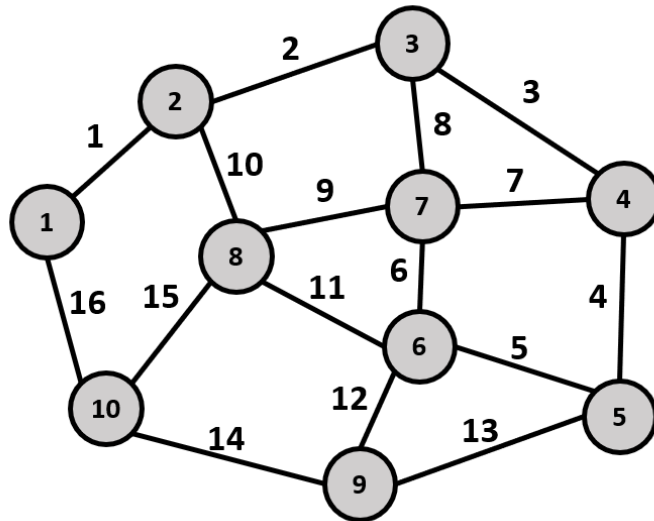


Рисунок 4.6 – Усложненная модель полигона сети железных дорог (модель №2)

Для определения расстояний вершина-дуга необходимо определить расстояния между вершинами. Результаты расчетов сведены в таблицы 4.15 и 4.16.

Таблица 4.15 – Значения расстояний вершина-вершина для модели №2

Вершины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	70	120	150	160	140	160	120	110	30
2	70	0	50	80	140	80	90	60	110	100
3	120	50	0	30	90	130	40	110	140	150
4	150	80	30	0	60	140	50	120	110	180
5	160	140	90	60	0	80	110	100	50	100
6	140	80	130	140	80	0	90	20	30	110
7	160	90	40	50	110	50	0	70	120	160
8	120	60	110	120	100	20	70	0	50	90
9	110	110	140	110	50	30	120	50	0	80
10	30	100	150	180	100	110	160	90	80	0

Таблица 4.16 – Значения расстояний вершина-дуга для модели №2

		Условная нумерация ребра															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вершины	1	70	120	150	185	190	195	180	160	175	125	140	140	160	110	120	30
	2	70	50	80	140	150	130	110	90	110	60	80	110	150	145	125	100
	3	120	50	30	90	150	130	60	40	110	110	130	150	140	185	175	150
	4	150	80	30	60	140	140	50	60	120	130	140	140	110	185	195	180
	5	185	140	90	60	80	140	110	120	140	150	100	80	50	115	145	145
	6	145	130	150	140	80	90	140	130	90	80	20	30	80	110	110	140
	7	160	90	60	110	120	70	50	40	70	110	70	100	140	180	160	175
	8	125	110	130	140	100	90	120	110	70	60	20	50	100	110	90	120
	9	145	150	140	110	80	120	140	150	120	110	50	30	50	80	110	110
	10	100	150	180	170	145	180	195	175	160	125	110	110	115	80	90	30

На основе таблицы 4.16, согласно третьему шагу алгоритма, построим таблицу значений суммы составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 (таблица 4.17), затем с учетом составляющей E_5 рассчитаем значения целевой функции для всех вариантов размещения одного восстановительного поезда на модели.

Таблица 4.17 – Значения сумм составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 для всех вершин и ребер модели №2 (в тыс. руб.)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Сумма $E_1, E_2,$ E_3, E_4 (для 1 ВП)
Вершины	1	261,8	219,3	135,4	209,0	392,5	183,0	233,6	190,5	334,9	252,8	114,7	372,7	219,3	118,1	219,3	223,9	3680,9
	2	261,8	169,6	105,9	181,1	346,1	148,6	185,5	150,0	270,3	200,0	93,0	336,6	212,3	133,2	223,1	292,1	3309,1
	3	313,1	169,6	86,9	152,4	346,1	148,6	154,4	123,8	270,3	240,1	110,9	385,1	205,5	151,4	262,6	346,1	3466,7
	4	346,1	190,2	86,9	136,2	334,9	153,7	148,5	134,0	279,8	257,1	114,7	372,7	185,5	151,4	279,2	380,6	3551,4
	5	386,5	234,6	109,9	136,2	271,7	153,7	185,5	166,8	299,3	274,8	100,0	302,4	148,5	120,2	238,5	340,5	3469,0
	6	340,5	226,9	135,4	181,1	271,7	129,0	205,5	172,6	251,8	215,6	73,4	249,3	166,5	118,1	211,8	334,9	3284,0
	7	357,4	197,3	98,1	163,6	313,1	119,8	148,5	123,8	233,9	240,1	89,6	325,0	205,5	149,0	250,4	374,7	3389,7
	8	318,5	211,8	126,6	181,1	292,1	129,0	192,0	161,1	233,9	200,0	73,4	269,9	179,0	118,1	197,3	313,1	3197,0
	9	340,5	242,4	131,0	163,6	271,7	143,6	205,5	184,5	279,8	240,1	82,9	249,3	148,5	105,9	211,8	302,5	3303,5
	10	292,1	242,4	149,0	199,5	340,5	174,8	244,6	199,8	319,4	252,8	103,6	336,6	188,7	105,9	197,3	223,9	3571,0

Таблица 4.18 – Результаты расчетов составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 и значения функции $E(VP)$ для случая размещения одного восстановительного поезда на модели №2

Нумерация вершин	Сумма составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 , тыс. руб.	Составляющая E_5 , тыс. руб.	$E(VP)$, тыс. руб.
1	3680,9	49,5	3730,4
2	3309,1	46,4	3355,5
3	3466,7	47,1	3513,8
4	3551,4	47,6	3599,0
5	3469,0	47,3	3516,3
6	3284,0	46,2	3330,2
7	3389,7	46,5	3436,2
8	<u>3197,0</u>	<u>45,5</u>	<u>3242,5</u>
9	3303,5	46,3	3349,8
10	3571,0	48,8	3619,8

Согласно полученным результатам, при заданных выше начальных условиях эффективным является размещение восстановительного поезда в вершине 8.

Для выбора эффективной схемы размещения двух поездов на модели, опираясь лишь на минимальные значения суммы составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 , необходимо рассмотреть большое количество вариантов. Это количество будет расти с увеличением размеров перспективных моделей и, соответственно, с увеличением количества возможных узлов, подходящих под размещение восстановительного поезда.

Для того, чтобы сузить диапазон вариантов, предлагается введение дополнительных индикаторов, позволяющих сразу выбрать или отклонить определенный вариант.

Ячейками первого порядка являются поля таблицы с минимальными суммами составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 для каждого ребра (для наглядности выделяются желтым цветом).

Ячейками второго порядка (в таблице выделяются зеленым цветом) считаются поля таблицы, в которых суммы составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 в каждом столбце удовлетворяют следующему условию (4.2):

$$\sum_{i=1}^k (E_1, E_2, E_3, E_4) \leq \sum_{\min} (E_1, E_2, E_3, E_4) + E_5^i, \quad (4.2)$$

где i – порядковый номер вершины;

$\sum_{\min} (E_1, E_2, E_3, E_4)$ – минимальное значение суммы составляющих E_1, E_2, E_3, E_4 для каждого ребра.

Ячейка второго порядка указывает на то, что включение ребра, к которому она относится, в зону обслуживания соответствующего восстановительного поезда по возможным затратам от образования барьерного места сопоставимо с приведенными затратами на содержание восстановительного поезда. Ячейки первого порядка всегда более приоритетны по сравнению с ячейками второго порядка.

При рассмотрении вариантов возможны ситуации, когда в рассматриваемые зоны обслуживания входят ячейки, не относящиеся к ячейкам первого и второго порядков. В таком случае предпочтение отдается ячейке с меньшим значением суммы составляющих.

С учетом введения понятий «ячейка первого и второго порядка» таблица 16 меняет свой вид.

Количество ячеек первого и второго порядка является наибольшим для 2 и 8 вершин, однако ячеек первого порядка больше в строке, соответствующей 8 вершине. Что говорит о правильности сделанного ранее выбора схемы размещения одного восстановительного поезда на полигоне модели №2.

Для выбора схемы размещения двух восстановительных поездов на модели необходимо оценивать общее количество неповторяющихся ячеек первого и второго порядков. Наибольшее количество ячеек первого порядка принадлежит паре вершин 7 и 9, поэтому эти вершины подходят для размещения восстановительных поездов. Зоны обслуживания двух восстановительных поездов представлены на рисунке 4.7.

Поскольку не все ячейки первого порядка вошли в зоны обслуживания восстановительных поездов, то имеет смысл рассматривать возможность увеличения количества восстановительных поездов. Для последующего выбора вариантов принимаем, что ячейки первого порядка выбранных вершин (и соответствующие этим ячейкам столбцы) не учитываются.

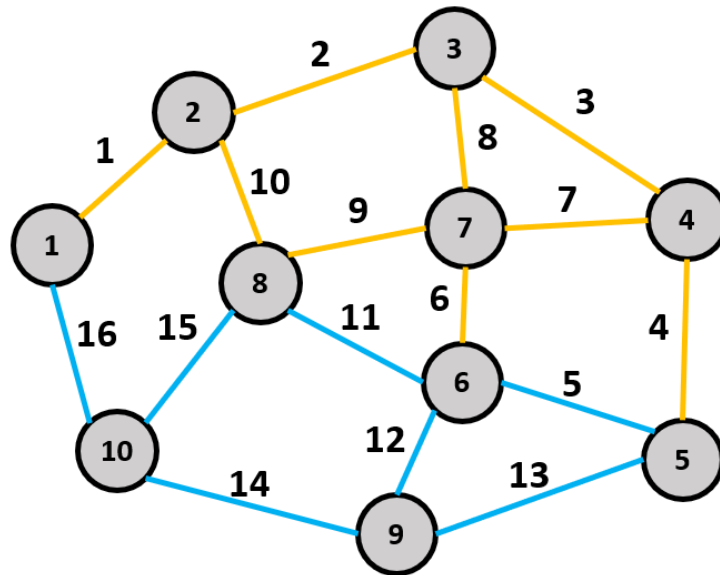


Рисунок 4.7 – Зоны обслуживания двух восстановительных поездов на полигоне модели №2

Из оставшихся вершин, которые могут быть использованы для размещения восстановительных поездов выделяются вершины 2 и 8, поскольку имеют одинаковое количество ячеек первого порядка (по 3). Однако поскольку количество ячеек второго порядка преобладает в строке, соответствующей 2 вершине, то используем ее для размещения третьего восстановительного поезда. Зоны обслуживания трех восстановительных поездов представлены на рисунке 4.8.

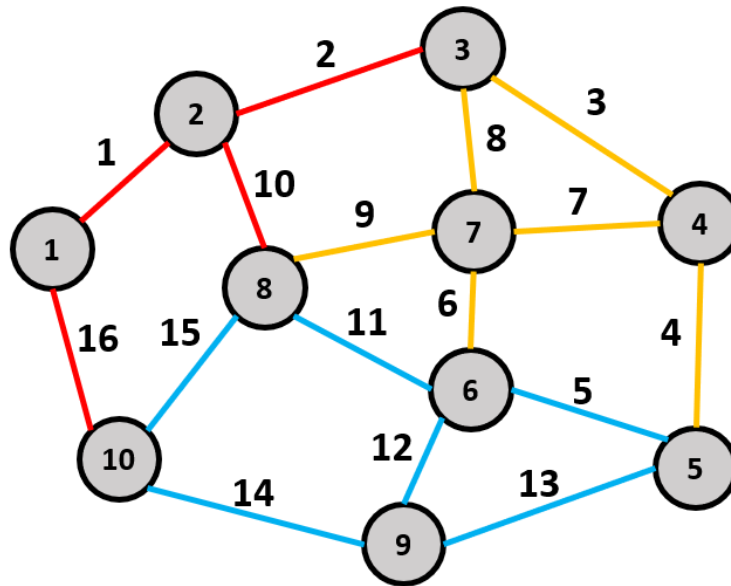


Рисунок 4.8 – Зоны обслуживания трех восстановительных поездов на полигоне модели №2

Далее увеличиваем количество восстановительных поездов аналогичным образом до тех пор, пока все ячейки первого порядка не будут распределены по зонам обслуживания восстановительных поездов. Результаты расчета целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов представлены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Результаты расчетов целевой функции $E(VP)$ для модели №2

Число ВП	Вершины	Сумма составляющ их $E_1, E_2,$ $E_3, E_4,$ тыс. руб.	Составляющая $E_5,$ тыс. руб.	Целевая функция $E(VP),$ тыс. руб.
1	8	3242,5	45,5	3288,1
2	7+9	3038,1	92,8	3130,9
3	7+9+2	2881,2	139,2	3020,4
4	<u>7+9+2+10</u>	<u>2798,5</u>	<u>188,0</u>	<u>2986,5</u>
5	7+9+2+10+4	2759,9	235,6	2995,5
6	7+9+2+10+4+8	2750,4	281,2	3031,5

По результатам расчетов, эффективной для данных условий будет схема размещения четырех восстановительных поездов в вершинах 2, 7, 9 и 10.

Дополнительные индикаторы в виде ячеек первого и второго порядков не всегда могут быть применимы для любого исходного графа. Сложности могут возникнуть для смешанных графов, структура которых неоднородна, т.е. состоящих из неразветвленных и разветвленных подграфов. Пример такого графа представлен на рисунке 4.9.

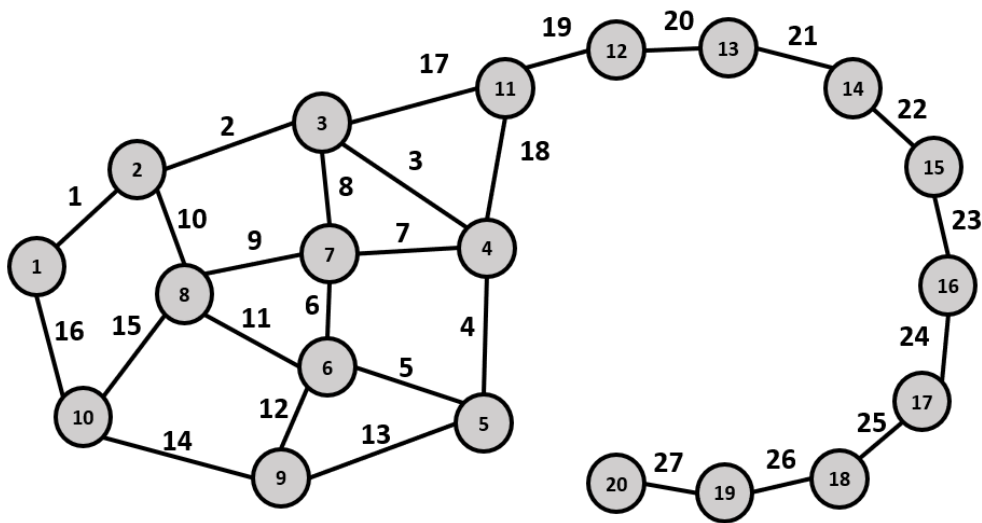


Рисунок 4.9 – Пример смешанного графа расширенной модели №2

Сложность применения индикаторов к данному графу связана с несоизмеримостью значений отдельных составляющих целевой функции $E(VP)$ для вершин разветвленного и неразветвленного подграфов. Рассмотрение подобного полигона как единой системы негативно влияет на выбор схемы размещения восстановительных поездов на полигоне – выгодным оказывается вариант размещения преимущественно в разветвленной части, поскольку зоны обслуживания восстановительных поездов в разветвленной части охватывают большее количество участков полигона по сравнению с восстановительными средствами в неразветвленной части. В результате доставка восстановительного поезда из разветвленной части в любую часть неразветвленной будет занимать продолжительное время.

Решение задачи выбора эффективной схемы размещения на смешанном графе заключается в разделении исходного графа на подграфы (разветвленные и неразветвленные) и применении алгоритма к отдельным частям, после чего из вариантов для каждого подграфа выбирается эффективная схема размещения восстановительных поездов на основном графе полигона. Произведем разделение смешанного графа на подграфы (рисунок 4.10).

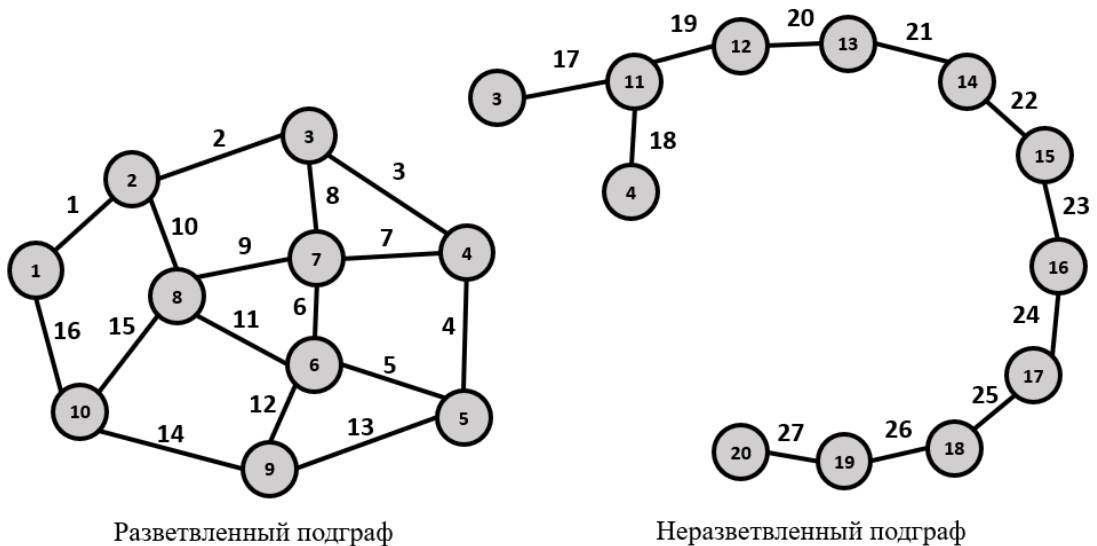


Рисунок 4.10 – Разделение смешанного графа на подграфы

Исходные данные разветвленного подграфа представлены в таблице 4.14, неразветвленного – в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Исходные данные для неразветвленного подграфа

Условная нумерация ребра	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Размеры движения, пар поездов/сут.	100	100	80	70	50	60	50	90	60	50	50
Протяженность, км	20	20	20	10	15	20	12	12	10	10	10

В результате применения алгоритма получаем варианты схем размещения восстановительных поездов на неразветвленном алгоритме (таблица 4.21)

Таблица 4.21 – Результаты расчетов целевой функции $E(VP)$ для неразветвленного подграфа смешанного графа модели №2

Число ВП	Вершины	Сумма составляющих $E_1, E_2, E_3, E_4,$ тыс. руб.	Составляющая $E_5,$ тыс. руб.	Целевая функция $E(VP),$ тыс. руб.
1	14	4804,8	31,8	4836,6
2	11+16	2806,8	63,6	2870,4
3	11+16+18	2501,3	95,4	2596,7
4	11+16+18+14	2458,0	127,2	2585,2
5	11+16+18+14+12	2707,8	159,1	2866,9

Далее поэтапным комбинированием вариантов размещения восстановительных поездов на разветвленном и неразветвленном подграфах получаем эффективные варианты схем размещения на смешанном графе, представленные в таблице 4.22.

Таким образом, для смешанного графа эффективным является размещение 8 восстановительных поездов в вершинах 2, 7, 9, 10, 11, 14, 16, 18. Изменение целевой функции $E(VP)$ в зависимости от количества восстановительных поездов представлено на рисунке 4.11. Распределение зон обслуживания между восстановительными поездами представлено на рисунке 4.12.



Рисунок 4.11 – График целевой функции $E(VP)$ для расширенной модели №2

Таблица 4.22 – Эффективные схемы размещения восстановительных поездов на смешанном графе расширенной модели №2

Число ВП	Вершины	Сумма сост. E_1 , E_2 , E_3 , E_4 , тыс. руб.	Сост. E_5 , тыс. руб.	Целевая функция $E(VP)$, тыс. руб.
2	8+14	8047,3	77,3	8124,6
3	8+11+16	6692,4	109,1	6801,5
4	7+9+11+16	5844,9	156,4	6001,3
5	7+9+11+16+18	5539,3	188,3	5727,6
6	7+9+2+11+16+18	5382,4	234,7	5617,1
7	7+9+2+11+16+18+14	5339,1	266,5	5605,6
8	7+9+2+10+11+16+18+14	5256,4	315,3	5571,7
9	7+9+2+10+4+11+16+18+14	5217,9	362,9	5580,8
10	7+9+2+10+4+8+11+16+18+14	5208,3	408,4	5616,7
11	7+9+2+10+4+8+11+16+18+14+12	5458,1	440,2	5898,3

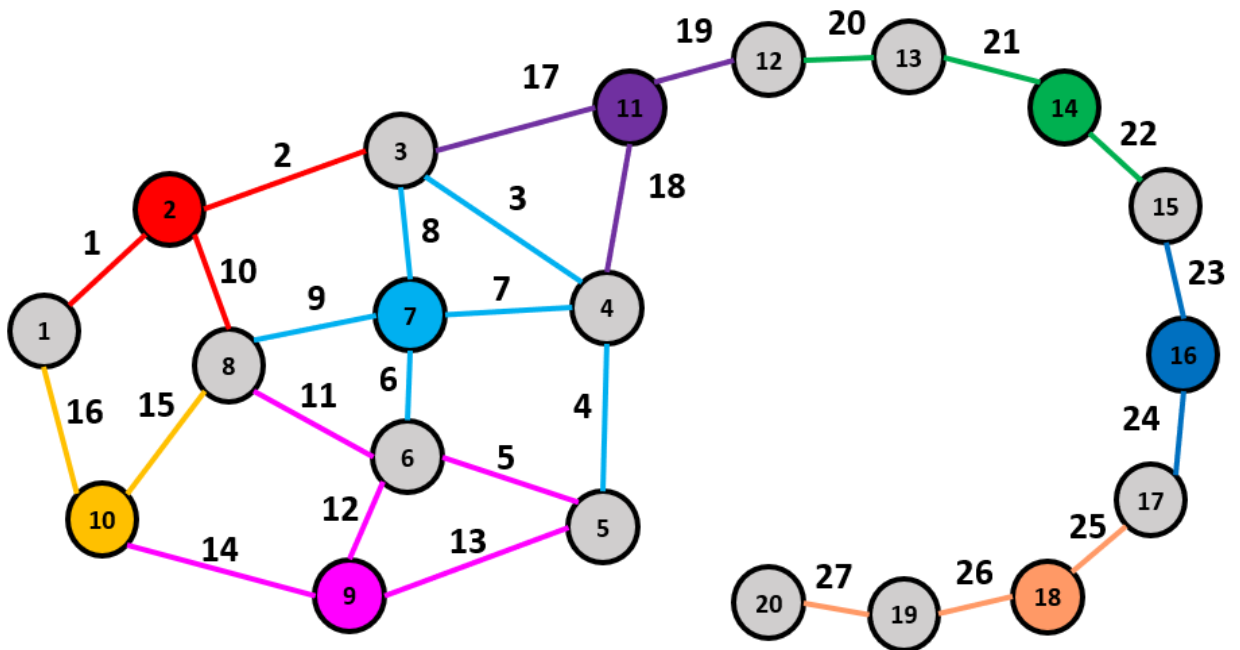


Рисунок 4.12 – Распределение зон обслуживания восстановительных поездов на расширенной модели №2

4.2. Применение алгоритма на полигонах железных дорог

Для апробации предложенного алгоритма выполнен расчет эффективного числа восстановительных поездов, и выбрана рациональная схема их размещения для Юго-Восточной, Забайкальской и Октябрьской железных дорог, которые представляются, соответственно, в виде, разветвленного, неразветвленного и смешанного графов.

1) Юго-Восточная железная дорога.

Согласно алгоритму, изложенному в п. 4.1 диссертационного исследования, Юго-Восточную железную дорогу представляем в виде графа, ребра которого обладают характеристиками, представленными в таблице Б.1 приложения Б.

Схема графа Юго-Восточной железной дороги представлена на рисунке Б.1 приложения Б.

Станции, которые могут быть рассмотрены в качестве мест постоянной дислокации восстановительных поездов, были выбраны станции высокого класса (внеклассные, первый класс), поскольку они обладают локомотивными ресурсами для выполнения маневровой работы, а также станции, к которым примыкают локомотивные депо (таблица 4.23).

Далее вычисляем расстояния вершина-дуга между каждым предполагаемым местом дислокации ВП и каждым из ребер графа. Результаты расчета представлены в таблице В.1 Приложения В. На основе полученных результатов рассчитываем сумму составляющих целевой функции $E(VP)$. Результаты промежуточных расчетов представлены в таблице В.2 Приложения В. Результаты расчета 10 вариантов отображены в таблице Г.1 приложения Г, а график целевой функции $E(VP)$ представлен на рисунке Г.1.

Таблица 4.23 – Список возможных станций Юго-Восточной железной дороги, подходящих для размещения восстановительных поездов

№№	Название станции
1	Белгород
2	Старый Оскол
3	Валуйки
4	Елец
5	Кочетовка
6	Отрожка
7	Лиски
8	Россошь
9	Липецк
10	Казинка
11	Поворино
12	Балашов
13	Тамбов
14	Ртицево

Согласно выполненным расчетам, эффективным является размещение 9 восстановительных поездов на станциях Кочетовка, Отрожка, Лиски, Белгород, Поворино, Россошь, Ртицево, Елец, Старый Оскол. Эффективная схема размещения восстановительных поездов с указанием зон обслуживания представлена на рисунке 4.13. Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов представлено в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов Юго-Восточной железной дороги

	Расчет по эффективной схеме размещения	Расчет по актуальной схеме размещения
Станции размещения восстановительных поездов	Кочетовка	Ртицево
	Отрожка	Поворино
	Лиски	Лиски
	Белгород	Россошь
	Поворино	Отрожка
	Россошь	Белгород
	Ртицево	Старый Оскол
	Елец	Валуйки
	Старый Оскол	Елец
		Кочетовка
	Тамбов	
Общее кол-во восстановительных поездов	9	11
Значение целевой функции $E(VP)$, млн. руб.	481,0	490,1
Ежегодные эксплуатационные расходы, млн. руб	250,92	306,68

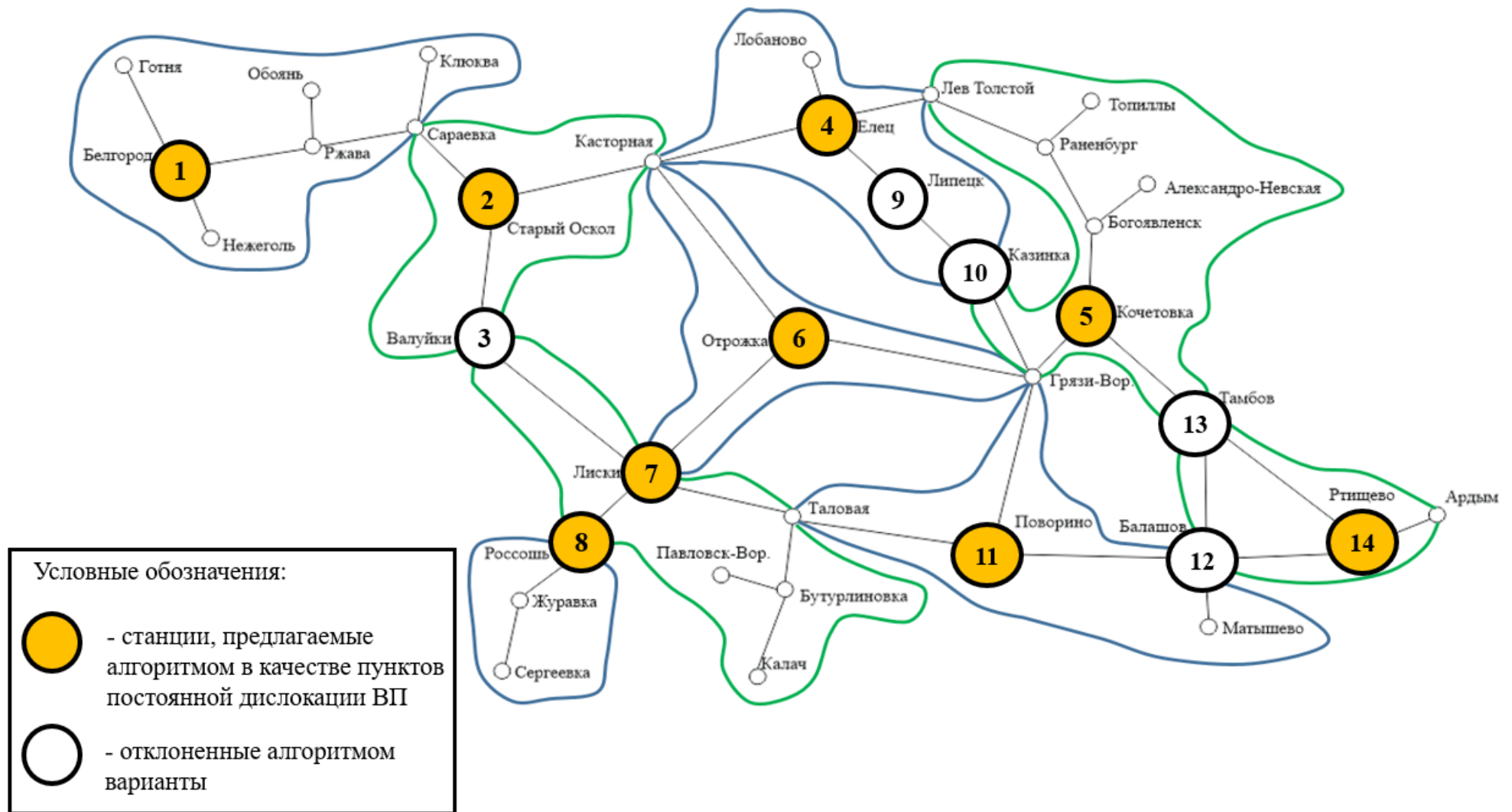


Рисунок 4.13 – Схема зон обслуживания восстановительных поездов на Юго-Восточной железной дороге

2) Забайкальская железная дорога

Произведем расчет эффективного числа ВП и выбор станций их дислокации для Забайкальской железной дороги. Характеристики участков Забайкальской железной дороги представлены в таблице Б.2 приложения Б.

Список станций Забайкальской железной дороги, которые могут быть рассмотрены в качестве места постоянной дислокации восстановительных поездов представлен в таблице 4.25. Схема графа Забайкальской железной дороги отображена на рисунке Б.2 приложения Б.

Таблица 4.25 – Список ключевых станций Забайкальской железной дороги

№№	Название станции
1	Буряя
2	Белогорск
3	Благовещенск
4	Шимановская
5	Магдагачи
6	Сковородино
7	Ерофей Павлович
8	Могоча
9	Зилово
10	Чернышевск
11	Шилка
12	Борзя
13	Карымская
14	Чита
15	Хилок

Результаты расчета расстояний вершина – дуга графа Забайкальской дороги представлены в таблице В.3 Приложения В. На основе полученных результатов рассчитываем сумму составляющих целевой функции $E(VP)$. Результаты промежуточных расчетов представлены в таблице В.4 Приложения В.

Согласно расчетам, эффективным является размещение 10 восстановительных поездов (Белогорск, Карымская, Сковородино, Могоча, Хилок, Буряя, Магдагачи, Чернышевск, Ерофей Павлович, Борзя). Эффективная схема

размещения восстановительных поездов с указанием зон обслуживания представлена на рисунке 4.14. Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на полигоне Забайкальской железной дороги представлены в таблице Г.2 приложения Г. График целевой функции $E(VP)$ представлен на рисунке Г.2 приложения Г. Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов представлено в таблице 4.26.

Таблица 4.26 – Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов Забайкальской железной дороги

	Расчет по эффективной схеме размещения	Расчет по актуальной схеме размещения
Станции размещения восстановительных поездов	Белогорск	Хилок
	Карымская	Чита
	Сковородино	Борзя
	Могоча	Шилка
	Хилок	Зилово
	Буряя	Могоча
	Магдагачи	Ерофей Павлович
	Чернышевск-Заб.	Сковородино
	Ерофей Павлович	Магдагачи
	Борзя	Шимановская
		Белогорск
	Буряя	
Общее кол-во восстановительных поездов	10	12
Значение целевой функции $E(VP)$, млн. руб.	561,6	588,7
Ежегодные эксплуатационные расходы, млн. руб	428,5	514,2

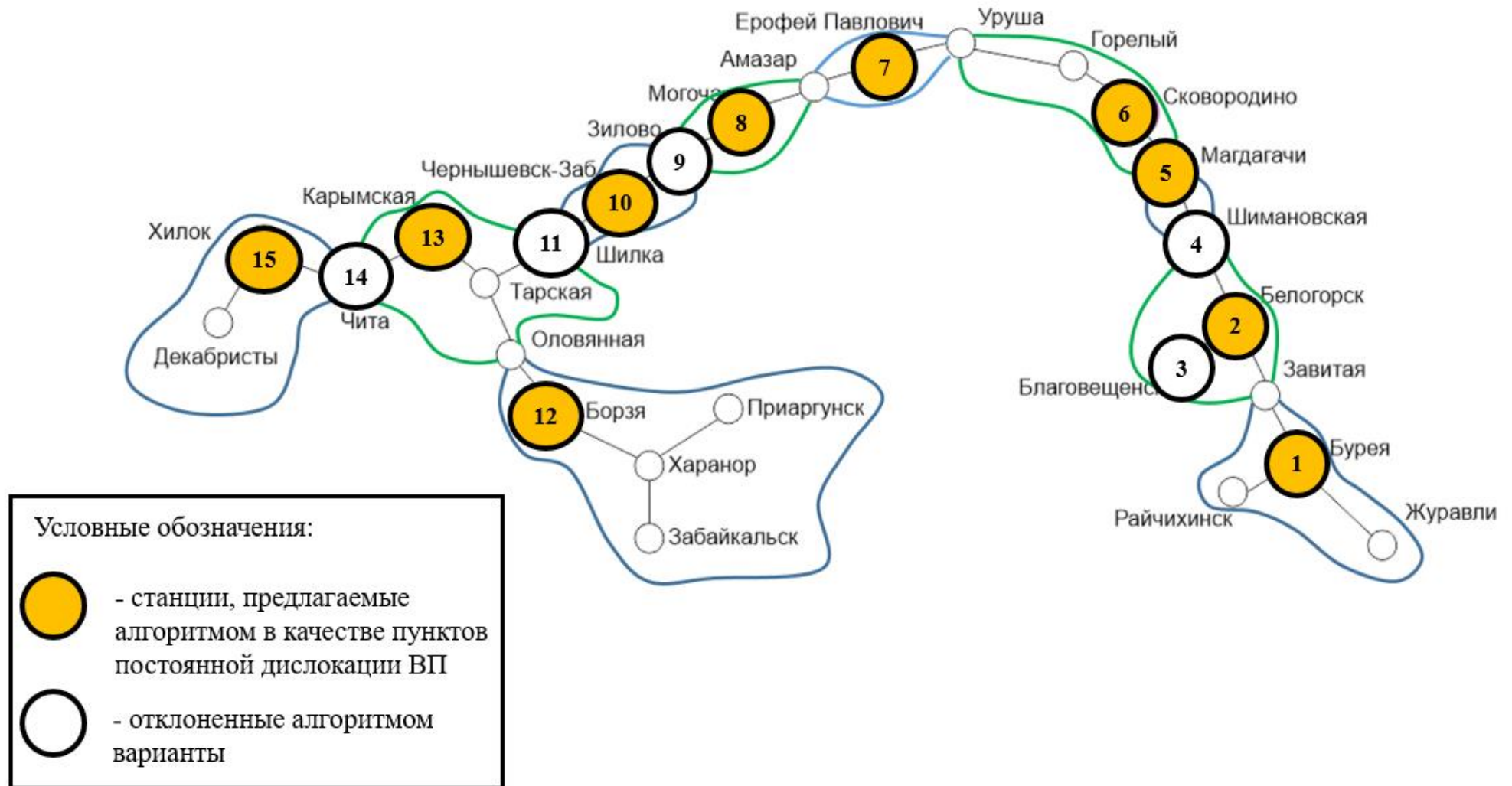


Рисунок 4.14 – Схема зон обслуживания восстановительных поездов на Забайкальской железной дороге

3) Октябрьская железная дорога

Граф полигона Октябрьской железной дороги представляет собой смешанный граф, поэтому него необходимо разделить на 2 составляющие части и каждую из них рассматривать отдельно. Схема полигона Октябрьской железной дороги представлена на рисунке Б.3 приложения Б.

Данные об участках Октябрьской железной дороги представлены в таблице Б.3 приложения Б. Список станций, подходящих для размещения восстановительных поездов на Октябрьской железной дороге представлен в таблице 4.27.

Таблица 4.27 – Список возможных станций, подходящих для размещения восстановительных поездов на Октябрьской железной дороге

№№	Станция
1	Москва-Окт.
2	Ховрино
3	Тверь
4	Ржев-Балтийский
5	Великие Луки
6	Дно
7	Псков
8	Бологое
9	Сонково
10	Бабаево
11	Новгород
12	Гатчина-Тов.-Балт.
13	СПб.-Сорт.
14	Мга
15	Волховстрой
16	СПб.-Фин.
17	Ручьи
18	Выборг
19	Каменногорск
20	Суоярви 1
21	Медвежья Гора
22	Беломорск
23	Кемь
24	Кандалакша

№№	Станция
25	Апатиты
26	Оленегорск
27	Мурманск

Применим алгоритм к разветвленному и неразветвленному подграфу. Схема разветвленного подграфа отображена на рисунке Г.3 приложения Г. Схема неразветвленного - на рисунке Г.4 приложения Г. Результаты расчета расстояний вершина – дуга графа Октябрьской дороги представлены в таблице В.5 приложения В. На основе полученных результатов рассчитываем сумму составляющих целевой функции $E(VP)$. Результаты промежуточных расчетов представлены в таблице В.6 приложения В.

Согласно произведенным расчетам, эффективным является размещение 15 восстановительных поездов на станциях Бологое, Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский, Ховрино, Волховстрой, Гатчина, Великие Луки, Бабаево, Псков, Выборг, Санкт-Петербург-Финляндский, Медвежья Гора, Кандалакша, Суоярви, Беломорск, Оленегорск. Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на полигоне Октябрьской железной дороги представлены в таблице Г.5 приложения Г. График целевой функции $E(VP)$ представлен на рисунке Г.5 приложения Г.

Распределение полигона Октябрьской железной дороги по зонам обслуживания представлено на рисунке 4.15. Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов представлено в таблице 4.28.

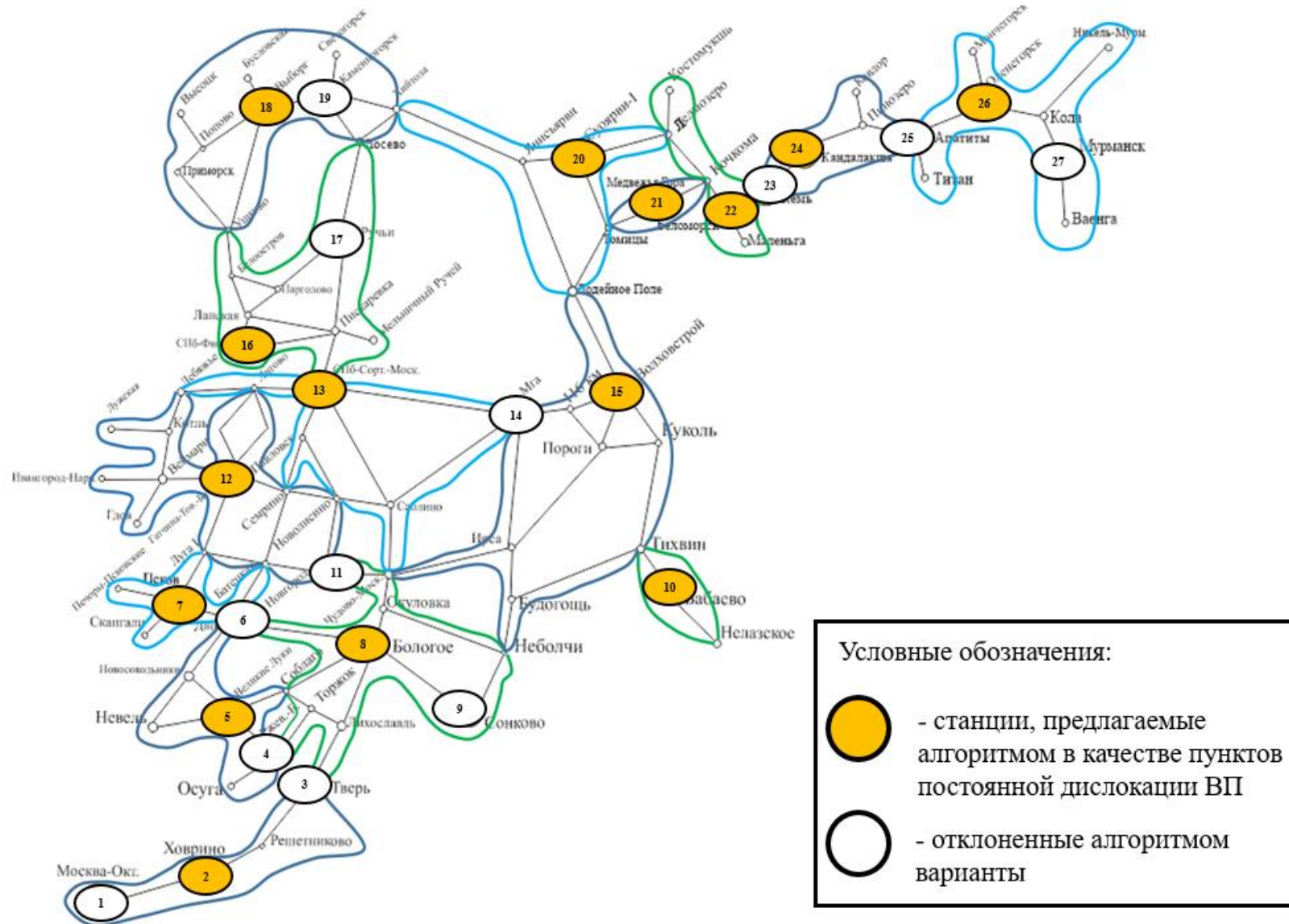


Рисунок 4.15 – Зоны обслуживания восстановительных поездов на Октябрьской железной дороге

Таблица 4.28 – Сравнение результатов расчета целевой функции $E(VP)$ для эффективной и актуальной схем размещения восстановительных поездов Октябрьской железной дороги

	Расчет по эффективной схеме размещения	Расчет по актуальной схеме размещения
Станции размещения восстановительных поездов	Бологое-Моск.	Ховрино
	СПб.-Сорт.-Моск.	Бологое-Моск.
	Ховрино	Ржев-Балтийский
	Волховстрой I	Сонково
	Гатчина	Волковская
	Великие Луки	Псков-Пасс.
	Бабаево	Новосокольники
	Псков-Пасс.	СПб.-Сорт.-Моск.
	Выборг	СПб.-Фин.
	СПб.-Фин.	Выборг
	Медвежья Гора	Петрозаводск
	Кандалакша	Медвежья Гора
	Суоярви	Кемь
	Беломорск	Кандалакша
	Оленегорск	Мурманск
	Волховстрой I	
	Бабаево	
Общее кол-во восстановительных поездов	15	17
Значение целевой функции $E(VP)$, млн. руб.	7678,8	7723,2
Ежегодные эксплуатационные расходы, млн. руб	622,95	706,01

4.3. Практическое применение и возможность дальнейшей реализации результатов исследования в работе структурных подразделений ОАО «РЖД» и научной деятельности

Ряд положений диссертационного исследования, такие как структура анализа деятельности восстановительных поездов, состав и расчетные зависимости расходов, связанных с содержанием и работой восстановительных поездов, легли в основу научной работы «Актуализация схемы размещения восстановительных

поездов с учетом специализации и классификации железнодорожных линий в соответствии с методикой, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2015 №3048Р, и связанного с ней документа [16].

Алгоритм выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов может применяться для оценки эффективности как существующей схемы размещения восстановительных поездов, так и в случае перспективных инфраструктурных и технологических изменений.

- 1) Рост планируемых размеров движения. Изменение размеров движения сопряжено с изменением значения целевой функции вследствие увеличения затрат от простоя поездов различных категорий.
- 2) Планируемое увеличение пропускных и провозных способностей по участкам и станциям. При этом пересмотру подлежит динамика изменения количества вагонов на направлении, что, в свою очередь, влияет на расчет затрат в составе целевой функции $E(VP)$.
- 3) Изменение схемы тягового обслуживания, удлинение участков оборота локомотивов и участков работы локомотивных бригад. В том случае, если существующие узлы и технические станции после изменения технологического процесса работы направления перестают быть пунктами оборота локомотивов и локомотивных бригад, необходимо пересмотреть величину коэффициента $a_{рез}$ в сторону его уменьшения, что также влияет на развитие поездной ситуации в течение периода инерционности накопления вагонов на направлении. Кроме того, с изменением тягового обслуживания, вероятно, потребуется пересмотр списка станций, подходящих для размещения восстановительных поездов.
- 4) Уменьшение размеров движения поездов определенного вида с переводом поездов на специализированную линию (например, в обход узла). Возникает необходимость в изменении графа, на котором производится расчет расстояний вершина-дуга с оценкой динамики изменения поездной ситуации в случае возникновения транспортного происшествия как на

специализированной линии (в обход узла), так и на линии, проходящей через узел.

Тем самым, становится возможным практическое применение алгоритма выбора эффективных мест размещения восстановительных средств на горизонте 1, 2, 3, ..., N лет (рисунок 4.16).

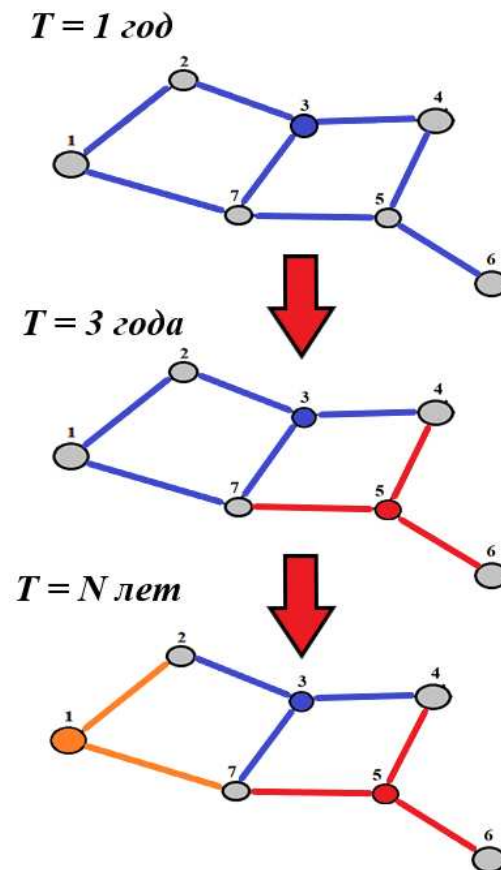


Рисунок 4.16 – Изменение схемы размещения восстановительных поездов и зон их обслуживания в течение времени

Схема размещения восстановительных средств должна не только ограничиваться технологическими и инфраструктурными возможностями направления, но и соответствовать им. Постепенное развитие системы восстановительных поездов должно быть последовательным, при этом должны исключаться варианты с ликвидацией ранее предложенных восстановительных поездов. Итерации алгоритма, на которых предлагается размещение восстановительных поездов, подлежащие удалению в перспективе, должны пропускаться.

При реализации предлагаемого подхода в рамках поэтапного развития направления на протяжении длительного промежутка времени необходимо брать в расчет итоговую стоимостную оценку (см. п. 1.4 диссертации).

Алгоритм определения эффективных мест размещения восстановительных средств возможно использовать в специализированной автоматизированной системе, в функционал которой входит формирование предложений по изменению схемы размещения восстановительных средств на определенных направлениях при планировании работы инфраструктурных подразделений в связи с изменением перспективных поездопотоков.

В результате анализа случаев нарушения безопасности движения был выявлен широкий спектр регулировочных мероприятий, предпринимаемых дежурно-диспетчерским персоналом. Эмпирически эффективность мер определяется скоростью усугубления поездной ситуации до устранения барьерного места, а также скоростью возвращения системы к исходному состоянию после ликвидации последствий барьерного места. В свою очередь, диапазон доступных мероприятий определяется имеющимися инфраструктурными и технологическими возможностями. Использование экономических критериев, учитывающих расходы и потери в процессе продвижения поездопотоков и вагонопотоков, позволит обосновать сравнительную эффективность применения одних мер над другими и предложить наилучший вариант. Учет доступных технических и технологических возможностей во взаимосвязи друг с другом позволит спрогнозировать процесс изменения эксплуатационной обстановки не только в процессе непредвиденных перерывов движения, но и на этапе планирования продолжительных закрытий и ограничений.

Все это указывает на необходимость создания автоматизированной системы, предсказывающей поведение железнодорожной системы в случае каких-либо изменений структурных возможностей, в том числе непосредственно в процессе. Такая система должна предлагать дежурно-диспетчерскому персоналу эффективные варианты действий с учетом их правильной последовательности и своевременности.

4.4. Выводы по главе 4

1. Полигон железнодорожной сети, к которому применяется алгоритм, представляется в виде неориентированного графа, ребра которого – железнодорожные участки, а вершины – железнодорожные узлы [56]. Расчет составляющих производится для каждой пары вершина (восстановительный поезд) – дуга (железнодорожный участок) с последующим их суммированием. Суть алгоритма заключается в последовательном исключении вариантов размещения восстановительных поездов, приводящих к увеличению значения целевой функции.

2. Для апробации алгоритма использовались полигоны Забайкальской, Юго-Восточной и Октябрьской железных дорог. На рассматриваемых дорогах количество восстановительных поездов сокращается на 2. При этом топологически изменяется схема размещения восстановительных поездов, и вводятся новые восстановительные поезда на подходящих к размещению железнодорожных станциях.

3. Эксплуатационные расходы на содержание восстановительных поездов сокращаются на 55,75 – 85,7 млн. руб. в год на железную дорогу в зависимости от структурного подразделения, на территории которого размещены восстановительные поезда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа случаев нарушения безопасности движения на полигонах сети железных дорог ОАО «РЖД» были выявлены четыре основных периода времени, на которые следует разделить процесс восстановления движения через поврежденный элемент инфраструктуры: 1) с момента возникновения барьерного места до момента прибытия восстановительного поезда на место ликвидации последствий барьерного места; 2) с момента начала работ до момента восстановления части пропускной способности для возобновления движения поездов; 3) с момента восстановления части пропускной способности до момента восстановления исходного значения перевозочных мощностей; 4) от момента восстановления исходного значения перевозочных мощностей до нормализации поездного положения и возвращения наличия единиц транспортного потока к исходному значению.

В результате анализа динамики накопления единиц транспортного потока после возникновения транспортных происшествий на полигонах сети ОАО «РЖД» была выявлена инерционность процесса накопления поездов на полигоне после восстановления первоначальных перевозочных мощностей, связанная с перераспределением тяговых ресурсов под отставленные от движения поезда.

2. Решение задачи выбора эффективной схемы размещения восстановительных поездов основывается на комплексе гибридных математических моделей. Динамика и структура поездопотоков, а также показатели работы полигонов определяются расчетом статистических данных. Имитационное моделирование используется для определения динамики накопления поездов различных категорий, что позволяет произвести расчет затрат от вынужденного простоя поездов различных категорий. Выбор эффективной схемы размещения восстановительных средств производится на полигонах, которые рассматриваются в качестве графов, вершины которого являются вероятными местами постоянной дислокации восстановительных поездов, а ребра – железнодорожными участками, при этом составляющие целевой функции рассчитываются для каждой пары вершина – ребро.

3. В работе классифицированы основные регулировочные меры, предназначенные для снижения темпов усугубления поездной ситуации после возникновения транспортного происшествия и уменьшения времени возвращения системы к исходному состоянию:

полигонные мероприятия, ограниченные техническими возможностями полигона (отстановка поездов от движения на приемоотправочных путях технических и промежуточных станций, формирование сдвоенных поездов, организация продвижения поездов в обход барьерного места за счет инфраструктурных возможностей полигона);

крупномасштабные мероприятия, позволяющие задействовать возможности нескольких полигонов и направлений (регулирование продвижения поездопотоков и вагонопотоков, а также их переключение на другие направления в обход проблемного инфраструктурного элемента; ограничение погрузки вагонов на путях необщего пользования на направлениях;

Применение регулировочных мер определяется инфраструктурными и ресурсными возможностями структурных подразделений. Для определения влияния регулировочных мер на процесс накопления единиц транспортного потока была спроектирована имитационная модель, и рассмотрены варианты организации движения с полигонными регулировочными мерами. В результате было выявлено, что наибольшее время нормализации поездной ситуации присуще варианту с применением отстановки поездов от движения без других регулировочных мер, а наименьшее – варианту с применением возможности обхода. при этом максимальное количество поездов для варианта с возможностью обхода на 63% меньше количества единиц, полученного в варианте с использованием отстановок от движения и составляет 28 поездов. Протяженность интервала нормализации поездной ситуации в варианте с возможностью обхода на 71% меньше, чем в варианте только с отстановкой от движения и составляет 12,2 часа.

4. Критерий оптимальности предлагаемой схемы размещения восстановительных поездов определяется значением целевой функции, включающей в себя ряд составляющих, учитывающих различные виды затрат при

организации перевозочного процесса после возникновения барьерного места и в процессе восстановления движения: затраты на доставку восстановительного поезда к месту выполнения аварийно-восстановительных работ; затраты от вынужденного простоя поездов различных категорий, затраты от невозможности использования инфраструктурного развития из-за отстановки поездов, затраты на организацию пропуска поездов в обход барьерного места. Решение задачи эффективного размещения восстановительных поездов заключается в применении эвристического алгоритма, в процессе которого последовательно определяются варианты исключения узлов дислокации восстановительных поездов, приводящие к уменьшению значения целевой функции.

5. В дальнейших исследованиях следует определить порядок расчетов по эффективному размещению восстановительных поездов не только при заданном варианте расчетных транспортных потоков, пропускных способностях элементов инфраструктуры и емкостях путевого развития, но и на перспективу – исходя из планируемого развития инфраструктуры, перевозочных ресурсов и транспортных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 26 декабря 2011 г. №2792р «Об утверждении и вводе в действие инструктивных указаний по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах ОАО «Российские железные дороги».
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31 декабря 2015 г. №3188р «Об утверждении результатов классификации железнодорожных линий».
3. Кузнецов, В.Г. Тушение пожаров и ликвидация чрезвычайных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта. Учебно-методическое пособие / В.Г. Кузнецов, В.Г. Кулинич, А.С. Попко, Е.А. Федоров, В.П. Якимук // Гомель: БелГУТ, 2007. – 128 с.
4. Никифоров, Б.Д. Управление поездной работой на направлении / Б.Д. Никифоров, Е.М. Тишкин, В.М. Макаров, В.С. Климанов // Железнодорожный транспорт. – 1982. – №2. – С. 17–24.
5. Климанов, В.С. Об эффективности регулировочных мероприятий в условиях насыщения дорог поездопотоками / В.С. Климанов // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – №4 – С. 5–8.
6. Бородин, А.Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А.Ф. Бородин, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №3. – С. 8–19.
7. Сайбаталов, Р.Ф. Вагонный парк, инфраструктура и управление движением – к общему знаменателю / Р.Ф. Сайбаталов, А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – №11. – С. 26–34.
8. Рудакова, Ю.Н. Влияние выполнения работ по реконструкции станций на их эксплуатационную деятельность / Ю.Н. Рудакова, Э.В. Бакумов // Работа станции в условиях реконструкции. – М.: Транспорт. – 1982. – С. 4–34.
9. Тимохин, Э.Ю. Организация вагонопотоков при реконструкции станции / Э.Ю. Тимохин // Работа станции в условиях реконструкции. – М.: Транспорт. – 1982. – С. 34–62.

10. Некрашевич, В.И. Влияние закрытия приемо-отправочных путей сортировочных и участковых станций на работу прилегающих участков / В.И. Некрашевич, А.Д. Чернюгов, Т.Н. Родькина // Работа станции в условиях реконструкции. – М.: Транспорт. – 1982. – С. 62–84.
11. Тимухина Е.Н. Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.22.08 / Тимухина Елена Николаевна. – Екатеринбург, 2012. – 44 с.
12. Окулов Н.Е. Методы и способы совершенствования взаимодействия производства и транспорта: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.08 / Окулов Николай Евгеньевич. – Екатеринбург, 2014. – 16 с.
13. Сотников, Е.А. Рациональная технология временной отстановки поездов от движения / Е.А. Сотников, П.С. Холодняк // Вестник ВНИИЖТ – 2019. – Т.78. – №1. – С. 3–9.
14. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.08.2006 г. №1806р «Об утверждении и вводе в действие Положения о восстановительных поездах железных дорог открытого акционерного общества «Российские железные дороги».
15. Распоряжение ОАО «РЖД» от 13.09.2016 г. №1887р «Об утверждении мест дислокации восстановительных поездов на инфраструктуре ОАО «РЖД».
16. Распоряжение ОАО «РЖД» от 18.12.2017 г. №2631р «Об утверждении мест дислокации восстановительных поездов на инфраструктуре ОАО «РЖД» (в ред. от 23.08.2019 г.).
17. Методические рекомендации по расчету ущерба от транспортных происшествий и иных связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта событий в ОАО «РЖД». – Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 3.04.2008 г. №681р.
18. Приказ Минтранса РФ от 23.01.2009 г. № 12 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

19. Распоряжение ОАО "РЖД" от 14.09.2005 №1508р «Об утверждении Положения о диспетчерском управлении движением поездов в ОАО «РЖД».
20. Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.2010 г. №525.
21. Инструкция по оперативному планированию поездной и грузовой работы железных дорог. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 16.07.2012 г. №1415р.
22. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте. Утверждена ОАО «РЖД» 31.07.2010 г.
23. Положение о Центральной комиссии ОАО «РЖД» по предупреждению транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 4.09.2013 г. № 1898р.
24. Положение о силах и средствах по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД». Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 29.09.2008 г. №2035р.
25. Положение об организации служебного расследования транспортных происшествий и иных связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта событий на инфраструктуре ОАО «РЖД». Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 1.07.2010 г. №1419р.
26. Положение по учету, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2013 г. №2852р.
27. Приказ Минтранса РФ от 26.06.2008 г. №94 «Об утверждении Порядка действий участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

28. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.07.2014 г. №1734р «О повышении роли центров управления тяговыми ресурсами в организации перевозочного процесса».
29. Регламент взаимодействия Центра управления содержанием инфраструктуры Центральной дирекции инфраструктуры-филиала ОАО «РЖД» с Ситуационным центром мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД» в штатном режиме функционирования режиме ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 06.10.2014 г. №2354р.
30. Регламент взаимодействия Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД» и Дирекции тяги - филиала ОАО «РЖД». Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 12.07.2012 г. №1386р.
31. Регламент диспетчерского управления движением поездов ОАО «РЖД». Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 9.11.2009 г. №2281р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 29.12.2009 г. №2707р).
32. Регламент взаимодействия участников системы информационного реагирования ОАО «РЖД» на чрезвычайные ситуации. Утвержден приказом ОАО «РЖД» от 16.01.2008 г. №16.
33. Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.2010 г. №525.
34. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30.12.2015 г. №3219р «Об утверждении Методики оценки ликвидации последствий при крушениях, авариях, сходах подвижного состава, отказа технических средств в оперативном управлении с целью определения расчетного времени открытия движения и минимизации затрат по времени».
35. Осьминин, А.Т. Методические основы организации ремонтно-путевых работ при длительных закрытиях перегонов с их предоставлением по технологии «в створе» / А.Т. Осьминин, Е.А. Сотников, М.А. Осьминин // Вестник ВНИИЖТ. – 2017. – Т.76. – №1. – С. 25–30.

36. Бадеецкий А.П. Метод адаптации плана формирования поездов к суточной неравномерности вагонопотоков: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.08 / Бадеецкий Александр Петрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 18 с.
37. Новиков П.О. Разработка технологии временного отставления от движения и подъема грузовых поездов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.08 / Новиков Павел Олегович. – М., 2015. – 24 с.
38. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.06.2008 г. №877р.
39. Пособие по обеспечению безопасности движения и охране труда. – М.: Техинформ, 2011. – 248 с.
40. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации – Утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286.
41. Цуриков, А.Н. Принципы построения интеллектуальной советующей системы управления и оповещения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] / А.Н. Цуриков, Н.К. Домницкий, А.Н. Гуда, О.И. Веревкина // 2013. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-postroeniya-intellektualnoy-sovetuyuschey-sistemy-upravleniya-i-opovescheniya-pri-likvidatsii-posledstviy-chrezvychaynyh>.
42. Цуриков, А.Н. Интеллектуальная советующая система управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / А.Н. Цуриков – М.: Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2013. – С. 70–76.
43. Сотников, Е.А. Организация перевозок и оборот вагона / Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 1980. – №3. – С. 38–43.
44. Воскресенский, Б.Д. Наибольшее уплотнение работ путем применения параллельных и последовательных работ, как основной метод эксплуатации железных дорог / Б.Д. Воскресенский – Харьков: Инженер путей сообщения, 1915. – 21 с.

45. Мугинштейн, Л.А. Оценка пропускной способности участков железных дорог на основе имитационного моделирования / Л.А. Мугинштейн, А.Ю. Анфиногенов, В.Ю. Кирякин // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта. – М.: Труды АО «ВНИИЖТ». – 2019. – С. 45–50.
46. Холодняк, П.С. Расчет дополнительных расходов на выполнение перевозочного процесса при возникновении затруднений в эксплуатационной работе с учетом потерь пропускной и перерабатывающей способности / П.С. Холодняк // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта. – М.: Труды АО «ВНИИЖТ». – 2019. – С. 66–72.
47. Сайбаталов, Р.Ф. Ключевые задачи перехода к планированию и организации движения на полигонах / Р.Ф. Сайбаталов // Железнодорожный транспорт. – 2016. – №6. – С. 32–37.
48. Козлов, П.А. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П.А. Козлов, В.С. Колокольников, В.И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – №3 (50). – С. 3–8.
49. Козлов, П.А. Технология макро моделирования транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Транспорт Урала. – 2014. – №3 (42). – С. 3–6.
50. Козлов, П.А. О пропускной способности станционных горловин / П.А. Козлов, Е.Н. Тимухина, В.Ю. Пермикин, Н.Е. Окулов // Транспорт Урала. – 2014. – №2 (41). – С. 47–49.
51. Лещинский, Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте / Е. Лещинский – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
52. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника – М.: Мир, 1981. – 324 с.
53. Дмитриев, Е.О. Об оценке мероприятий по развитию полигонов железнодорожной сети с учетом вариантных технологических режимов эксплуатационной работы / Е.О. Дмитриев // Третья международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических

- технологий в транспортных системах», Санкт-Петербург, 23-25 октября 2019 года : сборник трудов в 2-х частях // под ред. Краснощека А.А., Рыбина П.К. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС. – 2020. – Ч.1. – С. 80–89.
54. Бородин, А.Ф. Обеспечение функциональной надежности перевозочного процесса при размещении восстановительных средств железных дорог / А.Ф. Бородин, А.А. Сухов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018), Москва, 1–3 октября 2018 года : Материалы одиннадцатой международной конференции // Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Международный научно-исследовательский институт проблем управления РАН. – 2018. – С. 44-46.
55. Кузнецов, Г.А. Система ГИД «Урал – ВНИИЖТ»: внедрение, модернизация, перспективы развития / Г.А. Кузнецов, С.В. Крашенинников, В.П. Крайсветный, С.А. Свинин, Д.А. Матвеев, Д.А. Черноротов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №2. – С. 15–21.
56. Сухов, А.А. Размещения восстановительных средств в узлах железнодорожной сети / А.А. Сухов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019), Москва, 1–3 октября 2019 года : Материалы двенадцатой международной конференции // Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Международный научно-исследовательский институт проблем управления РАН. – 2019. – С. 720-722.
57. Sukhov, A.A. Evaluating recovery facilities placement options in railway network nodes / A.A. Sukhov // Proceedings of 2019' 12th international conference “Management of Large-scale system development”, MLSD 2019. – 2019. – С. 8911068.
58. Сухов, А.А. Имитационное исследование динамики развития и устранения барьерных мест в задаче размещения восстановительных средств железных дорог / А.А. Сухов // Транспорт Урала. – 2021. – №1 (68). – С. 103–107.
59. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2018 г. № 2872р.

60. Пономарев, В.М. Оценка состояния устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в условиях чрезвычайных ситуаций / В.М. Пономарев, А.И. Шевченко, Б.Н. Рахманов // Наука и техника транспорта. – 2008. – №3. – С. 5–11.
61. Пономарев, В.М. Система оперативного поддержания темпов восстановительных работ при ликвидации последствий ЧС на железнодорожном транспорте / В.М. Пономарев // Транспорт Урала. – 2011. – №3 (30). – С. 32–35.
62. Пономарев В.М. Методы и средства повышения безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях: автореф. дис. ... д-ра тех. наук 05.26.02 / Пономарев Валентин Михайлович. – М., 2011. – 48 с.
63. Тимухина, Е.Н. Функциональная надежность – теоретические основы и принципы расчета / Е.Н. Тимухина, Н.В. Кащеева // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – Т.2. – №1. – С. 98–108.
64. Тимухина, Е.Н. Повышение устойчивости взаимодействия производства и транспорта / Е.Н. Тимухина, Н.Е. Окулов // Транспорт Урала. – 2014. – №2 (41). – С. 7–11.
65. Грунтов, П.С. Эксплуатационная надежность станций / П.С. Грунтов – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
66. Некрашевич, В.И. Оперативное нормирование парка локомотивов грузового движения / В.И. Некрашевич, В.Н. Ковалев // Вестник ВНИИЖТ. – 2014. – №3. – С. 25–33.
67. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. Утверждена ОАО «РЖД» №128 от 10 ноября 2010 г.
68. Пазойский, Ю.О. Организация дальних, местных и пригородных пассажирских перевозок в условиях функционирования пассажирских компаний / Ю.О. Пазойский, А.И. Жербина, В.Н. Шмаль – М.: МГУПС (МИИТ), 2008. – 56 с.

69. Плотникова, Д.А. Пригородный пассажирский комплекс отечественных железных дорог: необходимость реформирования процессов управления / Д.А. Плотникова // Вестник университета. – М.: ГУУ. – 2018.– №6.– С. 78–82.
70. Дьяконов, М.Ю. «В любой стране пригородные перевозки являются убыточными» [Электронный ресурс] / М.Ю. Дьяконов – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/2671127> (Дата обращения 19.01.2020).
71. Слободянюк, И.Г. Функциональный подход к моделированию транспортных систем / И.Г. Слободянюк // Транспорт Урала. – 2017. – №2 (53). – С. 96–101.
72. Распоряжение ОАО «РЖД» от 09.01.2018 г. №2р «Об утверждении Методики проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования».
73. Александров, А.Э. Методика использования имитационных моделей поездообразования и продвижения поездов в оперативном планировании / А.Э. Александров, А.В. Сурин // Транспорт Урала. – 2016. – №4 (51). – С. 66–70.
74. Сухов, А.А. Критерии выбора рациональной схемы размещения восстановительных средств / А.А. Сухов // Тихомировские чтения. Синергия технологии перевозочного процесса», Гомель, 10-11 декабря 2020 года : Материалы Международной научно-практической конференции // Отв. ред. А.А. Ерофеев – Гомель: БелГУТ. – 2021. – С. 363–365.
75. Сухов, А.А. Оценка влияния регулировочных мероприятий дежурно-диспетчерского персонала на развитие эксплуатационной обстановки после образования барьерного места / А.А. Сухов // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России, Москва, 22-23 апреля 2021 года : Труды Международной научно-практической конференции // Отв. ред. А.Ф. Бородин – М.: РУТ(МИИТ), 2021. – С. 157–161.

76. Зубков, И.И. Организация движения на железнодорожном транспорте / И.И. Зубков, А.К. Угрюмов, А.П. Романов // Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. : 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
77. Дмитриев, Е.О. Тяговое обеспечение поездной работы при изменениях эксплуатационной обстановки / Е.О. Дмитриев, А.А. Сухов, А.С. Петров, Е.А. Алексевнин // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – №2 (86). – С. 58–66.
78. Сухов, А.А. Математическое моделирование схемы размещения восстановительных поездов на железных дорогах / А.А. Сухов // Безопасность движения поездов, Москва, 16-17 ноября 2017 года : Сборник трудов 18-й научно-практической конференции – М.: РУТ(МИИТ). – 2017. – С. VIII-35 – VIII-36.
79. Borodin, A.F. Providing the functional reliability of the transport process in placing recovery trains / A.F. Borodin, A.A. Sukhov // Proceedings of 2018' 11th international conference "Management of Large-scale system development", MLSD 2018 – 2018. – С. 8551938.
80. Бородин, А.Ф. Методы оценки показателей надежности в прикладных задачах управления перевозочным процессом / А.Ф. Бородин, К.Ю. Николаев, А.А. Сухов // Восьмая научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование», Москва, 21 ноября 2019 г. : Сборник трудов // под ред.: Матюхин В.Г., Строгонов В.И. – Москва : АО "НИИАС". – 2019. – С. 110-114.
81. Сухов, А.А. Размещение восстановительных поездов на разветвленных полигонах / А.А. Сухов // Проблемы безопасности на транспорте, Гомель, 26-27 ноября 2020 года : Материалы десятой Международной научно-практической конференции // Отв. ред. Ю.И. Кулаженко – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 62–64.
82. Germany train collision: as it happened [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/live/world-europe-35530820> (Дата обращения 27.01.2022).

83. Spain train crash: Driver faces investigation [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/world-europe-23453320> (Дата обращения 27.01.2022).
84. Train crash horror claims at least 20 lives: Head-on smash in Italy is ‘our moment of tears’ says country’s PM [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-3686241/12-dead-trains-collide-head-southern-Italy.html> (Дата обращения 29.01.2022).
85. Угрюмов, А.К. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте / А.К. Угрюмов, Г.М. Groшев, В.А. Кудрявцев, Г.А. Платонов – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.

Приложение А

Карта возникших транспортных происшествий на сети за период 2010-2016 гг.



Рисунок А.1 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2010 г.



Рисунок А.2 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2011 г.



Рисунок А.3 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2012 г.



Рисунок А.4 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2013 г.



Рисунок А.5 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2014 г.



Рисунок А.6 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2015 г.



Рисунок А.7 – Места возникновения транспортных происшествий на сети железных дорог России в 2016 г.

Приложение Б

Исходные данные для выполнения расчетов главы 4

Таблица Б.1 – Характеристики участков Юго-Восточной железной дороги

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
1	Готня - Белгород	74	5	0	0
2	Белгород - Нежеголь	35	2	0	0
3	Белгород - Ржава	79	7	7	0
4	Ржава - Обоянь	31	0	0	0
5	Ржава - Сараевка	12	7	4	0
6	Сараевка - Клюква	60	7	3	0
7	Сараевка - Старый Оскол	93	4	1	0
8	Старый Оскол - Валуйки	142	2	1	0
9	Старый Оскол - Касторная	65	2	1	0
10	Касторная - Елец	128	2	0	0
11	Елец - Лобаново	70	0	11	0
12	Елец - Лев Толстой	112	0	0	0
13	Лев Толстой - Раненбург	35	0	0	0
14	Раненбург - Топиллы	71	1	13	0
15	Раненбург - Богоявленск	19	10	2	0
16	Богоявленск - Александро- Невская	26	2	24	0
17	Богоявленск - Кочетовка	35	7	37	0
18	Кочетовка - Грязи- Воронежские	68	3	37	0
19	Казинка - Грязи- Воронежские	19	3	12	0
20	Липецк - Казинка	18	3	12	0
21	Елец - Липецк	78	3	12	0
22	Грязи-Воронежские - Отрожка	108	12	37	0
23	Отрожка - Касторная	99	2	8	0
24	Отрожка - Лиски	90	11	29	0
25	Валуйки - Лиски	163	4	1	0
26	Лиски - Россошь	116	7	37	0
27	Россошь - Журавка	55	6	37	0
28	Журавка - Сергеевка	38	0	37	0
29	Лиски - Таловая	99	2	8	0

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
30	Таловая - Бутурлиновка	40	0	0	0
31	Бутурлиновка - Павловск- Вор.	59	0	0	0
32	Бутурлиновка - Калач	54	0	0	0
33	Таловая - Поворино	123	3	8	0
34	Грязи-Воронежские - Поворино	237	3	6	0
35	Поворино - Балашов	78	0	7	0
36	Кочетовка - Тамбов	76	7	12	0
37	Балашов - Тамбов	200	0	1	0
38	Балашов - Матышево	123	0	1	0
39	Тамбов - Ртищево	190	2	10	0
40	Балашов - Ртищево	108	0	8	0
41	Ртищево - Ардым	132	2	9	0

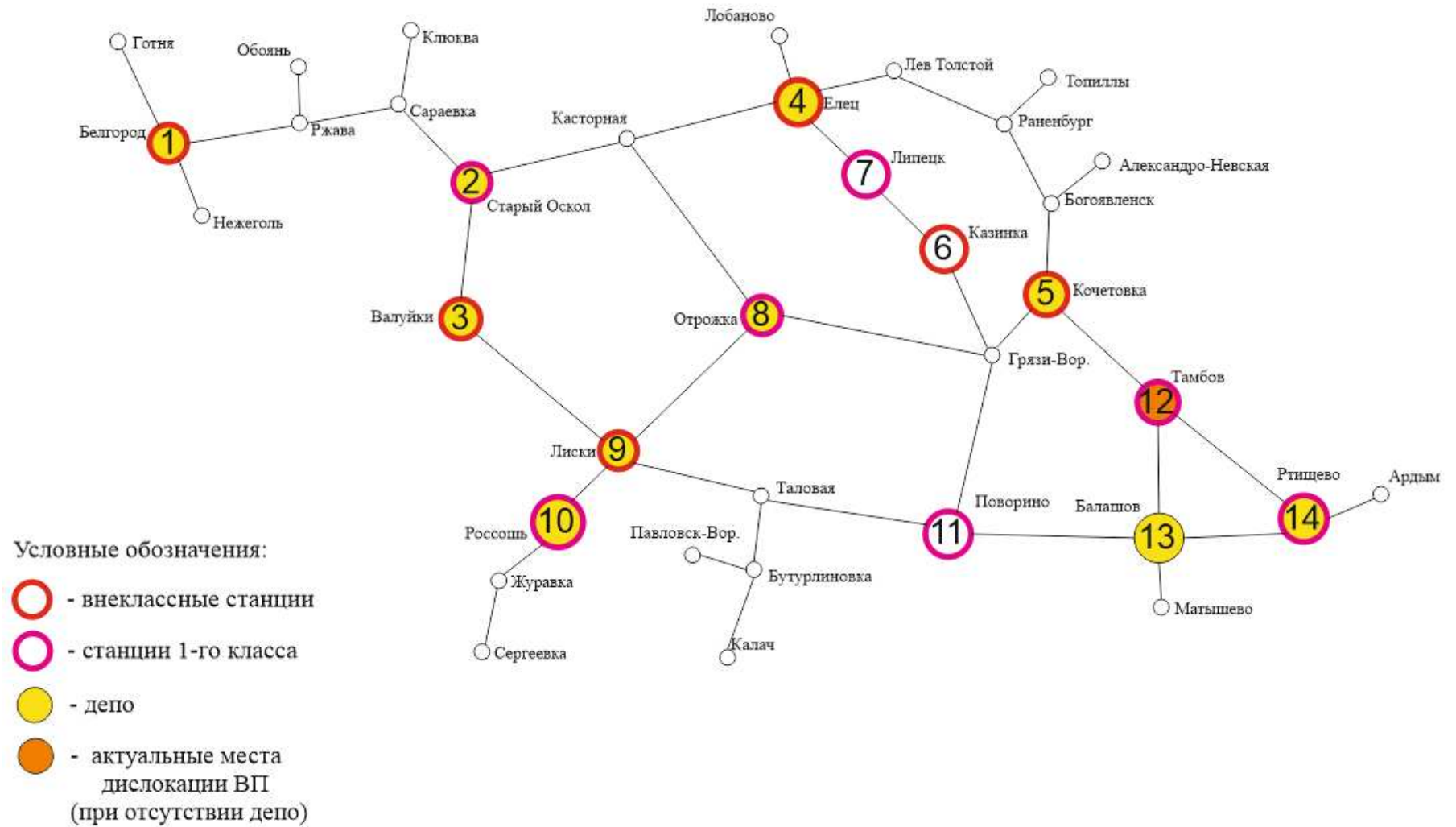


Рисунок Б.1 – Схема графа Юго-Восточной железной дороги

Таблица Б.2 – Характеристики участков Забайкальской железной дороги

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
1	Журавли - Буряя	40	2	7	0
2	Буряя - Райчихинск	41	0	0	0
3	Буряя - Завитая	45	2	7	0
4	Завитая - Белогорск	120	2	7	0
5	Белогорск - Благовещенск	109	1	3	0
6	Белогорск - Шимановская	142	1	8	0
7	Шимановская - Магдагачи	227	2	8	0
8	Магдагачи - Сквородино	189	3	8	0
9	Сквородино - Горелый	27	2	9	0
10	Горелый - Уруша	88	2	6	0
11	Уруша - Ерофей Павлович	98	4	6	0
12	Ерофей Павлович - Амазар	107	3	6	0
13	Амазар - Могоча	98	3	6	0
14	Могоча - Зилово	239	3	6	0
15	Зилово - Чернышевск-Заб.	83	3	6	0
16	Чернышевск-Заб. - Шилка	142	3	6	0
17	Шилка - Тарская	140	3	6	0
18	Тарская - Оловянная	136	1	3	0
19	Оловянная - Борзя	99	1	2	0
20	Борзя - Харанор	41	0	4	0
21	Харанор - Забайкальск	76	0	3	0
22	Харанор - Приаргунск	207	1	1	0
23	Тарская - Карымская	12	5	9	0
24	Карымская - Чита	99	0	9	0
25	Чита - Хилок	261	2	7	0
26	Хилок - Декабристы	146	1	2	0



Условные обозначения:

- - внеклассные станции
- - станции 1-го класса
- - локомотивные депо
- - актуальные места дислокации ВП (при отсутствии депо)

Рисунок Б.2 – Схема графа Забайкальской железной дороги

Таблица Б.3 – Характеристики участков Октябрьской железной дороги

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
1	Москва-Окт. - Ховрино	13	160	40	16
2	Ховрино – Решетниково	92	160	40	16
3	Решетниково – Тверь	62	17	32	16
4	Тверь – Лихославль	42	17	32	16
5	Лихославль – Торжок	33	7	1	0
6	Торжок - Ржев-Балт.	109	2	0	0
7	Ржев.-Балт. – Осуга	23	1	1	0
8	Ржев-Балт. - Великие-Луки	242	5	1	0
9	Великие Луки – Соблаго	156	1	1	0
10	Великие Луки - Новосокольники	29	3	2	0
11	Новосокольники – Невель	44	0	1	0
12	Невель - Великие Луки	53	1	0	0
13	Новосокольники – Дно	176	2	7	0
14	Дно – Псков	99	2	0	0
15	Псков – Скангали	119	1	0	0
16	Печоры-Псковские – Псков	46	0	0	0
17	Псков - Луга 1	137	2	0	0
18	Луга 1 – Батецкая	36	1	0	0
19	Дно – Бологое	262	3	1	0
20	Соблаго – Бологое	150	2	1	0
21	Лихославль – Бологое	122	9	33	16
22	Бологое – Окуловка	70	2	34	16
23	Бологое – Сонково	193	1	3	0
24	Сонково – Неболчи	315	2	1	0
25	Неболчи – Окуловка	103	2	1	0
26	Неболчи – Будогощь	56	3	1	0
27	Окуловка - Чудово-Моск.	131	2	34	16
28	Дно – Батецкая	98	2	8	0
29	Будогощь – Ирса	37	9	1	0
30	Чудово-Моск – Ирса	46	2	7	0
31	Батецкая – Новгород	60	1	2	0
32	Новгород - Чудово-Моск.	71	2	4	0
33	Будогощь – Тихвин	75	0	0	0
34	Тихвин – Бабаево	152	2	7	0

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
35	Бабаево – Нелазское	108	2	7	0
36	Чудово-Моск. – Саблино	77	9	43	16
37	Новгород – Новолисино	125	3	1	0
38	Батецкая – Семрино	102	2	5	0
39	Луга 1 - Гатчина-Тов.- Балтийская	92	25	6	0
40	Новолисино – Саблино	17	0	0	0
41	Новолисино – Семрино	10	2	0	0
42	Семрино - Гатчина-Тов.- Балт.	22	2	0	0
43	Гатчина-Тов.-Балт. – Веймарн	74	0	0	0
44	Веймарн – Гдов	100	0	0	0
45	Веймарн - Ивангород- Нарвский	35	1	1	0
46	Веймарн-Котлы	25	0	0	0
47	Котлы – Лужская	23	0	0	0
48	Котлы – Лебяжье	61	10	0	0
49	Лебяжье – Лигово	48	5	0	0
50	Лигово - Гатчина-Тов.- Балт. (1)	35	17	4	0
51	Лигово - Гатчина-Тов.- Балт.(2)	45	35	4	0
52	Лигово- СПб-Сорт.-Моск.	17	49	0	0
53	Семрино – Павловск	19	6	0	0
54	Павловск – Новолисино	16	13	3	0
55	Павловск - СПб-Сорт.- Моск.	16	6	0	0
56	СПб-Сорт.-Моск – Саблино	32	9	30	16
57	Саблино – Мга	62	9	1	0
58	СПб-Сорт.-Моск. - Мга	9	24	1	0
59	Ирса - Мга	62	9	1	0
60	Ирса – Пороги	56	2	5	0
61	Тихвин – Куколь	66	6	7	0
62	Куколь – Волховстрой	9	6	7	0
63	Пороги – Куколь	12	0	0	0

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
64	Пороги – Волховстрой	7	2	4	0
65	116 км – Пороги	9	0	0	0
66	Мга - 116 км	67	12	12	0
67	Волховстрой - 116 км	67	12	12	0
68	СПб-Сорт.-Моск. – Пискаревка	10	1	6	0
69	Пискаревка - Мельничный Ручей	16	4	0	0
70	Пискаревка - СПб-Фин.	9	71	12	0
71	СПб-Фин. – Ланская	5	81	6	0
72	Пискаревка – Ланская	14	30	0	0
73	Ручьи - Пискаревка	2	38	2	0
74	Ланская – Парголово	11	32	0	0
75	Парголово – Ручьи	17	0	0	0
76	Ланская – Белоостров	37	56	6	0
77	Парголово – Белоостров	15	32	0	0
78	Ушково – Белоостров	23	51	7	0
79	Приморск – Ушково	68	3	0	0
80	Ушково – Выборг	75	16	7	0
81	Приморск – Попово	29	0	0	0
82	Попово - Высоцк	10	0	0	0
83	Попово – Выборг	19	0	2	0
84	Выборг – Бусловская	26	4	8	0
85	Выборг – Каменногорск	39	16	0	0
86	Каменногорск – Светогорск	26	0	0	0
87	Ручьи – Лосево	84	38	2	0
88	Каменногорск – Лосево	56	0	0	0
89	Лосево - Хийтола	82	2	2	0
90	Каменногорск – Хийтола	53	0	2	0
91	Хийтола - Янисъярви	149	2	4	0
92	Лодейное Поле - Янисъярви	219	0	0	0
93	Волховстрой - Лодейное Поле	13	3	12	0
94	Лодейное Поле - Томицы	169	9	12	0
95	Янисъярви - Суоярви 1	83	0	2	0

№№	Участки	Длина, км	Размеры движения, пар поездов/сут.		
			Приг.	Пасс. дал.	Скор.
96	Томицы - Суоярви 1	134	0	2	0
97	Томицы - Медвежья Гора	146	2	4	0
98	Суоярви 1 - Ледмозеро	270	1	2	0
99	Медвежья Гора - Кочкома	153	2	4	0
100	Ледмозеро - Кочкома	123	0	0	0
101	Ледмозеро - Костомукша	87	0	2	0
102	Кочкома - Беломорск	65	2	4	0
103	Беломорск - Маленьга	126	2	1	0
104	Беломорск - Кемь	55	1	6	0
105	Кемь - Кандалакша	331	2	5	0
106	Кандалакша - Пинозеро	22	5	4	0
107	Пинозеро - Ковдор	117	1	0	0
108	Пинозеро - Апатиты	66	3	5	0
109	Апатиты - Титан	12	0	0	0
110	Апатиты - Оленегорск	80	2	5	0
111	Оленегорск - Мончегорск	31	0	0	0
112	Оленегорск - Кола	105	3	5	0
113	Кола - Мурманск	11	3	5	0
114	Кола – Никель-Мурм.	186	1	0	0
115	Соблаго - Торжок	165	1	0	0

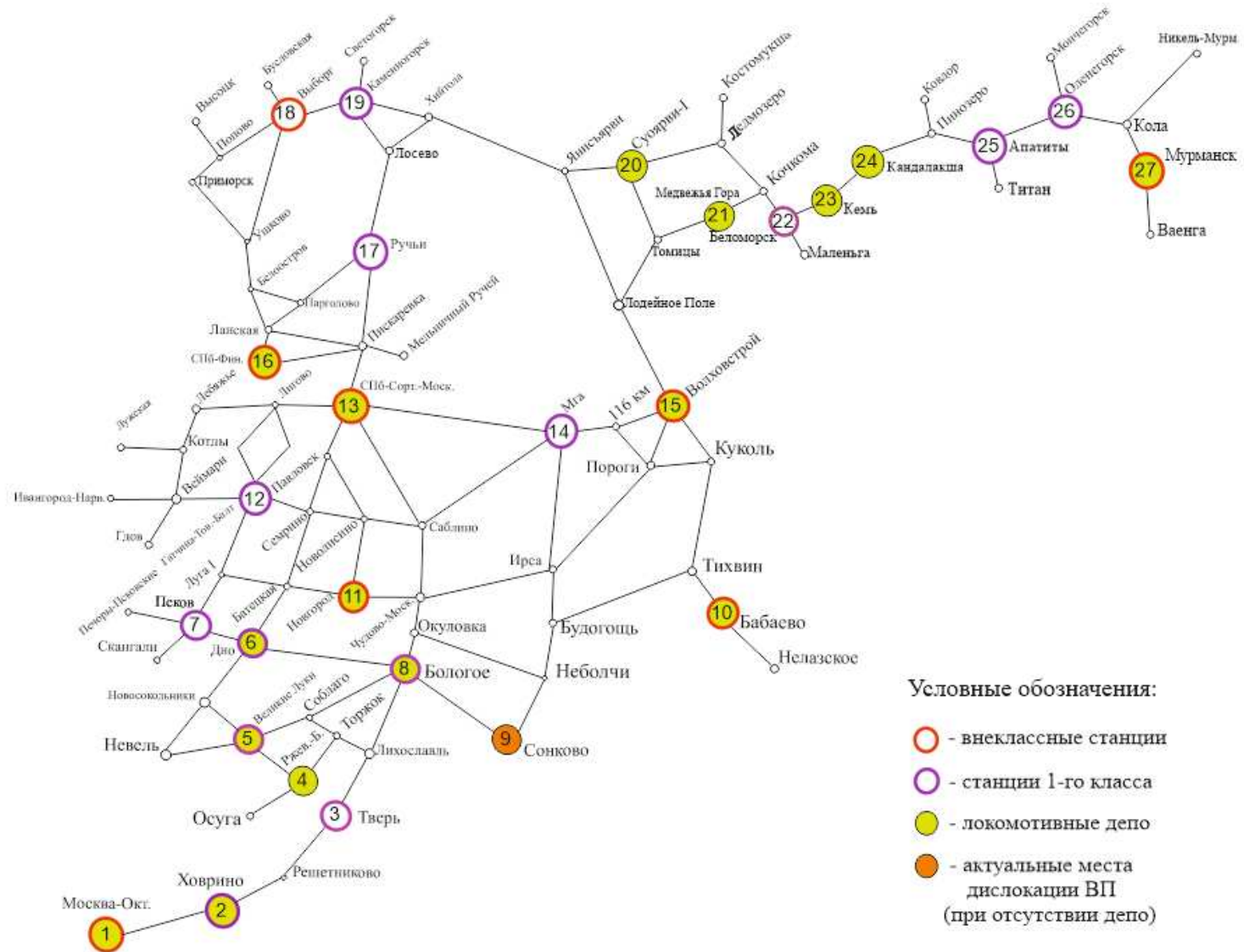


Рисунок Б.3 – Схема графа Октябрьской железной дороги

Приложение В

Таблица В.1 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Юго-Восточной железной дороги

		Условные номера ребер графа																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Вершины	1	74	35	79	110	91	151	184	326	249	377	447	489	524	595	548	574	554	524	475	474	455
	2	258	219	184	136	105	153	93	142	65	193	263	305	340	411	364	390	370	340	291	290	271
	3	400	361	326	278	247	295	235	142	207	335	405	447	482	553	485	490	464	429	380	397	405
	4	451	412	377	329	298	346	286	335	193	128	70	112	147	218	171	197	195	183	116	97	78
	5	598	559	524	476	445	493	433	456	340	293	253	195	94	130	59	61	35	68	87	105	183
	6	422	383	348	300	269	317	257	280	164	225	293	303	270	306	235	237	211	176	127	145	223
	7	512	473	438	390	359	407	347	280	254	315	383	393	360	396	325	327	301	266	217	235	313
	8	628	589	554	506	475	523	463	396	370	431	499	509	476	512	441	443	417	382	333	351	429
	9	529	490	455	407	376	424	364	406	271	206	148	190	195	235	164	166	140	105	38	19	78
	10	548	509	474	426	395	443	383	406	290	225	167	195	180	216	145	147	121	86	19	19	97
	11	734	695	660	612	581	629	569	502	476	446	422	432	399	435	364	366	340	305	256	274	352
	12	812	773	738	690	659	707	647	580	554	524	500	456	370	406	335	337	311	330	334	352	430
	13	674	635	600	552	521	569	509	532	416	369	329	271	170	206	135	137	111	144	163	181	259
	14	864	825	790	742	711	759	699	660	606	559	519	461	360	396	325	327	301	334	353	371	449

Таблица В.1 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Юго-Восточной железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																			
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Вершины	1	456	348	438	464	554	609	647	537	567	626	621	660	677	738	600	769	861	790	818	922
	2	272	164	254	280	370	425	463	353	393	452	447	476	493	554	416	585	677	606	634	738
	3	361	280	253	163	279	334	372	262	302	361	356	385	492	463	505	584	586	633	571	703
	4	223	225	313	406	429	484	522	412	452	511	506	444	352	430	259	445	553	449	494	581
	5	176	275	266	429	382	437	475	365	405	464	459	397	305	330	76	276	399	266	325	398
	6	108	99	90	253	206	261	299	189	229	288	283	312	329	390	252	421	513	442	470	574
	7	198	189	90	163	116	171	209	99	139	198	193	222	329	300	342	421	423	470	408	540
	8	314	305	206	279	116	55	93	215	255	314	309	338	445	416	458	537	539	586	524	656
	9	145	225	235	398	351	406	444	334	374	433	428	366	274	352	181	367	475	371	416	503
	10	126	225	216	379	332	387	425	315	355	414	409	347	255	333	162	348	456	352	397	484
	11	329	411	312	385	338	393	431	222	163	222	217	123	237	78	330	278	201	327	186	318
	12	407	489	390	463	416	471	509	300	241	300	295	201	315	78	276	200	123	249	108	186
	13	252	351	342	505	458	513	551	421	441	500	495	401	330	278	76	200	323	190	249	322
	14	442	541	470	571	524	579	617	408	349	408	403	309	379	186	266	249	231	190	108	132

Таблица В.2 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Юго-Восточной железной дороги

		Условные номера ребер графа													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вершины	1	3743	1784	3093	166	2246	3555	4078	1378	2493	2068	6456	171	1375	5616
	2	6730	3342	4399	180	2360	3578	3013	837	1372	1269	4145	112	913	3711
	3	9625	4870	6512	265	3670	5386	4745	837	2209	1869	5885	157	1262	5147
	4	10790	5488	7368	298	4206	6123	5461	1407	2118	1031	2255	60	527	2128
	5	14519	7475	10123	405	5951	8506	7805	1829	3164	1680	4033	81	439	1547
	6	10120	5132	6875	279	3897	5698	5048	1230	1936	1395	4488	111	762	2797
	7	12271	6276	8459	341	4895	7065	6383	1230	2528	1778	5596	139	959	3573
	8	15348	7917	10738	428	6342	9039	8334	1613	3402	2338	7200	178	1246	4709
	9	12700	6504	8777	353	5095	7340	6653	1648	2648	1319	2953	80	613	2250
	10	13189	6765	9138	367	5324	7652	6961	1648	2785	1395	3136	81	586	2114
	11	18459	9583	13052	516	7825	11052	10342	2003	4310	2413	6113	152	1051	3938
	12	20931	10910	14897	585	9012	12661	11958	2315	5045	2837	7214	160	982	3665
	13	16663	8621	11715	465	6967	9888	9179	2120	3783	2030	4917	102	568	2043
	14	22665	11842	16194	634	9850	13794	13100	2656	5567	3041	7496	161	959	3573

Таблица В.2 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Юго-Восточной железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа													
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Вершины	1	9171	37982	206264	124544	14220	15502	10891	521708	3372	70937	4309	31783	16552	85911
	2	6183	25824	138713	82633	9243	10071	7015	334524	2038	44660	2789	21491	11384	59995
	3	8083	32144	171742	101842	11519	13090	9744	419898	2838	44533	1992	17129	9182	48883
	4	3668	15560	86825	53604	5485	5609	3842	291652	2445	52427	3795	24576	12937	67802
	5	2499	9859	50030	36274	4954	5769	5455	253286	2805	46189	4000	22102	11692	61544
	6	4432	17478	91203	52454	5693	6601	6140	202557	1643	26331	2597	13979	7586	40786
	7	5624	22193	116967	68178	7538	8671	7826	270909	2201	26331	1992	10523	5827	31802
	8	7363	29088	154876	91449	10287	11745	10293	373606	3032	38798	2786	10523	3897	21852
	9	3589	14150	73127	41487	4116	4164	3842	229459	2445	42290	3731	20540	10905	57582
	10	3378	13317	68626	38767	3811	4164	4114	215436	2445	39986	3571	19611	10436	55218
	11	6183	24409	129122	75624	8415	9653	8619	387600	3901	52291	3622	19902	10583	55959
	12	5765	22752	120027	80498	10312	11773	10316	467283	4609	63499	4304	23879	12586	66041
	13	3269	12889	66314	47354	6401	7396	6791	316671	3396	56473	4696	26167	13736	71814
	14	5624	22193	116967	81409	10803	12321	10752	506011	5112	76123	5344	29970	15644	81370

Таблица В.2 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Юго-Восточной железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Вершины	1	11282	6342	2626	1033	13259	79865	8095	23202	1278	1473	6754	12331	23836
	2	7561	4389	1860	730	9326	56258	5845	15953	930	1097	4941	9094	17995
	3	5991	3510	1511	591	7633	56140	4865	19292	928	931	5189	8097	16976
	4	8674	5011	2105	827	8702	41004	4531	10825	699	875	3615	6949	13654
	5	7781	4512	1908	749	7838	36438	3586	6077	464	632	2326	4751	9341
	6	4860	2875	1256	491	6394	38687	4142	10619	664	808	3561	6618	13474
	7	3625	2178	974	379	5015	38687	3328	13415	664	667	3780	5782	12618
	8	5250	3094	1344	525	6823	50776	4393	17490	848	851	4761	7390	15654
	9	7218	4197	1784	700	7292	33573	3788	8639	585	747	3032	5881	11717
	10	6883	4010	1710	670	6966	31875	3617	8143	559	717	2897	5634	11268
	11	5357	2355	1046	407	3686	30306	1690	13007	467	374	2725	3244	7709
	12	6625	2975	1297	507	4717	37387	1690	11333	373	290	2220	2520	5351
	13	8851	4892	2058	808	7919	38784	3143	6077	373	525	1872	3892	7787
	14	8597	3952	1686	661	6346	43697	2422	11033	431	409	1872	2520	4507

Таблица В.3 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Забайкальской железной дороги

		Условные номера ребер графа															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вершины	1	40	41	45	165	274	307	534	723	750	838	936	1043	1141	1380	1463	1605
	2	205	206	165	120	109	142	369	558	585	673	771	878	976	1215	1298	1440
	3	314	315	274	229	109	251	478	667	694	782	880	987	1085	1324	1407	1549
	4	347	348	307	262	251	142	227	416	443	531	629	736	834	1073	1156	1298
	5	574	575	534	489	478	369	227	189	216	304	402	509	607	846	929	1071
	6	763	764	723	678	667	558	416	189	27	115	213	320	418	657	740	882
	7	976	977	936	891	880	771	629	402	213	186	98	107	205	444	527	669
	8	1181	1182	1141	1096	1085	976	834	607	418	391	303	205	98	239	322	464
	9	1420	1421	1380	1335	1324	1215	1073	846	657	630	542	444	337	239	83	225
	10	1503	1504	1463	1418	1407	1298	1156	929	740	713	625	527	420	322	83	142
	11	1645	1646	1605	1560	1549	1440	1298	1071	882	855	767	669	562	464	225	142
	12	2020	2021	1980	1935	1924	1815	1673	1446	1257	1230	1142	1044	937	839	600	517
	13	1797	1798	1757	1712	1701	1592	1450	1223	1034	1007	919	821	714	616	377	294
	14	1896	1897	1856	1811	1800	1691	1549	1322	1133	1106	1018	920	813	715	476	393
	15	2157	2158	2117	2072	2061	1952	1810	1583	1394	1367	1279	1181	1074	976	737	654

Таблица В.3 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Забайкальской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа									
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Вершины	1	1745	1881	1980	2021	2097	2162,5	1757	1856	2117	2263
	2	1580	1716	1815	1856	1932	1997,5	1592	1691	1952	2098
	3	1689	1825	1924	1965	2041	2106,5	1701	1800	2061	2207
	4	1438	1574	1673	1714	1790	1855,5	1450	1549	1810	1956
	5	1211	1347	1446	1487	1563	1628,5	1223	1322	1583	1729
	6	1022	1158	1257	1298	1374	1439,5	1034	1133	1394	1540
	7	809	945	1044	1085	1161	1226,5	821	920	1181	1327
	8	604	740	839	880	956	1021,5	616	715	976	1122
	9	365	501	600	641	717	782,5	377	476	737	883
	10	282	449,5	548,5	558	634	699,5	294	393	654	800
	11	140	276	375	416	492	557,5	152	251	512	658
	12	375	235	99	41	117	182,5	247	346	607	753
	13	152	148	247	288	364	429,5	12	99	360	506
	14	251	247	346	387	463	528,5	111	99	261	407
	15	512	508	607	648	724	789,5	372	360	261	146

Таблица В.4 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Забайкальской железной дороги

		Условные номера ребер графа												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вершины	1	17858	510	19914	31187	1996	55241	99750	82990	153672	57937	75447	91816	104080
	2	31375	774	30347	26904	1200	34210	69605	61615	114869	44255	58796	72902	83874
	3	42365	964	41707	37818	1200	47543	88914	75380	139872	53088	69564	85153	96978
	4	46016	1024	45500	41486	1874	34210	47983	45756	85981	33949	46121	58365	68226
	5	75199	1469	76047	71296	3242	64435	47983	25279	48459	20297	29042	38473	46556
	6	104921	1883	107416	102216	4656	96813	77642	25279	25345	11578	17807	25051	31655
	7	144325	2396	149232	143706	6547	141159	119554	44320	48034	14571	12300	13345	18281
	8	188161	2936	195946	190287	8666	191701	168387	67632	81327	25119	22819	18281	12931
	9	246588	3623	258417	252827	11505	260362	235837	100985	131109	40991	39113	33535	26142
	10	268723	3876	282130	276619	12585	286658	261910	114122	151160	47403	45787	39900	31797
	11	308796	4327	325111	319804	14543	334578	309684	138458	188767	59450	58418	52066	42749
	12	427997	5622	453251	448891	20388	478916	455067	214007	308119	97796	99139	91938	79416
	13	354773	4834	374491	369497	16794	389973	365253	167108	233641	73851	73636	66873	56257
	14	386434	5177	408530	403791	18347	428333	403908	187214	265436	84068	84492	77510	66048
	15	476385	6134	505359	501493	22768	538083	515133	245689	358973	114168	116680	109306	95613

Таблица В.4 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Забайкальской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Вершины	1	132267	120474	157403	179088	38730	41110	55912	20582	19997	1086431	652460	1021141	735526
	2	109750	100822	133396	153432	33503	35782	48770	18156	17581	931277	563131	894962	649345
	3	124390	113608	149033	170159	36913	39260	53434	19742	19159	1032434	621405	977384	705675
	4	92049	85307	114322	132938	29306	31492	43013	16189	15625	807314	491515	793031	579475
	5	66980	63191	86882	103223	23180	25203	34559	13275	12738	627524	387139	642879	476038
	6	49135	47299	66900	81343	18624	20500	28224	11066	10558	495078	309726	529871	397667
	7	32321	32135	47499	59799	14084	15781	21850	8812	8345	364599	232816	415591	317783
	8	19439	20288	31948	42180	10309	11819	16481	6880	6459	257818	169137	318692	249347
	9	19439	9879	17683	25500	6644	7921	11172	4920	4563	156607	107704	221929	180020
	10	24265	9879	13703	20680	5958	7183	9567	4313	3980	127321	89595	192407	158578
	11	33751	15621	13703	13595	3917	4959	7107	3362	3075	84227	62470	146780	125044
	12	66270	37004	35675	26115	3496	2264	2344	1388	1236	112078	80078	176623	147039
	13	45627	23202	21374	14137	2680	3581	5198	2601	2357	50400	38828	104766	93554
	14	54318	28935	27276	19008	3617	4627	6649	3182	2904	73430	38828	81197	75493
	15	80851	47065	46258	35268	6740	8024	11313	4973	4614	154757	82857	81197	37140

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги

		Условные номера ребер графа																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Вершины	1	13	105	167	209	242	351	374	578	563	592	626	616	680,5	692	811	738	764
	2	13	92	154	196	229	338	361	565	550	579	613	603	667,5	679	798	725	751
	3	167	154	62	42	75	184	207	411	396	425	459	449	513,5	525	644	571	597
	4	351	338	246	184	142	109	23	242	336	271	305	295	447	546	665	592	632
	5	563	550	458	396	354	336	265	242	156	29	63	53	205	304	423	350	390
	6	593	580	488	426	417	486,5	470	447	361	205	220	239	176	99	218	145	185
	7	692	679	587	525	516	585,5	569	546	460	304	319	338	275	99	119	46	137
	8	331	318	226	164	155	264	287	406	306	335	369	359	386,5	361	480	407	433
	9	524	511	419	357	348	457	480	599	499	528	562	552	579,5	554	673	600	626
	10	787	774	682	620	611	720	743	853	753	744	759	778	715	619	719	646	600
	11	603	590	498	436	427	536	559	570,5	470,5	363	378	397	334	245	352	279	233
	12	658	645	553	491	482	591	614	630	530	427	442	461	398	275	348	275	229
	13	641	628	536	474	465	574	597	628	528	440	455	474	411	307,5	400	327	281
	14	632	619	527	465	456	565	588	631	531	455	470	489	426	325	420	347	301
	15	641	628	536	474	465	574	597	671,5	571,5	527	542	561	498	397	492	419	373
	16	660	647	555	493	484	593	616	647	547	459	474	493	430	326,5	419	346	300
	17	653	640	548	486	477	586	609	640	540	452	467	486	423	319,5	412	339	293
	18	783	770	678	616	607	716	739	770	670	582	597	616	553	449,5	542	469	423
	19	793	780	688	626	617	726	749	780	680	592	607	626	563	459,5	552	479	433
	20	1051	1038	946	884	875	984	1007	1038	938	850	865	884	821	717,5	810	737	691
	21	1086	1073	981	919	910	1019	1042	1116,5	1016,5	972	987	1006	943	842	937	864	818
	22	1304	1291	1199	1137	1128	1237	1260	1334,5	1234,5	1190	1205	1224	1161	1060	1155	1082	1036
	23	1359	1346	1254	1192	1183	1292	1315	1389,5	1289,5	1245	1260	1279	1216	1115	1210	1137	1091
	24	1690	1677	1585	1523	1514	1623	1646	1720,5	1620,5	1576	1591	1610	1547	1446	1541	1468	1422
	25	1778	1765	1673	1611	1602	1711	1734	1808,5	1708,5	1664	1679	1698	1635	1534	1629	1556	1510
	26	1858	1845	1753	1691	1682	1791	1814	1888,5	1788,5	1744	1759	1778	1715	1614	1709	1636	1590
	27	1974	1961	1869	1807	1798	1907	1930	2004,5	1904,5	1860	1875	1894	1831	1730	1825	1752	1706

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Вершины	1	699	593	444	331	401	524	671,5	504	560	532	677	587,5	578	663	603	635	787
	2	686	580	431	318	388	511	658,5	491	547	519	664	574,5	565	650	590	622	774
	3	532	426	277	164	234	357	504,5	337	393	365	510	420,5	411	496	436	468	620
	4	581	486,5	344	264	334	457	604,5	437	493	465	545	520,5	511	570,5	536	568	720
	5	339	386,5	306	391	376	499	646,5	479	526	470,5	303	517	480	363	434	592	744
	6	134	262	386,5	384	332	455	569	401,5	368	346	98	312	275	158	229	387	539
	7	173	361	485,5	483	431	554	656	488,5	443	433	185	387	350	233	304	455	600
	8	368	262	150	122	70	193	340,5	173	229	201	346	256,5	247	332	272	304	456
	9	561	455	343	315	263	193	315	340,5	371	394	539	408	424	525	465	446	598
	10	470	628,5	606	578	456	623,5	598	386	283	413,5	539	264	310	441	381	227	152
	11	96	346	422	394	272	465	495	257,5	210	202	158	154	117	60	71	229	381
	12	126	405,5	477	449	327	520	531	293,5	227	257	222	171	153	170,5	177	232,5	371
	13	158,5	403,5	460	432	310	503	505,5	268	193	240	235	137	127,5	177	168,5	198,5	337
	14	176	406,5	451	423	301	482	470	244,5	155	231	250	99	104	188,5	168	160,5	299
	15	248	447	460	432	310	487	471	249,5	156	240	322	100	109	232	180	125	227
	16	177,5	422,5	479	451	329	522	524,5	287	212	259	254	156	146,5	196	187,5	217,5	356
	17	170,5	415,5	472	444	322	515	517,5	280	205	252	247	149	139,5	189	180,5	210,5	349
	18	300,5	545,5	602	574	452	645	647,5	410	335	382	377	279	269,5	319	310,5	340,5	479
	19	310,5	555,5	612	584	462	655	657,5	420	345	392	387	289	279,5	329	320,5	350,5	489
	20	568,5	813,5	870	842	720	908	903	670,5	588	650	645	532	530	587	578,5	557	659
	21	693	892	905	877	755	932	916	694,5	601	685	767	545	554	677	625	570	672
	22	911	1110	1123	1095	973	1150	1134	912,5	819	903	985	763	772	895	843	788	890
	23	966	1165	1178	1150	1028	1205	1189	967,5	874	958	1040	818	827	950	898	843	945
	24	1297	1496	1509	1481	1359	1536	1520	1298,5	1205	1289	1371	1149	1158	1281	1229	1174	1276
	25	1385	1584	1597	1569	1447	1624	1608	1386,5	1293	1377	1459	1237	1246	1369	1317	1262	1364
	26	1465	1664	1677	1649	1527	1704	1688	1466,5	1373	1457	1539	1317	1326	1449	1397	1342	1444
	27	1581	1780	1793	1765	1643	1820	1804	1582,5	1489	1573	1655	1433	1442	1565	1513	1458	1560

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																
		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Вершины	1	895	609	677	700,5	724,5	626	636	658	732	832	767	757	780	762	706	675,5	680,5
	2	882	596	664	687,5	711,5	613	623	645	719	819	754	744	767	749	693	662,5	667,5
	3	728	442	510	533,5	557,5	459	469	491	565	665	600	590	613	595	539	508,5	513,5
	4	828	542	610	608	632	559	569	591	665	765	700	690	713	695	639	608,5	613,5
	5	852	471,5	451,5	405	429	432	415	427	501	601	536	526	549	546	505	459,5	464,5
	6	647	266,5	246,5	200	224	227	210	222	296	396	331	321	344	341	300	254,5	259,5
	7	708	329,5	309,5	263	229	278	261	251	303	403	338	328	351	350,5	312	264	269
	8	564	278	346	369,5	393,5	295	305	327	401	501	436	426	449	431	375	344,5	349,5
	9	706	471	539	562,5	586,5	488	498	520	594	694	629	619	642	624	568	537,5	542,5
	10	108	354,5	422,5	446	463	339	349	371	445	545	480	466,5	486	463	402	380	385
	11	489	145	125	148,5	172,5	142	135	157	231	331	266	256	279	269,5	222	183	188
	12	479	126	157	124	92	49	32	22	74	174	109	99	122	121,5	83	35	40
	13	445	109	157	137	144	40,5	38,5	54,5	126	226	161	138,5	149	126	65	52	57
	14	407	100	165	152	164	40	50	72	146	246	181	167,5	187	164	103	81	86
	15	335	140,5	208,5	224	236	112	122	144	218	318	253	239,5	259	236	175	153	158
	16	464	128	176	156	163	59,5	57,5	73,5	145	245	180	157,5	168	145	84	71	76
	17	457	121	169	149	156	52,5	50,5	66,5	138	238	173	150,5	161	138	77	64	69
	18	587	251	299	279	286	182,5	180,5	196,5	268	368	303	280,5	291	268	207	194	199
	19	597	261	309	289	296	192,5	190,5	206,5	278	378	313	290,5	301	278	217	204	209
	20	767	519	567	547	554	450,5	448,5	464,5	536	636	571	548,5	559	536	475	462	467
	21	780	585,5	653,5	669	681	557	567	589	663	763	698	684,5	704	681	620	598	603
	22	998	803,5	871,5	887	899	775	785	807	881	981	916	902,5	922	899	838	816	821
	23	1053	858,5	926,5	942	954	830	840	862	936	1036	971	957,5	977	954	893	871	876
	24	1384	1189,5	1257,5	1273	1285	1161	1171	1193	1267	1367	1302	1288,5	1308	1285	1224	1202	1207
	25	1472	1277,5	1345,5	1361	1373	1249	1259	1281	1355	1455	1390	1376,5	1396	1373	1312	1290	1295
	26	1552	1357,5	1425,5	1441	1453	1329	1339	1361	1435	1535	1470	1456,5	1476	1453	1392	1370	1375
	27	1668	1473,5	1541,5	1557	1569	1445	1455	1477	1551	1651	1586	1572,5	1592	1569	1508	1486	1491

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																
		52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
Вершины	1	658	648,5	642	649,5	641	632	655,5	636	634	673,5	648	646	641	643	671	644,5	651
	2	645	635,5	629	636,5	628	619	642,5	623	621	660,5	635	633	628	630	658	631,5	638
	3	491	481,5	475	482,5	474	465	488,5	469	467	506,5	481	479	474	476	504	477,5	484
	4	591	581,5	575	582,5	574	565	588,5	569	567	606,5	581	579	574	576	604	577,5	584
	5	457	424	427,5	440	452	455	466,5	498,5	533,5	597	536	539,5	532,5	531	522	527	450
	6	252	219	222,5	235	247	250	261,5	293,5	328,5	392	331	334,5	327,5	326	317	322	245
	7	281	270	273,5	283,5	295,5	301	310	356,5	391,5	448	382	385,5	378,5	377	368	373	291
	8	327	317,5	311	318,5	310	301	324,5	305	303	342,5	317	315	310	312	340	313,5	320
	9	520	510,5	504	511,5	503	482	505,5	470	464	494	478	476	471	473	505	474,5	513
	10	354	360,5	354	353	345,5	322	337	312,5	275	218	227	230	232	235,5	299	232	347
	11	174	147,5	141	157	165,5	165	180	172	173	240	187	185	180	182	207	183,5	167
	12	52	41	44,5	54,5	66,5	72	81	134	169	219	153	156,5	149,5	148	139	144	62
	13	17	35	32	16	32	46,5	38	100	135	185	119	122,5	115,5	114	105	110	10
	14	55	61,5	55	54	46,5	23	38	62	97	147	81	84,5	77,5	76	67	72	48
	15	127	133,5	127	126	118,5	95	110	98,5	63	75	9	14	7	10,5	72	5	120
	16	36	54	51	35	51	65,5	57	119	154	204	138	141,5	134,5	133	124	129	19
	17	29	47	44	28	44	58,5	50	112	147	197	131	134,5	127,5	126	117	122	12
	18	159	177	174	158	174	188,5	180	242	277	327	261	264,5	257,5	256	247	252	142
	19	169	187	184	168	184	198,5	190	252	287	337	271	274,5	267,5	266	257	262	152
	20	427	445	442	426	442	456,5	448	502,5	495	507	441	446	439	442,5	476	437	410
	21	572	578,5	572	571	563,5	540	555	543,5	508	520	454	459	452	455,5	517	450	565
	22	790	796,5	790	789	781,5	758	773	761,5	726	738	672	677	670	673,5	735	668	783
	23	845	851,5	845	844	836,5	813	828	816,5	781	793	727	732	725	728,5	790	723	838
	24	1176	1182,5	1176	1175	1167,5	1144	1159	1147,5	1112	1124	1058	1063	1056	1059,5	1121	1054	1169
	25	1264	1270,5	1264	1263	1255,5	1232	1247	1235,5	1200	1212	1146	1151	1144	1147,5	1209	1142	1257
	26	1344	1350,5	1344	1343	1335,5	1312	1327	1315,5	1280	1292	1226	1231	1224	1227,5	1289	1222	1337
	27	1460	1466,5	1460	1459	1451,5	1428	1443	1431,5	1396	1408	1342	1347	1340	1343,5	1405	1338	1453

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																
		69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Вершины	1	667	660	665	665	653	673	670	693,5	685	708	776	783	803,5	812	802	809	807,5
	2	654	647	652	652	640	660	657	680,5	672	695	763	770	790,5	799	789	796	794,5
	3	500	493	498	498	486	506	503	526,5	518	541	609	616	636,5	645	635	642	640,5
	4	600	593	598	598	586	606	603	626,5	618	641	709	716	736,5	745	735	742	740,5
	5	466	459	464	464	452	472	469	492,5	484	507	575	582	602,5	611	601	608	606,5
	6	261	254	259	259	247	267	264	287,5	279	302	370	377	397,5	406	396	403	401,5
	7	307	300	305	305	293	313	310	333,5	325	348	416	423	443,5	452	442	449	447,5
	8	336	329	334	334	322	342	339	362,5	354	377	445	452	472,5	481	471	478	476,5
	9	529	522	527	527	515	535	532	555,5	547	570	638	645	665,5	674	664	671	669,5
	10	363	356	361	361	349	369	366	389,5	381	404	472	479	499,5	508	498	505	503,5
	11	183	176	181	181	169	189	186	209,5	201	224	292	299	319,5	328	318	325	323,5
	12	78	71	76	76	64	84	81	104,5	96	119	187	194	214,5	223	213	220	218,5
	13	26	19	24	24	12	32	29	52,5	44	67	135	142	162,5	171	161	168	166,5
	14	64	57	62	62	50	70	67	90,5	82	105	173	180	200,5	209	199	206	204,5
	15	136	129	134	134	122	142	139	162,5	154	177	245	252	272,5	281	271	278	276,5
	16	25	9	5	14	11	16	22	36,5	31	54	122	129	149,5	158	148	155	159,5
	17	18	11	16	16	2	22	17	42,5	32	55	123	130	150,5	159	149	156	154,5
	18	148	135	129	135	132	124	130	129,5	113	98	95,5	75	48	29	19	26	39
	19	158	151	156	156	142	159,5	154,5	165	152	137	134,5	114	87	68	58	65	39
	20	416	409	414	414	400	420	415	436,5	426	422	419,5	399	372	353	343	350	324
	21	581	574	579	579	567	587	584	607,5	599	622	671	650,5	652	633	623	630	604
	22	799	792	797	797	785	805	802	825,5	817	840	869	848,5	830	811	801	808	782
	23	854	847	852	852	840	860	857	880,5	872	895	924	903,5	885	866	856	863	837
	24	1185	1178	1183	1183	1171	1191	1188	1211,5	1203	1226	1255	1234,5	1216	1197	1187	1194	1168
	25	1273	1266	1271	1271	1259	1279	1276	1299,5	1291	1314	1343	1322,5	1304	1285	1275	1282	1256
	26	1353	1346	1351	1351	1339	1359	1356	1379,5	1371	1394	1423	1402,5	1384	1365	1355	1362	1336
	27	1469	1462	1467	1467	1455	1475	1472	1495,5	1487	1510	1539	1518,5	1500	1481	1471	1478	1452

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа																
		86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
Вершины	1	819	737	793	819	832,5	968	979	712,5	940	1051	1062,5	1086	1321	1239	1341,5	1408	1304
	2	806	724	780	806	819,5	955	966	699,5	927	1038	1049,5	1073	1308	1226	1328,5	1395	1291
	3	652	570	626	652	665,5	801	812	545,5	773	884	895,5	919	1154	1072	1174,5	1241	1137
	4	752	670	726	752	765,5	901	912	645,5	873	984	995,5	1019	1254	1172	1274,5	1341	1237
	5	618	536	592	618	631,5	767	821,5	598,5	826	850	905	972	1120	1125	1184	1207	1190
	6	413	331	387	413	426,5	562	616,5	393,5	621	645	700	767	915	920	979	1002	985
	7	459	377	433	459	472,5	608	665	444,5	672	691	748,5	818	961	971	1027,5	1048	1036
	8	488	406	462	488	501,5	637	648	381,5	609	720	731,5	755	990	908	1010,5	1077	973
	9	681	599	655	681	694,5	825	820	542,5	770	903	903,5	916	1173	1069	1182,5	1260	1134
	10	515	433	489	515	528,5	620	576	298,5	526	659	659,5	672	929	825	938,5	1016	890
	11	335	253	309	335	348,5	484	506,5	251,5	479	567	590	625	837	778	869	924	843
	12	230	148	204	230	243,5	379	436	215,5	443	462	519,5	589	732	742	798,5	819	807
	13	178	96	152	178	191,5	327	393	181,5	409	410	476,5	555	680	708	755,5	767	773
	14	216	134	190	216	229,5	365	393	143,5	371	448	476,5	517	718	670	755,5	805	735
	15	288	206	262	288	301,5	393	349	71,5	299	432	432,5	445	702	598	711,5	789	663
	16	177	95	151	177	190,5	326	402	200,5	428	409	485,5	574	679	727	764,5	766	792
	17	166	84	140	166	179,5	315	393	193,5	421	398	476,5	567	668	720	755,5	755	785
	18	65	154,5	95	134,5	92	241	421	323,5	504,5	324	458	604	594	737	717	681	782
	19	26	140	56	95,5	53	202	406,5	333,5	490	285	419	565	555	698	678	642	743
	20	311	398	327,5	314	285	232	302	373,5	302,5	83	134	280	270	413	393	357	458
	21	591	622,5	607,5	594	565	512	448,5	386,5	315	363	280	146	413	153	276	363	218
	22	769	820,5	785,5	772	743	690	646,5	604,5	533	541	478	364	458	218	188	275	65
	23	824	875,5	840,5	827	798	745	701,5	659,5	588	596	533	419	513	273	243	330	120
	24	1155	1206,5	1171,5	1158	1129	1076	1032,5	990,5	919	927	864	750	844	604	574	661	451
	25	1243	1294,5	1259,5	1246	1217	1164	1120,5	1078,5	1007	1015	952	838	932	692	662	749	539
	26	1323	1374,5	1339,5	1326	1297	1244	1200,5	1158,5	1087	1095	1032	918	1012	772	742	829	619
	27	1439	1490,5	1455,5	1442	1413	1360	1316,5	1274,5	1203	1211	1148	1034	1128	888	858	945	735

Таблица В.5 – Результаты расчета расстояний вершина-дуга для графа Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
Вершины	1	1430	1359	1690	1712	1829	1778	1790	1858	1889	1963	1973,5	2149	407
	2	1417	1346	1677	1699	1816	1765	1777	1845	1876	1950	1960,5	2136	394
	3	1263	1192	1523	1545	1662	1611	1623	1691	1722	1796	1806,5	1982	240
	4	1363	1292	1623	1645	1762	1711	1723	1791	1822	1896	1906,5	2082	274
	5	1316	1245	1576	1598	1715	1664	1676	1744	1775	1849	1860	2035	321
	6	1111	1040	1371	1393	1510	1459	1471	1539	1570	1644	1655	1830	471,5
	7	1162	1091	1422	1444	1561	1510	1522	1590	1621	1695	1706	1881	570,5
	8	1099	1028	1359	1381	1498	1447	1459	1527	1558	1632	1643	1818	235
	9	1260	1189	1520	1542	1659	1608	1620	1688	1719	1793	1804	1979	428
	10	1016	945	1276	1298	1415	1364	1376	1444	1475	1549	1560	1735	691
	11	969	898	1229	1251	1368	1317	1329	1397	1428	1502	1513	1688	507
	12	933	862	1193	1215	1332	1281	1293	1361	1392	1466	1477	1652	562
	13	899	828	1159	1181	1298	1247	1259	1327	1358	1432	1443	1618	545
	14	861	790	1121	1143	1260	1209	1221	1289	1320	1394	1405	1580	536
	15	789	718	1049	1071	1188	1137	1149	1217	1248	1322	1333	1508	545
	16	918	847	1178	1200	1317	1266	1278	1346	1377	1451	1462	1637	564
	17	911	840	1171	1193	1310	1259	1271	1339	1370	1444	1455	1630	557
	18	908	837	1168	1190	1307	1256	1268	1336	1367	1441	1452	1627	687
	19	869	798	1129	1151	1268	1217	1229	1297	1328	1402	1413	1588	697
	20	584	513	844	866	983	932	944	1012	1043	1117	1128	1303	955
	21	344	273	604	626	743	692	704	772	803	877	888	1063	990
	22	126	55	386	408	525	474	486	554	585	659	670	845	1208
	23	181	55	331	353	470	419	431	499	530	604	615	790	1263
	24	512	386	331	22	139	88	100	168	199	273	284	459	1594
	25	600	474	419	88	183	66	12	80	111	185	196	371	1682
	26	680	554	499	168	263	146	92	80	31	105	116	291	1762
	27	796	670	615	284	379	262	208	196	147	116	11	197	1878

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги

		Условные номера ребер графа												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вершины	1	780583	1482347	12886	14616	74515	13604	6114	150200	12892	143971	5082	1088	75517
	2	780583	1415748	12371	14069	71808	13175	5930	146487	12569	140459	4962	1063	73818
	3	1361841	1747110	9012	8348	43545	8617	3958	106042	9056	102154	3649	782	55157
	4	2266658	2935184	16225	13574	54979	6745	2113	69155	7842	69930	2536	543	47937
	5	3593078	4683672	26994	23572	99911	13110	4655	69155	4721	31580	1189	249	25927
	6	3805331	4963928	28730	25200	115827	18479	7562	114913	8337	57982	2007	466	23738
	7	4548957	5946522	34833	30944	143212	22510	9213	141145	10446	76323	2629	605	31605
	8	2157216	2791214	15345	12766	57351	10865	4934	104838	7267	82583	2974	637	41807
	9	3326249	4331507	24815	21535	98456	17354	7721	156295	11342	127100	4505	965	62823
	10	5324865	6972753	41230	36995	172219	28623	12507	239611	18076	188249	6391	1431	80120
	11	3877435	5059155	29320	25754	118462	20445	9039	148052	10684	88449	3039	697	36826
	12	4286096	5599072	32673	28906	133480	22746	10017	165514	12081	102612	3516	802	42940
	13	4157598	5429267	31617	27913	128742	22021	9710	164911	12032	105618	3618	825	44239
	14	4090361	5340429	31066	27394	126269	21643	9549	165816	12105	109139	3736	851	45762
	15	4157598	5429267	31617	27913	128742	22021	9710	178269	13106	126845	4332	982	53429
	16	4301342	5619221	32798	29024	134043	22832	10054	170681	12496	110088	3768	858	46172
	17	4248100	5548858	32360	28612	132078	22531	9926	168544	12324	108430	3712	846	45455
	18	5290964	6927897	40950	36730	170943	28430	12426	210436	15704	141265	4816	1088	59685
	19	5375919	7040308	41652	37395	174140	28913	12630	213851	15981	143971	4907	1108	60859
	20	7801592	10253159	61779	56587	266852	42750	18457	311449	23960	222633	7541	1680	95115
	21	8165337	10735382	64810	59490	280947	44834	19332	344774	26707	265774	8981	1990	113961
	22	10617474	13988345	85301	79190	376902	58935	25235	446195	35115	352365	11867	2609	151873
	23	11286911	14876942	90911	84600	403332	62796	26848	473846	37417	376136	12658	2778	162296
	24	15747792	20802422	128409	120897	581307	88619	37607	657802	52816	535579	17957	3906	232321
	25	17058462	22544506	139457	131626	634081	96230	40770	711773	57355	582696	19521	4238	253044
	26	18295433	24188992	149895	141773	684046	103422	43757	762684	61643	627252	20999	4551	272652
	27	20165931	26676307	165694	157152	759860	114309	48275	839628	68136	694775	23238	5025	302382

Таблица В6 (продолжение)

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Вершины	1	80305	5346	828	38925	10820	62036	14877	16512	25811	105872	48368	23043	59535
	2	78514	5238	813	38108	10581	60525	14455	15932	25055	103114	47271	22430	58039
	3	58838	4045	646	29090	7946	44041	9918	9839	16938	73205	35228	15802	41757
	4	61355	4199	668	31033	8744	50205	11788	13632	22033	92045	42847	19975	52026
	5	35549	2600	435	18880	5174	40234	10708	19323	24367	100600	46269	21872	55661
	6	19157	1540	270	10931	2874	29358	13057	18984	21925	91647	40057	18438	39366
	7	19157	1125	201	9380	3260	37867	16264	24058	27598	112377	47061	22313	46751
	8	40998	2943	486	20820	5553	29358	6813	8427	9992	46968	24343	10013	27355
	9	62327	4258	676	30695	8414	46945	11759	15800	18349	46968	22830	15940	39649
	10	70512	4607	725	29254	6992	66257	20639	29486	29131	128190	42329	17786	31763
	11	30317	2202	374	12599	2520	36508	14167	19470	18797	93645	34542	12832	25882
	12	32925	2181	371	12456	2798	42044	15975	22248	21655	105020	37174	14139	27198
	13	35872	2468	415	14385	3114	41851	15404	21370	20751	101434	35300	13207	24599
	14	37511	2583	432	15165	3291	42140	15107	20912	20280	97091	32772	12376	21848
	15	44639	3018	497	18139	4071	46135	15404	21370	20751	98117	32842	12550	21918
	16	37653	2577	431	15125	3306	43697	16043	22353	21763	105445	36692	13898	26035
	17	36992	2536	425	14850	3235	43012	15806	21988	21387	103959	36176	13642	25501
	18	50226	3339	544	20361	4691	56605	20485	29247	28883	133293	46352	18800	36318
	19	51328	3405	554	20820	4814	57728	20870	29848	29505	135700	47187	19231	37229
	20	83876	5337	827	34450	8537	90500	32036	47449	47810	203765	70016	31613	62824
	21	102424	6445	979	42411	10709	101925	33733	50148	50627	210937	71350	32959	64380
	22	139359	8589	1267	58001	15103	137213	45292	68633	69970	281766	95593	46475	93320
	23	149574	9178	1345	62319	16330	146943	48476	73752	75339	301252	102267	50250	101466
	24	218672	13133	1859	91573	24725	212531	69918	108441	111812	432277	147192	76081	157688
	25	239244	14303	2008	100294	27249	231998	76277	118783	122710	471081	160507	83845	174711
	26	258747	15410	2149	108567	29649	250436	82298	128592	133054	507804	173112	91231	190944
	27	288384	17088	2362	121144	33308	278422	91433	143506	148794	563499	192236	102494	215761

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Вершины	1	33381	160953	287670	278605	7014	128735	319	371066	447065	33796	2637	173859	3657995
	2	32481	157318	280623	271551	6855	125627	315	363416	438575	33004	2579	170010	3578605
	3	22693	117418	203784	194912	5103	91700	260	278851	344193	24313	1934	127695	2704405
	4	28866	125975	252284	243224	5919	113125	295	332491	404180	29809	2342	147411	3112053
	5	29225	72956	250499	227672	3796	91294	304	346066	419294	25878	1712	97010	2068495
	6	21597	39288	157010	137850	2154	54485	232	238857	299133	15986	1038	56765	1230166
	7	26817	52317	188693	168087	2702	66857	256	268688	332774	18782	1228	67993	1248036
	8	14034	81327	135436	127338	3518	61424	203	201084	256236	16480	1345	89274	1907816
	9	24414	124487	198085	200888	5413	97682	252	267682	331642	25851	2048	135201	2859687
	10	25603	124487	138259	151583	4539	80873	177	90457	79722	19951	1607	106343	2228472
	11	14081	48075	99779	84062	1529	32554	178	169744	220326	11205	714	48337	1053598
	12	16786	58421	105318	95135	2241	46648	179	165765	215743	10530	794	44565	804984
	13	15928	60645	94391	87220	2287	45425	168	152592	200519	9943	794	46547	961761
	14	15482	63263	82885	80235	2369	45354	155	138512	184163	9639	814	48888	1025770
	15	15928	76599	83179	81696	2694	47084	143	113703	155079	11044	931	60923	1273271
	16	16888	63971	100423	93084	2424	48182	174	159886	208958	10600	843	49522	1022521
	17	16532	62735	98179	90901	2373	47157	172	157179	205829	10356	825	48415	999919
	18	23695	87643	143990	135752	3405	67989	216	211226	267791	15331	1196	71006	1460865
	19	24293	89731	147876	139579	3492	69749	219	215713	272894	15752	1227	72922	1499930
	20	42070	152081	258192	253012	6107	122910	291	299210	367016	28497	2162	131163	2685957
	21	44829	187252	264954	265653	7188	134081	296	306155	374786	32370	2532	164607	3395762
	22	63877	259195	391363	394683	10168	192926	375	434495	517206	46759	3590	233810	4807957
	23	69191	279189	427136	431278	11001	209458	395	470413	556752	50799	3885	253182	5202933
	24	105492	415189	675449	685914	16701	323294	521	716680	825500	78595	5903	386038	7909178
	25	116390	455871	750996	763538	18415	357698	555	790841	905825	86991	6510	426055	8723670
	26	126753	494504	823150	837724	20046	390483	587	861428	982082	94989	7086	464147	9498746
	27	142547	553311	933649	951414	22532	440574	633	969137	1098128	107208	7966	522275	10681190

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Вершины	1	3057	12259	6451	9299	576	2143	8887	9221	389168	86960	46561	53100	47023
	2	2986	11972	6305	9100	565	2099	8700	9031	380980	85044	45514	51915	45957
	3	2206	8835	4696	6906	440	1612	6644	6934	290611	63975	34006	38888	34248
	4	2700	10818	5714	8296	520	1921	7948	8264	347902	77316	41289	47135	41658
	5	2082	7847	4096	6082	393	1428	5870	6143	264418	59726	30693	35134	31891
	6	1249	4625	2445	3791	257	911	3710	3928	168240	37199	18663	21471	19436
	7	1437	5348	2653	3861	261	927	3776	3996	172219	38372	19155	22031	21015
	8	1502	6014	3239	4898	323	1162	4756	5002	207800	44826	23581	27063	23644
	9	2344	9390	4981	7296	463	1699	7010	7308	306695	67714	36046	41199	36323
	10	1678	6718	3604	5403	353	1276	5193	5411	222870	47745	25678	29444	25257
	11	963	3656	2008	3176	220	770	3127	3328	139785	30019	15160	17481	15487
	12	691	2508	1233	1910	140	476	1919	2078	89248	19127	9051	10498	10183
	13	668	2575	1403	2295	165	566	2196	2273	90619	17894	9675	11213	8859
	14	667	2694	1499	2452	175	603	2411	2561	102606	20544	10785	12485	10301
	15	871	3500	1925	3059	213	743	2986	3153	127358	26064	13798	15927	13318
	16	719	2773	1507	2444	174	601	2336	2415	96519	19196	10396	12039	9567
	17	700	2699	1468	2388	171	588	2284	2362	94324	18711	10127	11731	9303
	18	1095	4231	2268	3520	241	849	3341	3435	139216	28727	15676	18069	14777
	19	1129	4363	2337	3615	247	871	3430	3525	143030	29585	16152	18611	15249
	20	2167	8453	4443	6526	418	1527	6137	6263	259224	56099	30858	35321	29880
	21	2689	10777	5693	8267	518	1915	7873	8140	339571	74684	40491	46233	40195
	22	3931	15784	8249	11732	712	2680	11103	11419	480742	107615	58641	66752	58534
	23	4280	17197	8968	12701	766	2892	12005	12333	520224	116871	63747	72518	63698
	24	6693	26975	13921	19340	1129	4341	18171	18574	790729	180626	98960	112236	99348
	25	7424	29942	15419	21338	1238	4775	20024	20446	872139	199900	109616	124243	110146
	26	8121	32774	16848	23239	1340	5187	21786	22226	949607	218270	119775	135686	120442
	27	9187	37107	19030	26140	1496	5815	24472	24939	1067791	246340	135304	153170	136186

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Вершины	1	19058	70016	19092	42414	13163	322564	375953	38977	567589	562856	1543064	116354	3220
	2	18618	68388	18652	41440	12854	315140	367145	38064	554726	549810	1507224	113642	3146
	3	13801	50561	13830	30751	9469	233768	270745	28069	413567	406898	1114692	83942	2336
	4	16847	61832	16879	37513	11609	285227	331675	34387	502874	497255	1362855	102717	2849
	5	12186	45604	12625	29352	9267	223133	288077	32200	494015	455475	1261853	94696	2612
	6	7239	27130	7580	17853	5598	135925	178743	20374	322019	288328	800116	59852	1660
	7	8351	31282	8659	20323	6426	154618	209581	23723	365365	326358	905202	67777	1878
	8	9458	34523	9482	21092	6426	160440	184190	19091	285980	278300	761649	57245	1603
	9	14653	53714	14683	32644	9818	242156	271324	27890	403017	404327	1107633	83408	2322
	10	10518	38434	10329	23032	6784	165545	187785	17730	204782	218070	605039	46333	1307
	11	5812	21104	5993	14053	4343	107222	126193	13195	218147	193653	529417	39698	1117
	12	3973	14940	4187	10027	3147	76922	111628	13030	205381	174037	484132	36044	1003
	13	3879	14219	3590	8776	2852	65321	99353	11675	185526	155467	432756	32178	895
	14	4300	15560	4179	9292	2592	65321	86479	10247	164528	135951	378745	28116	782
	15	5551	20145	5413	12061	3426	85279	98828	9048	128197	102554	288070	21303	603
	16	4179	15322	3879	9455	3071	70331	106125	12423	196497	165716	461111	34311	955
	17	4067	14911	3772	9202	2989	68464	103604	12145	192418	161902	450560	33517	933
	18	6382	23454	6012	14429	4674	107222	155355	17825	275134	239962	666434	49774	1383
	19	6581	24190	6206	14877	4819	110561	159769	18307	282108	246600	684784	51157	1421
	20	12764	47090	12240	28727	9297	214382	290469	29774	413992	373289	1038267	77818	2176
	21	16752	61478	16513	36772	11054	267419	315551	30582	425115	384053	1068050	80065	2237
	22	24420	89890	24132	53652	16348	393583	466352	45747	633586	587343	1630230	122520	3396
	23	26581	97907	26281	58407	17846	429250	509035	50053	692728	645424	1790771	134652	3726
	24	41514	153368	41139	91242	28234	676552	805360	80043	1104361	1052769	2916126	219741	6026
	25	46041	170196	45646	101190	31394	751723	895527	89194	1229873	1177747	3261253	245850	6729
	26	50359	186253	49946	110677	34411	823494	981647	97942	1349835	1297443	3591750	270857	7402
	27	56963	210820	56524	125184	39030	933373	1113542	111353	1533693	1481289	4099298	309266	8433

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
Вершины	1	206500	902639	169208	55188	189954	238406	2939497	4395	45375	473	35916	39449	39090
	2	201816	881653	165298	53931	185620	232986	2872368	4295	44355	463	35134	38573	38247
	3	150421	651824	122453	40141	138071	173504	2136133	3187	33151	346	26515	28938	28950
	4	182938	797121	149544	48864	168151	211136	2601821	3888	40243	420	31977	35039	34842
	5	156040	721921	113858	37369	128515	161547	1988250	2965	30895	322	24772	26996	27068
	6	98131	454891	68654	22759	78115	98450	1208989	1791	18960	196	15487	16696	17036
	7	111291	515589	77809	25724	88346	111265	1367070	2030	21389	222	17387	18796	19091
	8	103964	445144	83874	27687	95117	119743	1471720	2187	22994	239	18640	20183	20445
	9	150730	647690	130031	42582	146491	184039	2266460	3383	35137	367	28047	30648	30603
	10	93683	357042	89726	29579	101644	127914	1572620	2339	24541	255	19844	21518	21746
	11	72557	309216	54437	18144	62191	78499	963124	1420	15170	155	12506	13414	13809
	12	58668	272802	37896	12754	43586	55172	676228	987	10723	107	8974	9551	9981
	13	52274	243284	30808	10435	35574	45119	552873	800	8798	86	7429	7874	8303
	14	45562	212290	35916	12107	41350	52367	641797	935	10187	101	8545	9084	9515
	15	46419	162778	46665	15615	53461	67556	828451	1217	13087	133	10857	11606	12023
	16	55802	259571	31982	10392	34125	41694	530573	797	8243	83	6981	7478	7907
	17	54489	253509	31067	10098	34413	43661	534996	766	8449	81	7148	7509	7937
	18	81412	377764	50229	16243	54539	66440	831211	1259	12329	128	9765	10133	9286
	19	83705	388344	51892	16775	57466	72577	890228	1302	13845	140	10942	11532	10595
	20	141885	597132	104146	33474	115080	144733	1780409	2640	27597	286	22027	23836	22635
	21	154468	614427	144189	47141	162209	203704	2509810	3749	38843	405	30900	33835	33681
	22	230337	941202	211497	68770	236779	296957	3665025	5486	56381	588	44334	48896	48162
	23	251861	1034607	230507	74870	257805	323243	3990920	5975	61316	639	48099	53129	52217
	24	401671	1690013	362181	117047	403165	504913	6245293	9359	95371	989	73950	82291	80043
	25	447351	1891179	402170	129838	447244	559987	6929221	10384	105679	1094	81746	91108	88428
	26	491012	2083868	440341	142041	489295	612523	7581804	11363	115509	1195	89168	99512	96410
	27	557927	2379867	498760	160709	553619	692878	8580201	12860	130535	1348	100499	112353	108594

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги
(продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
Вершины	1	46306	41105	6408	6494	32387	609333	20661	404	51349	1541	70573	32259	171694
	2	45344	40262	6278	6363	31727	596983	20247	396	50258	1510	69155	31618	168600
	3	34710	30931	4838	4913	24433	460297	15657	309	38224	1167	53448	24510	134080
	4	41454	36851	5752	5833	29062	547034	18571	365	45853	1385	63417	29022	156046
	5	32553	29035	4545	4618	22951	432510	14722	291	35787	1097	50252	23062	126990
	6	21012	18865	2972	3031	14994	283299	9688	194	22773	720	33069	15265	88323
	7	23383	20959	3296	3358	16633	314045	10728	214	25442	798	36614	16876	96391
	8	24943	22335	3509	3573	17710	334242	11410	227	27199	849	38941	17932	101658
	9	36604	32595	5095	5172	25734	484681	16476	325	40366	1228	56251	25779	139200
	10	26441	23655	3714	3779	18742	353611	12064	240	28887	898	41172	18945	98554
	11	17280	15564	2460	2514	12408	234782	8045	161	18580	596	27470	12719	75448
	12	12830	11613	1847	1893	9312	176657	6068	121	13595	447	20751	9656	59716
	13	10870	9866	1575	1618	7942	150925	5190	103	11407	380	17771	8295	52604
	14	12287	11129	1772	1817	8933	169530	5825	116	12988	428	19926	9279	57757
	15	15207	13725	2175	2225	10968	207745	7127	143	16255	527	24347	11296	61707
	16	10405	9452	1511	1553	7617	144808	5077	103	11367	379	17716	8269	52471
	17	10441	9483	1515	1558	7642	145274	4997	99	10928	365	17116	7995	51026
	18	9489	7821	1052	975	4754	90961	3318	68	13882	313	15455	5976	41830
	19	10852	8984	1218	1136	5549	105927	3318	57	13246	270	13515	5170	37349
	20	23569	19853	2800	2674	13210	249837	8055	152	26709	624	26051	10816	40773
	21	38821	32915	4975	4808	23905	450391	14654	277	42143	1129	48056	20358	79954
	22	53486	45487	6677	6484	32336	608378	19852	374	58629	1523	65513	27974	111646
	23	57975	49337	7254	7052	35197	661988	21616	407	63687	1656	71453	30571	122506
	24	88808	75793	11225	10974	54978	1032406	33802	630	98511	2573	112635	48632	198492
	25	98107	83775	12426	12161	60975	1144676	37496	697	109035	2849	125153	54135	221763
	26	106961	91377	13570	13294	66696	1251767	41019	760	119065	3113	137104	59393	244036
	27	120479	102984	15318	15025	75447	1415553	46407	857	134388	3516	155402	67451	278226

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа												
		92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Вершины	1	711	802568	2420816	26460	92409	324602	88715	311201	10954	81926	297888	299046	427055
	2	698	784976	2376290	26009	90845	319193	87431	306478	10797	80795	293533	294963	420999
	3	559	591412	1880268	20957	73342	258570	72933	253285	9029	67996	244388	248729	352548
	4	648	713989	2195758	24175	84495	297209	82198	287250	10159	76181	275789	278303	396306
	5	567	654942	2044432	19915	74368	278714	69909	271020	9134	65319	260794	264197	375421
	6	404	427181	1447556	14195	53816	204987	53032	205749	7012	50316	200291	206957	290935
	7	440	479315	1586445	15394	58379	222273	56616	221149	7488	53512	214598	220545	310949
	8	427	415350	1415801	16176	56758	201022	58937	202207	7319	55578	196996	203823	286323
	9	566	587913	1871181	21551	74205	257452	74651	252299	9117	69515	243475	247868	351274
	10	375	338067	1205801	14555	50147	174652	54110	178545	6625	51278	174956	182798	255429
	11	327	297827	1094356	12271	44154	160542	47221	165798	5988	45120	163054	171399	238716
	12	282	268728	1012647	9903	38464	150136	39930	156354	5374	38573	154222	162916	226297
	13	256	242618	938388	8823	35185	140627	36546	147689	5016	35520	146105	155103	214873
	14	256	215014	858737	9606	35185	130368	39004	138296	5016	37738	137294	146597	202454
	15	230	167279	717503	9272	31982	111995	37959	121345	4662	36796	121349	131137	179937
	16	261	257045	979537	8803	35859	145903	36482	152501	5090	35462	150614	159446	221221
	17	256	251682	964274	8583	35185	143948	35786	150719	5016	34833	148945	157839	218871
	18	272	360509	1154151	7174	33820	154429	31276	155064	4706	30747	148233	157152	217868
	19	264	369688	1119955	6482	31029	143392	29021	145187	4402	28696	139126	148367	205038
	20	204	407555	724076	3456	14279	75146	15100	82867	2485	15851	81336	91836	123091
	21	289	420260	747793	7901	22060	50606	21523	41144	1855	16083	44618	54690	70200
	22	426	662338	1222862	11661	35297	92991	23779	50221	1440	12855	26913	29238	34930
	23	468	732071	1361077	12970	39523	105702	26687	58607	1693	14830	32766	34915	34930
	24	763	1225407	2349094	22313	69992	199381	47729	122715	3640	29686	80110	79688	93267
	25	852	1377827	2656852	25220	79546	229243	54343	143696	4280	34492	96193	94652	113493
	26	938	1524140	2953064	28016	88762	258197	60728	164205	4906	39174	112089	109372	133600
	27	1070	1749404	3410369	32332	103022	303237	70615	196370	5890	46491	137294	132603	165663

Таблица В.6 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ (тыс. руб.) для Октябрьской железной дороги (продолжение)

		Условные номера ребер графа										
		105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
Вершины	1	595817	261256	61370	838694	2281	1031636	3651	421921	331703	23031	2331
	2	588660	258153	60678	829013	2255	1020136	3612	417422	328183	22803	2262
	3	507168	222800	52777	718601	1963	888814	3158	365966	287906	20194	1524
	4	559394	245460	57845	789399	2150	973059	3449	398994	313760	21871	1675
	5	534529	234673	55434	755710	2061	932989	3311	383293	301600	21074	1894
	6	432684	190457	45519	617356	1694	768066	2740	318495	250855	17774	2687
	7	457016	201026	47894	650470	1782	807598	2877	334055	263043	18569	3283
	8	427055	188011	44969	609690	1673	758908	2709	314887	248029	17590	1502
	9	505640	222137	52629	716528	1957	886346	3150	364997	287274	20145	2444
	10	389133	171529	41255	557979	1535	697072	2494	290499	228922	16340	4087
	11	368440	162530	39223	529712	1460	663221	2376	277124	218442	15653	2894
	12	352973	155802	37701	508558	1403	637863	2288	267093	210580	15136	3229
	13	338669	149577	36291	488975	1351	614367	2206	257788	203288	14656	3124
	14	323032	142771	34747	467543	1293	588628	2117	247584	195290	14129	3068
	15	294419	130308	31914	428252	1188	541371	1952	228815	180575	13156	3124
	16	346626	153040	37076	499871	1380	627443	2252	262967	207347	14923	3242
	17	343683	151760	36786	495843	1369	622609	2235	261053	205847	14825	3198
	18	342426	151213	36662	494122	1365	620544	2228	260235	205206	14782	4059
	19	326294	144191	35070	472015	1305	594001	2135	249715	196960	14239	4129
	20	220212	97939	24507	325822	912	417645	1519	179426	141833	10577	6154
	21	146998	65898	17073	223660	633	293157	1079	129221	102410	7913	6459
	22	93267	42269	11480	147463	422	199118	744	90738	72147	5826	8527
	23	81632	37131	10243	130735	376	178256	669	82100	65346	5349	9093
	24	81632	13213	4282	51308	148	77061	298	39226	31514	2908	12887
	25	100620	17023	4928	47320	102	57187	223	30456	24568	2382	14007
	26	119601	22282	6217	62593	143	57187	163	23443	18999	1949	15064
	27	150032	31154	8351	88519	212	84004	252	24353	12770	1494	16666

Приложение Г

Результаты расчетов части 4

Таблица Г.1 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на полигоне Юго-Восточной железной дороги

№№	Места дислокации	$E(VP)$, млн. руб.
1	6	625,6
2	6+5	541,3
3	6+5+7	524,4
4	6+5+7+1	506,1
5	6+5+7+1+11	497,9
6	6+5+7+1+11+8	487,3
7	6+5+7+1+11+8+14	484,7
8	6+5+7+1+11+8+14+4	482,7
9	<u>6+5+7+1+11+8+14+4+2</u>	<u>481,0</u>
10	6+5+7+1+11+8+14+4+2+10	487,5

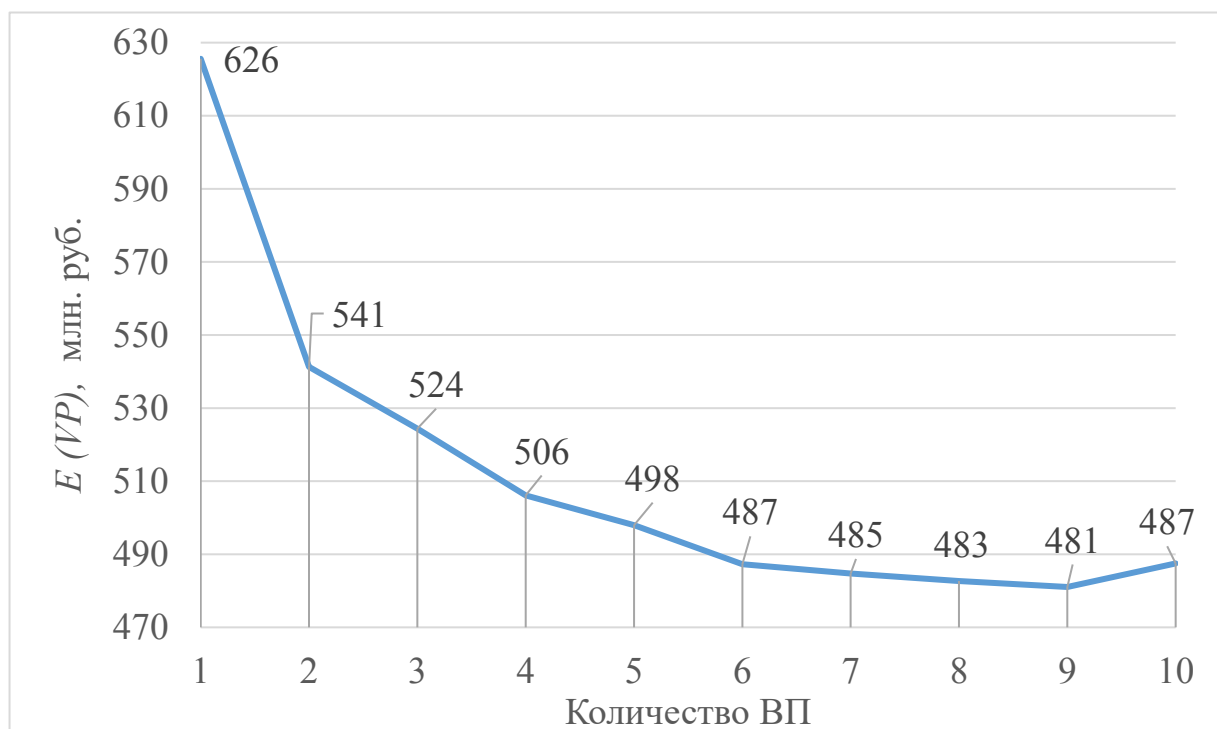


Рисунок Г.1 – График целевой функции $E(VP)$ для Юго-Восточной железной дороги

Таблица Г.2 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на полигоне Забайкальской железной дороги

№№	Места дислокации	$E(VP)$, млн. руб.
1	8	2338,7
2	2+13	1012,9
3	2+13+6	750,7
4	2+13+6+15	674,5
5	2+13+6+8+15	623,7
6	2+13+6+8+15+1	603,2
7	2+13+6+8+15+1+5	585,4
8	2+13+6+8+15+1+5+10	571,0
9	2+13+6+8+15+1+5+10+7	564,4
10	2+13+6+8+15+1+5+10+7+12	561,6
11	2+13+6+8+15+1+5+10+7+12+11	562,8

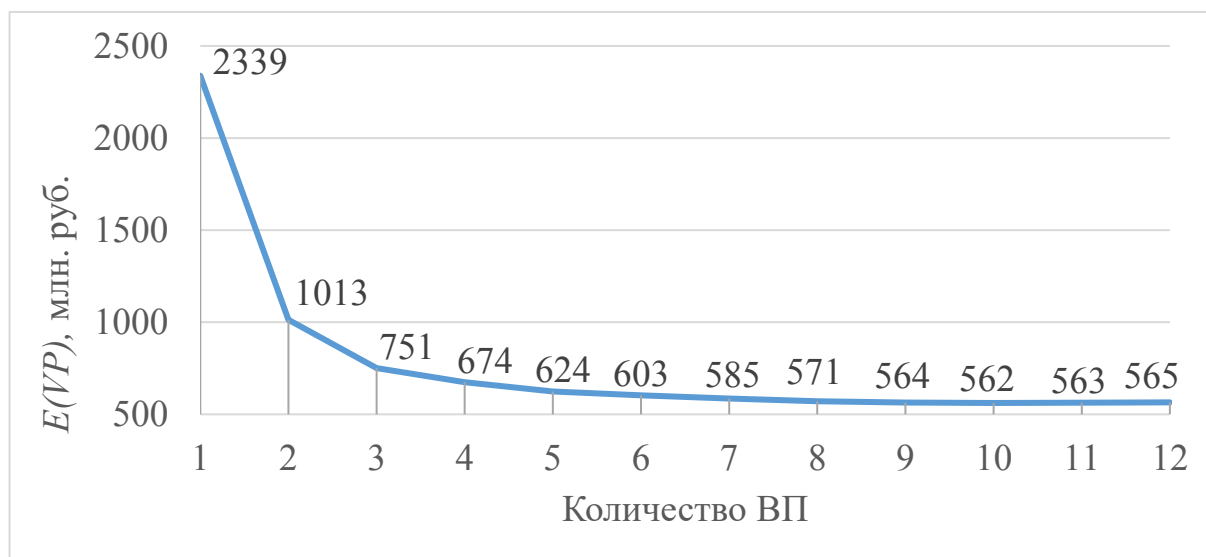


Рисунок Г.2 – График целевой функции $E(VP)$ для Забайкальской железной дороги

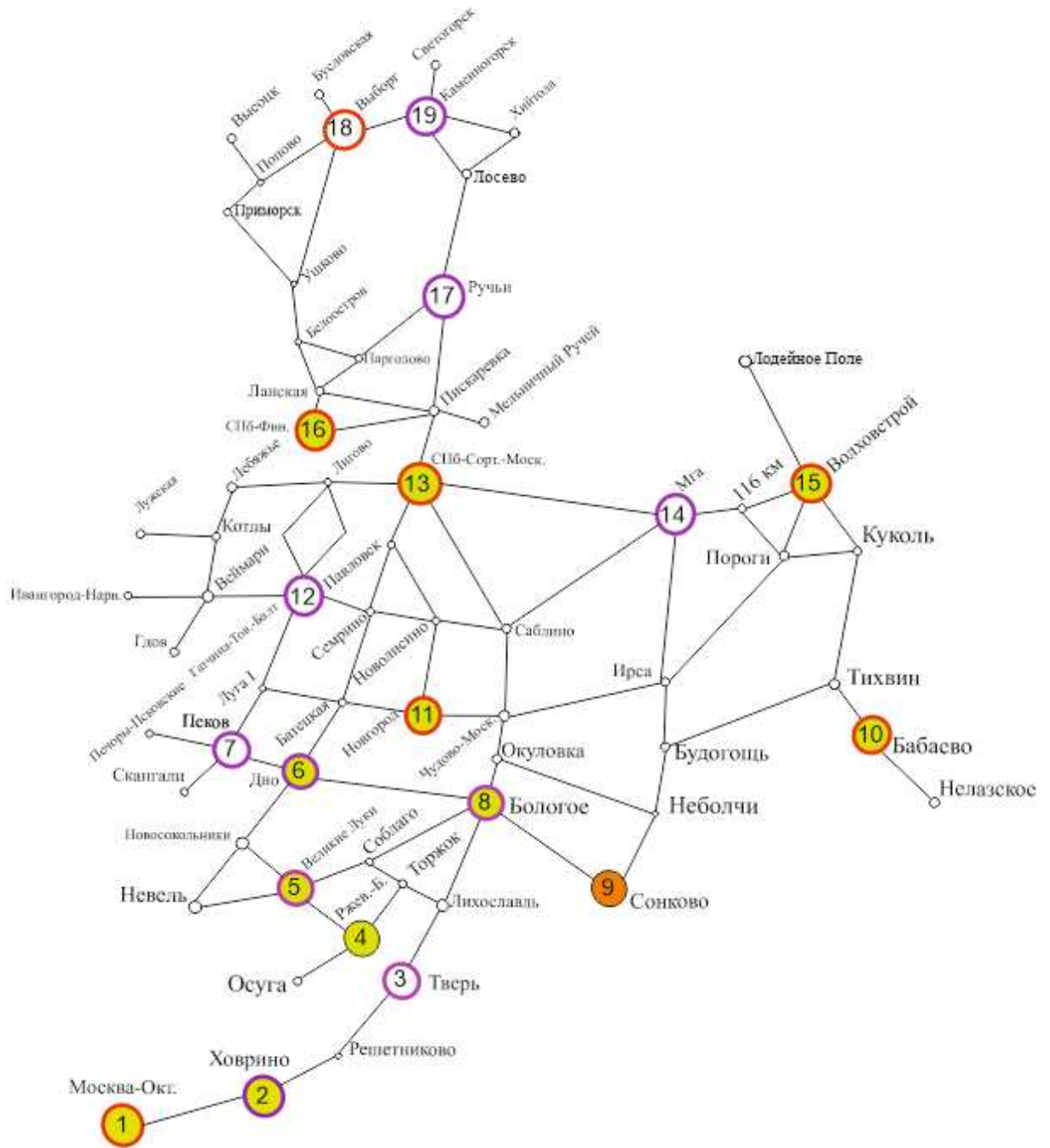


Рисунок Г.3 – Схема разветвленного подграфа Октябрьской железной дороги

Таблица Г.3 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на разветвленном графе полигона Октябрьской железной дороги

№№	Места дислокации	$E(VP)$, млн. руб.
1	8	13981,0
2	8+13	9882,2
3	8+13+2	7153,8
4	8+13+2+15	6640,5
5	8+13+2+15+12	6496,7
6	8+13+2+15+12+5	6415,9
7	8+13+2+15+12+5+10	6369,0
8	8+13+2+15+12+5+10+7	6337,0
9	8+13+2+15+12+5+10+7+18	6311,0
10	8+13+2+15+12+5+10+7+18+16	6298,0
11	8+13+2+15+12+5+10+7+18+16+14	6327,0

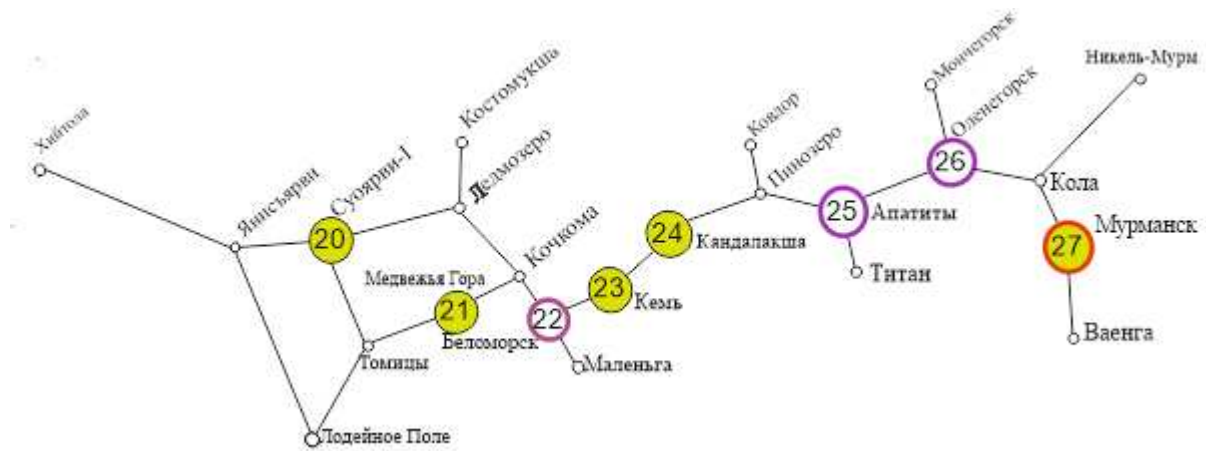


Рисунок Г.4 – Схема неразветвленного подграфа Октябрьской железной дороги

Таблица Г.4 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на неразветвленном графе полигона Октябрьской железной дороги

№№	Места дислокации	$E(VP)$, млн. руб.
1	21	2173,5
2	21+24	1513,7
3	21+24+20	1458,5
4	21+24+20+22	1403,4
5	21+24+20+22+26	1380,8
6	21+24+20+22+26+27	1400,8

Таблица Г.5 – Результаты расчета составляющих целевой функции $E(VP)$ для различных схем размещения восстановительных поездов на смешанном графе полигона Октябрьской железной дороги

№№	Места дислокации	$E(VP)$, млн. руб.
2	8+21	16154,5
3	8+13+21	12055,6
4	8+13+2+21	9327,3
5	8+13+2+21+24	8667,5
6	8+13+2+15+21+24	8154,2
7	8+13+2+15+12+21+24	8010,4
8	8+13+2+15+12+5+21+24	7929,5
9	8+13+2+15+12+5+21+24+20	7874,4
10	8+13+2+15+12+5+21+24+20+22	7819,2
11	8+13+2+15+12+5+10+21+24+20+22	7772,4
12	8+13+2+15+12+5+10+7+21+24+20+22	7740,4
13	8+13+2+15+12+5+10+7+18+21+24+20+22	7714,4
14	8+13+2+15+12+5+10+7+18+21+24+20+22+26	7691,8
15	8+13+2+15+12+5+10+7+18+16+21+24+20+22+26	7678,8
16	8+13+2+15+12+5+10+7+18+16+21+24+20+22+26+27	7698,8

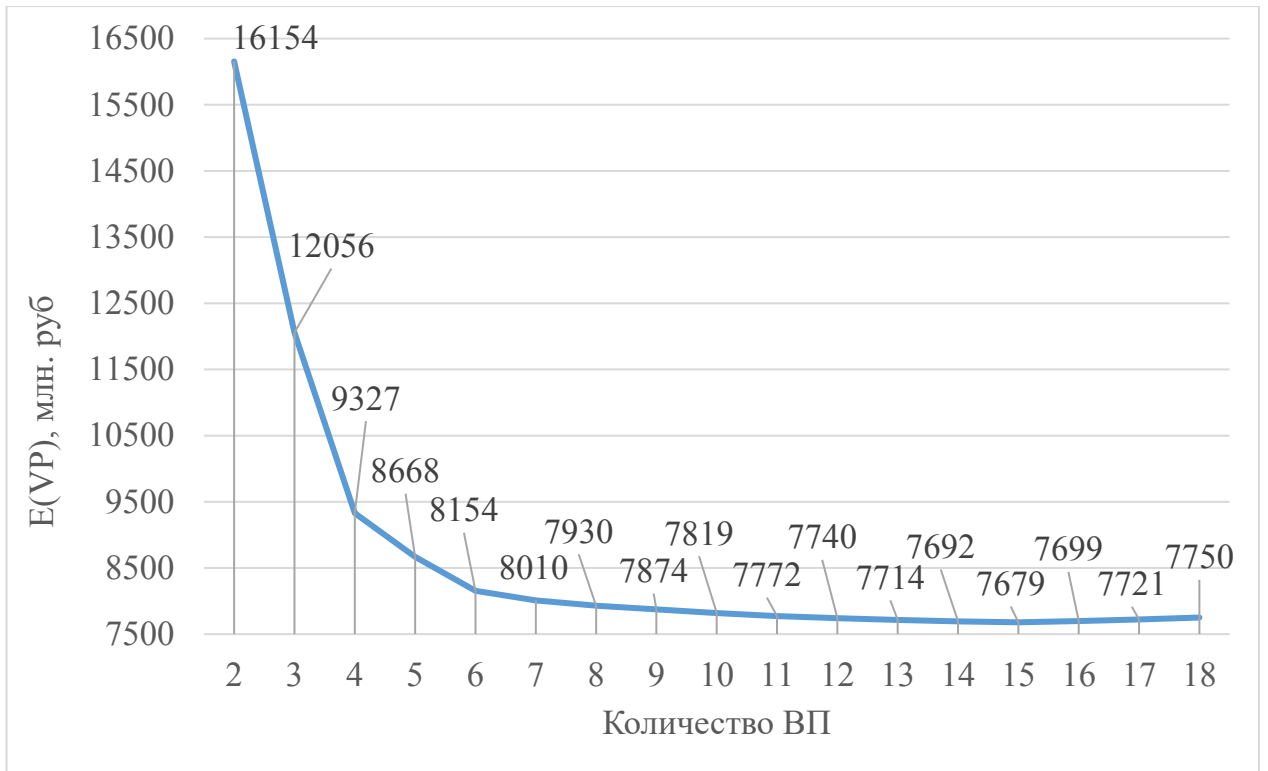


Рисунок Г.5 – График целевой функции $E(VP)$ для смешанного графа Октябрьской железной дороги